

หุ่นยนต์สำรวจและกำจัดเศษกระดาษอุดตันในท่ออุตสาหกรรม

PIPELINE EXPLORATION AND UNCLOGGED ROBOT



เฉลิมพร พวงบุบผา
ชยุตม์ นรารุจา
ศุภาพิชญ์ สิ้นสมบุญชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

หุ่นยนต์สำรวจและกำจัดเศษกระดาษอุดตันในท่ออุตสาหกรรม

PIPELINE EXPLORATION AND UNCLOGGED ROBOT



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปีการศึกษา 2557

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIPELINE EXPLORATION AND UNCLOGGED ROBOT



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์สำรวจและกำจัดเศษกระดาษอัตโนมัติในท่ออุตสาหกรรม

PIPELINE EXPLORATION AND UNCLOGGED ROBOT

ผู้จัดทำ	นายเฉลิมพร	พวงบุบผา	54010254
	นายชยุตม์	นรารุจา	54010284
	นางสาวศุภาพิชัย	สินสมบูรณ์ชัย	54011304



[Signature]

[Signature]

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์สำรวจและกำจัดเศษกระดาษอัตโนมัติที่อุตสาหกรรมกระดาษ

โดย

นายเฉลิมพร พวงบุบผา 54010254

นายชยุตม์ นรารุจา 54010284

นางสาวศุภาพิชญ์ สิ้นสมบุญชัย 54011304

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบวงจรขับเคลื่อนหุ่นยนต์และการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงควบคู่กับ Load Cell Sensor เพื่อทำความสะอาดภายในท่อ เนื่องจากปัญหากระดาษอุดตันภายในท่ออุตสาหกรรมกระดาษ ซึ่งผู้จัดทำมีแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยการใช้หุ่นยนต์สำรวจทำความสะอาด เพื่อลดปัญหาการอุดตันของเศษกระดาษภายใน ทั้งยังช่วยผู้ประกอบการลดต้นทุนการผลิตและใช้เวลาน้อยลงต่อการกำจัดเศษกระดาษภายใน ท่อในแต่ละครั้ง โดยตัวหุ่นยนต์อาศัยหลักความรู้ระบบควบคุมพื้นฐานอย่างระบบควบคุม PID Control มาประยุกต์และ ปรับเพื่อให้ควบคุมให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้โดยการปรับค่าอัตราขยายผ่านกล่องควบคุม เพื่อให้มอเตอร์กระแสตรงสามารถขับออกแรงกดขาของหุ่นยนต์ลงบนผนังท่อให้สามารถยึดติดภายในท่อได้ ในการออกแบบมอเตอร์ขับเคลื่อนล้อและควบคุมความเร็วจะทำงานโดยการสั่งงานจากกล่องควบคุมด้วยจอยสติ๊ก (Joystick) ควบคุมทิศทาง ระบบควบคุมทั้งหมดจะถูกประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) 2 ตัว ซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกัน คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่หนึ่งจะอยู่บนวงจรควบคุมหลัก มีหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดแล้วส่งค่าเพื่อใช้ขับมอเตอร์มายังไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 ซึ่งมีหน้าที่ขับมอเตอร์กระแสตรงเท่านั้น สำหรับการคำนวณที่ใช้ควบคุมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า 2. วงจรควบคุมหลัก 3. วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

PIPELINE EXPLORATION AND UNCLOGGED ROBOT

By

Mr. Chalernporn Puangbubpha 54010254

Mr. Chayut Nararauja 54010284

Ms. Supapit Sinsomboonchai 54011304

Advisor

Asst.Prof.Dr. Noppadol Maneerat

Academic Year 2014

ABSTRACT

This thesis presents a circuit robot design and a control system design is applied load cell sensor and PID control for cleaning pipe. The robot is controlled by control box then DC motors can pull legs of robot which can hold in pipe. Moving motor design for controlling by joystick and speed control will work by command of control box for direction. All of control systems were processed by 2 microcontrollers. One microcontroller on main circuit sends value to control motors and the other microcontroller which controls DC motors. The control circuit have 3 circuits 1. Voltage conversion circuit 2. Main control circuit 3. DC motor control circuit. Because solving the clogged paper in pipe by robot is a way to help entrepreneur reduce cost and time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาที่ดีต่อโครงการมาโดยตลอด และได้รับความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ นายเตชินท์ ศิริเดชะวงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาในการออกแบบหุ่นยนต์สำรวจกำจัดเศษกระดาษอุดตันในท่ออุตสาหกรรม รวมทั้งได้สละเวลาให้คำปรึกษาในส่วนที่คณะผู้จัดทำไม่ชำนาญ

ขอขอบคุณ นายณัฐภาสร์ คุ่มกลาง ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในส่วนของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และช่วยให้คำปรึกษาเรื่องกล่องควบคุม รวมทั้งสละเวลามาช่วยแก้ปัญหา

ขอขอบคุณ คุณวสันต์ พูลนาผล จากบริษัท SCG PAPER ที่ให้ข้อมูล และคำปรึกษาในการจัดทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท SCG PAPER ที่ได้ให้เงินสนับสนุนสำหรับการจัดทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่และเพื่อนทุกคน ที่คอยให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ และคอยให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการจัดทำโครงการครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ของผู้จัดทำที่คอยเป็นกำลังใจให้ รวมถึงสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จลงได้

คณะผู้จัดทำ

นายเฉลิมพร

พวงบุบผา

นายชยุตม์

นรารุจา

นางสาวศุภาพิชัย สินสมบูรณ์ชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 องค์ประกอบของโครงการ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 เซนเซอร์ (Sensor)	3
2.1.1 โหลดเซลล์ (Load Cell)	3
2.1.2 ไจโรสโคป (Gyroscopes) และตัววัดความเร่ง (Accelerometer)	4
2.1.3 ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ (Optical Encoder)	5
2.1.4 กล้อง RS232 Serial Port Camera Module	6
2.2 มอเตอร์	7
2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	7
2.2.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (PWM)	9
2.3 วงจรขับมอเตอร์ (Driver Motor)	10
2.3.1 วงจรขับมอเตอร์โดยใช้ IC L298N	10
2.4 แหล่งจ่ายไฟ	11
2.4.1 สวิตชิง เพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)	11
2.5 คอนโทรลเลอร์ (Controller)	13
2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	13
2.4.2 ดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ (Differential Drive)	14
2.6 การสื่อสารข้อมูล (Protocol)	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นที่มาของเอกสารอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 ทฤษฎีและหลักการ CAN	15
2.6.2 UART	16
2.6.3 USART	18
2.7 อุปกรณ์อื่นๆ	19
2.7.1 USB	19
2.7.2 LCD (Liquid Crystal Display)	19
2.7.3 จอยสติ๊ก	20
2.7.4 มอสเฟต	21
บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทำงาน	24
3.1 โครงสร้างหุ่นยนต์	25
3.1.1 ตำแหน่ง Load Cell Sensor	25
3.1.2 ตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง	25
3.1.3 ตำแหน่งแผ่นวงจรควบคุม	26
3.2 การออกแบบวงจรควบคุม	26
3.2.1 การออกแบบวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า	26
3.2.2 การออกแบบวงจรควบคุมหลัก	27
3.2.3 การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง	31
3.2.4 วงจรแสดงผล	34
3.3 ระบบการทำงานของหุ่นยนต์	34
3.3.1 ระบบควบคุมแรงกดของมอเตอร์	34
3.3.2 ระบบควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์	36
3.3.3 ระบบควบคุมการแสดงผล	36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	38
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	38
4.2 วิธีการทดลอง	38
4.3 ผลการทดลอง	42
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	77
4.5 สรุปผลการทดลอง	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับอาจารย์ท่านเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่ออาจารย์ผู้สอนทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	79
5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน	79
5.2 ปัญหาที่พบในการทำงาน	79
5.3 การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น	80
5.4 ข้อเสนอแนะในการค้นคว้าและพัฒนา	80
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก	84
ภาคผนวก ข	101
ภาคผนวก ค	108
ภาคผนวก ง	157
ภาคผนวก จ	166
ภาคผนวก ฉ	183
ประวัติผู้เขียน	188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โพลดเซลล์	3
2.2 หลักการทำงานและไจโรสโคป (Gyroscopes)	4
2.3 ตัววัดความเร่ง (Accelerometer)	4
2.4 ไจโรสโคป (Gyroscopes) และตัววัดความเร่ง (Accelerometer) รุ่นGY-88	5
2.5 ตัวอย่างของออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้งานทั่วไป	5
2.6 อินครีเมนทัลเอนโค้ดเดอร์แบบจานหมุน	6
2.7 จานหมุนของอินครีเมนทัลเอนโค้ดเดอร์	6
2.8 กล้อง RS232 Serial Port Camera Module	6
2.9 สเตเตอร์ (Stator)	7
2.10 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก	8
2.11 ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก	8
2.12 ตัวหมุน Rotor	9
2.13 สัญญาณพัลส์วีทมอดูเลชัน	10
2.14 วงจรขับมอเตอร์ โดยใช้ IC L298N	10
2.15 บล็อกไดอะแกรมของวงจรวัดซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายต่างๆ ไป	12
2.16 วงจรวัดซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้งานทั่วไป	12
2.17 ไมโครคอนโทรลเลอร์	13
2.18 การเคลื่อนที่ของล้อ	14
2.19 แบบของข้อมูล CAN (Controller Area Network) เวอร์ชัน 2.0A	16
2.20 องค์ประกอบของระบบ	16
2.21 Data UART	17
2.22 แบบส่งข้อมูล UART	17
2.23 การทำงานของ USART	18
2.24 USB	19
2.25 จอแสดงผลแบบ LCD	20
2.26 โครงสร้างและขาสัญญาณต่างๆ ของ LCD Module	20
2.27 จอยสติ๊ก	21
2.28 มอสเฟต	21
2.29 โครงสร้างมอสเฟต	22

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 สัญลักษณ์มอสเฟต	22
2.31 การทำงานของมอสเฟต	23
3.1 Isometric หุ่นยนต์	24
3.2 หุ่นยนต์ในแต่ละมุมมอง	24
3.3 ตำแหน่งของ Load Cell Sensor บนแกนขาของหุ่นยนต์	25
3.4 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงบนตัวหุ่นยนต์	25
3.5 ตำแหน่งวางแผ่นวงจรควบคุมหุ่นยนต์	26
3.6 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า	27
3.7 วงจรควบคุมไฟส่องสว่างด้านหน้าตัวหุ่นยนต์	28
3.8 Schematic Design วงจรควบคุมเซนเซอร์	30
3.9 Schematic Design วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง	33
3.10 บล็อกไดอะแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงสำหรับกดแรงลงบนพื้นที่	35
3.11 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์	36
3.12 เครือข่ายของ CAN BUS	37
3.13 ขั้นตอนการทำงานเพื่อส่งข้อมูลแสดงผลผ่านจอ LED	37
4.1 Flow Chart ของการทดลอง	39
4.2 วงจรสำหรับควบคุมหุ่นยนต์และเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องบนตัวหุ่นยนต์	41
4.3 Control Box	41
4.4 การต่อวงจรขณะทดลอง	42
4.5 เอาหุ่นใส่ท่อเพื่อทดลอง	42
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$	43
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.2$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$	45
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.3$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$	47
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.15$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$	49
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$	51
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.27$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$	53
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.35$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$	55
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.00$ และ $K_d = 0$	57
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 4.50$ และ $K_d = 0$	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อความไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.50$ และ $K_d = 0$	61
4.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 4.25$ และ $K_d = 0$	63
4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.10$ และ $K_d = 0$	65
4.18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0$	67
4.19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.03$	69
4.20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.05$	71
4.21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.07$	73
4.22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.14$	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สัญญาณ Input/Output ประมวลผลผ่าน STM32 ต่อเข้ากับ Module	29
3.2 Input/Output Interface ของไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมอเตอร์กระแสตรง	32
4.1 อธิบาย Flow Chart ในรูปที่ 4.1	40
4.2 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9, K_i = 0$ และ $K_d = 0$	44
4.3 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.2, K_i = 0$ และ $K_d = 0$	46
4.4 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.3, K_i = 0$ และ $K_d = 0$	48
4.5 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.15, K_i = 0$ และ $K_d = 0$	50
4.6 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 0$ และ $K_d = 0$	52
4.7 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.27, K_i = 0$ และ $K_d = 0$	54
4.8 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.35, K_i = 0$ และ $K_d = 0$	56
4.9 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 5.00$ และ $K_d = 0$	58
4.10 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 4.50$ และ $K_d = 0$	60
4.11 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 5.50$ และ $K_d = 0$	62
4.12 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 4.25$ และ $K_d = 0$	64
4.13 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 5.10$ และ $K_d = 0$	66
4.14 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 5.12$ และ $K_d = 0$	68
4.15 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.03$	70
4.16 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.05$	72
4.17 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.07$	74
4.18 ผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.14$	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษ ระหว่างการผลิตปัญหาจากการกำจัดกระดาษที่ไม่ต้องการในท่อดูดเศษกระดาษ ด้วยปริมาณของกระดาษที่ไม่ต้องการจำนวนมาก ทำให้เกิดการอุดตันภายในท่อดูดเศษกระดาษ ทำให้กระบวนการผลิตเกิดความล่าช้าและไม่ต่อเนื่อง สำหรับการแก้ปัญหา เพื่อกำจัดเศษกระดาษอุดตันภายในท่อ ปัจจุบันใช้วิธีการส่งคนงานเข้าไปสำรวจ และหาตำแหน่งที่เกิดการอุดตัน ซึ่งใช้เวลานานในการหาตำแหน่งและกำจัดเศษกระดาษอุดตัน ส่งผลกระทบต่ออัตราการผลิตและทำให้เสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากต่อการทำความสะอาดหนึ่งครั้ง

อีกหนึ่งวิธีการแก้ปัญหากำจัดกระดาษอุดตันภายในที่ได้รับความนิยมในหมู่อุตสาหกรรม คือการใช้หุ่นยนต์เข้าไปสำรวจ โดยผู้จัดทำต่อยอดให้สามารถช่วยทำความสะอาดภายใน ซึ่งตัวหุ่นยนต์ใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยล้อ 6 ล้อ และหดรบายตัว โดยการควบคุมทำงานด้วยการป้อนโปรแกรมผ่านคอมพิวเตอร์และความสามารถของ Load Cell Sensor ในการตรวจวัดค่าเพื่อมาประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งนี้เพื่อให้หุ่นยนต์เข้ามาทดแทนและย่นระยะเวลาการทำความสะอาดภายในท่อให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าการทำทำความสะอาดด้วยวิธีเดิมให้ได้มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่ใช้สำหรับควบคุมระบบ
2. ศึกษาการทำงานของ Load Cell Sensor
3. ศึกษาการทำงานและควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. ออกแบบระบบควบคุมเพื่อประยุกต์ใช้งานจริงกับหุ่นยนต์
5. เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจ้างงานเพื่อทำความสะอาดภายในท่อดูดกระดาษอุดตัน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถใช้ Load Cell Sensor วัดค่าแรงกระทำระหว่างล้อกับผนังท่อได้
 2. ออกแบบวงจรสำหรับควบคุมหุ่นยนต์
 3. ออกแบบระบบควบคุมระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เขียนโปรแกรมใส่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเป็นส่วนประมวลผลในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้และความเข้าใจในการออกแบบวงจรเพื่อใช้ควบคุมหุ่นยนต์ และสามารถออกแบบ Schematic Design เพื่อไปใช้งานได้จริง
2. เข้าใจหลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง และควบคุมมอเตอร์กระแสตรงผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM
3. มีความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการสื่อสารผ่าน Protocol CAN BUS

1.5 องค์ประกอบของโครงงาน

1. ออกแบบระบบควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง
2. สร้างวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ทั้งหมด
3. ออกแบบกล่องควบคุมเพื่อสะดวกแก่การสื่อสารระหว่างผู้ใช้และหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในการสร้างหุ่นยนต์ลอกท่อโดยจะแบ่งออกเป็น 7 ส่วน คือ ในส่วนแรกอธิบายถึงเซนเซอร์ (Sensor), มอเตอร์ (Motor), วงจรขับมอเตอร์, แหล่งจ่ายไฟ, คอนโทรลเลอร์ (Controller), การสื่อสารข้อมูล (Protocol) และอุปกรณ์อื่นๆ

2.1 เซนเซอร์ (Sensor)

เซนเซอร์ (Sensor) คือ ตัวอุปกรณ์ตรวจวัดตัวแรกในระบบการวัดซึ่งใช้ตรวจจับหรือรับรู้การเปลี่ยนแปลงปริมาณทางกายภาพของตัวแปรต่างๆ เช่น ความร้อน แสง สี เสียง ระยะทาง การเคลื่อนที่ ความดัน การไหล เป็นต้น แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณหรือข้อมูลที่สอดคล้องและเหมาะสมกับส่วนของการกำหนดเงื่อนไขทางสัญญาณ

2.1.1 โหลดเซลล์ (Load Cell) [9]

โหลดเซลล์จากรูปที่ 2.1 คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดแรงทางกลที่ไม่ทราบค่าหรือมวล เมื่อนำโหลดเซลล์ไปประยุกต์ใช้งานเป็นเซนเซอร์ตรวจสอบปริมาณทางฟิสิกส์ จะพบว่าโดยทั่วไป แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรบริดจ์ ซึ่งมีค่าแปรผันตามขนาดปริมาณทางฟิสิกส์ที่กำลังตรวจวัดนั้นมีค่าน้อยมาก ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานหรือประมวลผลสัญญาณต่อได้ทันที ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งแรงดันเอาต์พุตดังกล่าวให้มีขนาดสัญญาณใหญ่ขึ้น



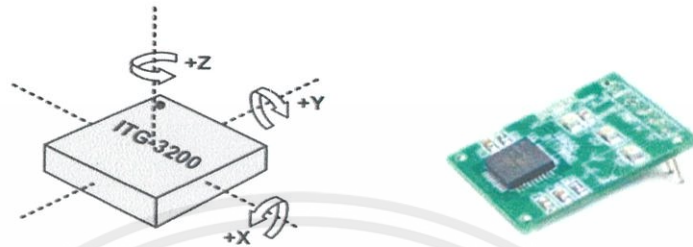
รูปที่ 2.1 โหลดเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ไจโรสโคป (Gyroscopes) และตัววัดความเร่ง (Accelerometer) [7]

2.1.2.1 ไจโรสโคป (Gyroscopes)

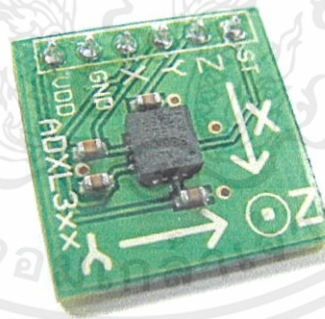
ไจโรสโคปรูปที่ 2.2 มีความสามารถวัดความเร็วเชิงมุมได้สามแกน ให้สัญญาณขาออกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยไม่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน หรืออัตราเร็วเชิงมุมเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานและไจโรสโคป (Gyroscopes)

2.1.2.2 ตัววัดความเร่ง (Accelerometer)

ตัววัดความเร่งจากรูปที่ 2.3 มีความสามารถวัดได้สามแกน ให้สัญญาณออกเป็นสัญญาณดิจิทัลขณะที่ค่าความเร่งเท่ากับศูนย์ ให้เอาต์พุตมีค่าความต่างศักย์ โดยการนำเซนเซอร์ความเร่งมาหามุมที่ทำได้ ใช้ความเร่งจากสองแกนวัดความเร่งที่เกิดจากแรงภายนอกกระทำ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประยุกต์เพื่อหาเวกเตอร์ลิฟท์ของความเร่ง วัดความโน้มเอียงและความสั่นสะเทือนได้



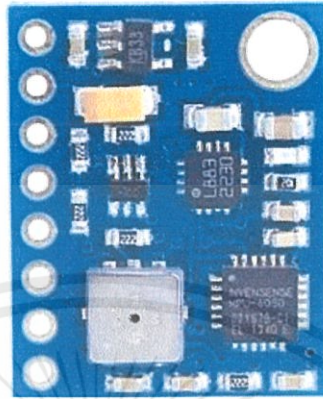
รูปที่ 2.3 ตัววัดความเร่ง (Accelerometer)

2.1.2.3 ไจโรสโคป (Gyroscopes) และตัววัดความเร่ง (Accelerometer) รุ่น

GY-88 [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน GY-88 ดังรูปที่ 2.4 เป็นโมดูล Accelerometers, Gyroscope, Compass, ไม่ว่ากรณี Pressure ในตัวเดียวกัน บนโมดูลประกอบด้วยชิป MPU6050, HMC5883L, BMP085 ส่งข้อมูลผ่าน

Bus I²C ใช้ในการหาค่าของการเคลื่อนไหวทั้ง 3 แกน และทิศทางของการเคลื่อนที่ พร้อมทั้งการหาค่าของความกดอากาศ



รูปที่ 2.4 ไจโรสโคป (Gyroscopes) และตัววัดความเร่ง (Accelerometer) รุ่น GY-88

2.1.3 ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ (Optical Encoder)

ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์คือ เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดระยะขจัดที่ให้ระยะขจัดเชิงเส้นหรือระยะขจัดเชิงมุมมีค่าแปรผันไปตามการส่งผ่านแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Source) จนถึงตัวตรวจจับแสง (Detector) โดยให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล และเนื่องจากสัญญาณออกที่ได้จากออปติคัลเอนโค้ดเดอร์นี้เป็นสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัล จึงทำให้เซนเซอร์แบบนี้มีประโยชน์และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์และระบบดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ตัวอย่างของออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไปแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



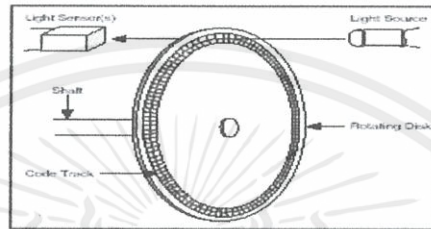
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้งานทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ

1. อินครีเมนทัลเอนโค้ดเดอร์ (Incremental Encoder) คือ ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแสดงถึงระยะขจัดของแกนหมุนที่เกิดขึ้น จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตช่วงถัดไปจะถูกตรวจวัดและทำการแปลงให้อยู่ในรูปของระยะขจัดเชิงมุมที่เกิดขึ้นของเพลลาหมุน

2. แอบโซลูตเอนโค้ดเดอร์ (Absolute Encoder) คือ ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแสดงถึงระยะขจัดเชิงมุมทั้งหมดของเพลลาหมุนที่เกิดขึ้น โดยนับจากตำแหน่งศูนย์

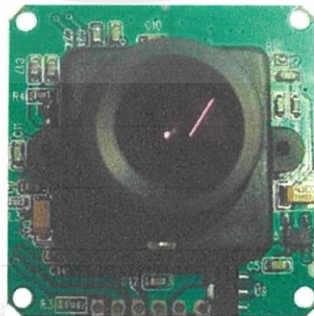


รูปที่ 2.6 อินครีเมนทัลเอนโค้ดเดอร์แบบจานหมุน



รูปที่ 2.7 จานหมุนของอินครีเมนทัลเอนโค้ดเดอร์

2.1.4 กล้อง RS232 Serial Port Camera Module



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... กรุณาได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 กล้อง RS232 Serial Port Camera Module

กล้อง RS232 Serial Port Camera Module เป็นกล้องดิจิตอลแบบอนุกรมและมีฟังก์ชันการบีบอัดภาพ บันทึกวีดีโอ จัดเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่สมบูรณ์

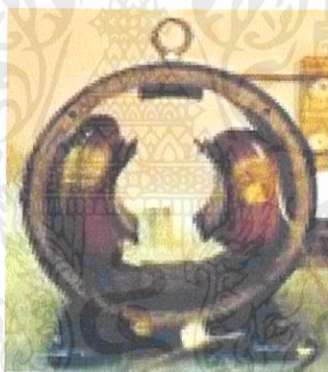
2.2 มอเตอร์ [4]

มอเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลในรูปแบบแรงหมุน

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) [5]

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด กำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้น อุปกรณ์ต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ดังนี้ 1 ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย

1. สเตเตอร์ (Stator)



รูปที่ 2.9 สเตเตอร์ (Stator)

เฟรมหรือโยค (Frame or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจร และยึดส่วนประกอบอื่นๆ ให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาหมุนเป็นรูปทรงกระบอก ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก

ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด จะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุด แล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์ มีกำลังหมุน (Torque)



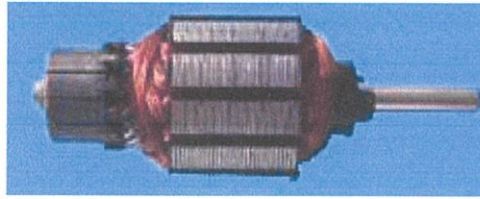
รูปที่ 2.11 ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก

ส่วนที่สองขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบๆ แกนขั้วแม่เหล็ก ขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้ จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

2. ตัวหมุน (Rotor)

ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวหมุน Rotor

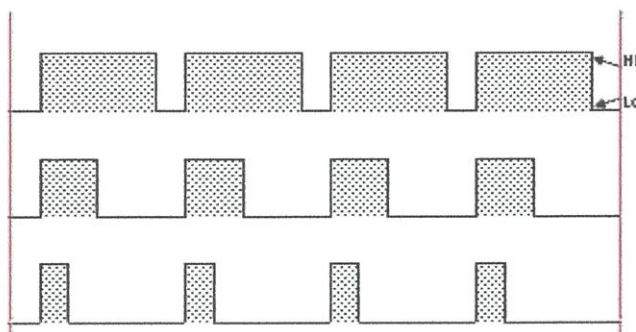
ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนแบร์ริง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้
2. แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)
3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (Mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์ เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้าง และเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวมาแล้วเรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor Action)
4. ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอท (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ต่อจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับารออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ

2.2.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ Pulse Width Modulation

เนื่องจากส่วนของขดลวดสเตเตอร์เป็นหลักการการควบคุมความเร็วจึงทำได้ การเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ ที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งค่าความต่างศักย์นี้จะแปรผันตรงกับความเร็ว ในการหมุนของมอเตอร์วิธีที่จะเปลี่ยนระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า จะใช้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่สามารถเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการเปิดปิดแหล่งจ่ายได้ โดยจะเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของแรงดัน เรียกว่า สัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



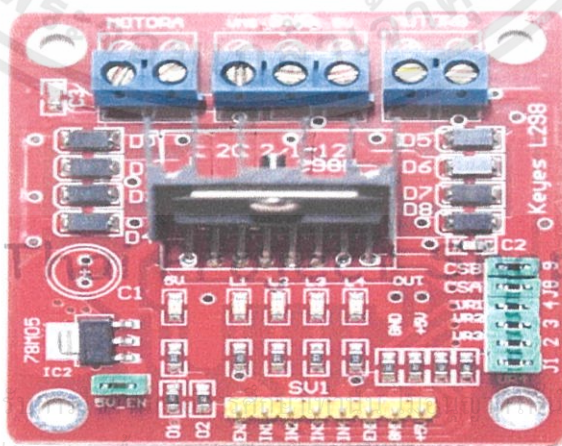
รูปที่ 2.13 สัญญาณพัลส์วิตช์มอดูเลชัน

2.3 วงจรขับมอเตอร์ (Driver Motor)

วงจรขับมอเตอร์เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลทางด้านการควบคุมความเร็วและทิศทาง

2.3.1 วงจรขับมอเตอร์โดยใช้ IC L298N [20]

H-Bridge เป็นโมดูลที่ใช้ในการควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโปรเจกต์อื่นได้อีกด้วย เช่น ปรับค่าความสว่างของหลอดไฟ วงจรขับมอเตอร์โดยใช้ IC L298N ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง พร้อมระบบป้องกันต่างๆ L298N สามารถขับมอเตอร์ได้ 2 ชุด และสามารถขับกระแสได้สูงสุด 4A (เมื่อบริดจ์ 2CH เข้าด้วยกัน) ภายในบอร์ดได้ต่อ Diode เพื่อกันไฟที่จะเข้ามาบริเวณและมีแหล่งจ่ายไฟ 5 V ในตัว (78M05) ในกรณีที่จะนำไปต่อแบบแยกกราวด์ ไม่ต้องไปหาแหล่งจ่ายเพิ่ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14 วงจรขับมอเตอร์โดยใช้ IC L298N

Terminal Con (สีน้ำเงิน)

MOTORA : Output ไป มอเตอร์ A

MOTORB : Output ไป มอเตอร์ B

vms : Input ไฟ +5-35VDC เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์

GND : Input กราวด์

5V : Input ไฟ +5VDC เพื่อเลี้ยง Logic Gate ใน L298 ปกติวงจรได้ใส่ Regulate 5V มาในบอร์ดแล้วไม่ต้องต่อขานี้ แต่หากประสงค์จะใช้งานขานี้ ควรดึง Jumper 5V EN ออก

Connector SV1 (สีเหลือง)

ENA : Enable A

ENB : Enable B

IN1 และ IN2 : ควบคุมมอเตอร์ A

IN3 และ IN4 : ควบคุมมอเตอร์ B

2.4 แหล่งจ่ายไฟ

ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆ โดยจะทำการแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ที่ใช้กันตามบ้านเรือนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเช่น 3.3, 5 และ 12 โวลต์เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้ยังต้องมีวงจรที่ควบคุมระดับของแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ (Voltage Regulators) เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์

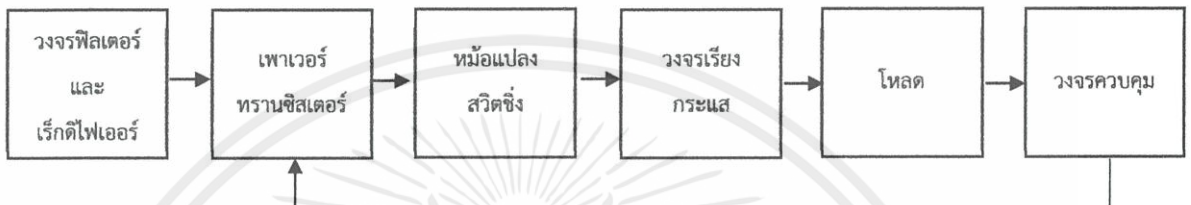
2.4.1 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) [12]

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งเป็นแหล่งไฟฟ้าจากระบบไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟกระแสตรงค่าต่ำเพื่อใช้งานในงานอิเล็กทรอนิกส์เช่นเดียวกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้นหรือลีนีเยอร์เพาเวอร์ซัพพลาย (Linear Power Supply) ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบต้องใช้หม้อแปลงหรือทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) ในการลดระดับแรงดันไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ ลงมาเป็นไฟกระแสสลับค่าต่ำๆ เหมือนกัน แต่จะมีข้อแตกต่างกันในเรื่องของน้ำหนัก และขนาดของหม้อแปลง โดยที่หม้อแปลงของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบาแต่มีประสิทธิภาพสูง ส่วนหม้อแปลงของเพาเวอร์ซัพพลายแบบลีนีเยอร์จะมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งในปัจจุบันนี้เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ประเภทต่างๆ ได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลทำให้มีความต้องการแหล่งจ่ายไฟที่ให้กำลังงานสูง และมีขนาดเล็กเหมือนกัน เช่น เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องโทรสาร

เครื่องคอมพิวเตอร์และ เครื่องเสียง เป็นต้น การใช้สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ประเภทจึงได้รับความนิยมสูงสุด เพราะมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของผู้ใช้

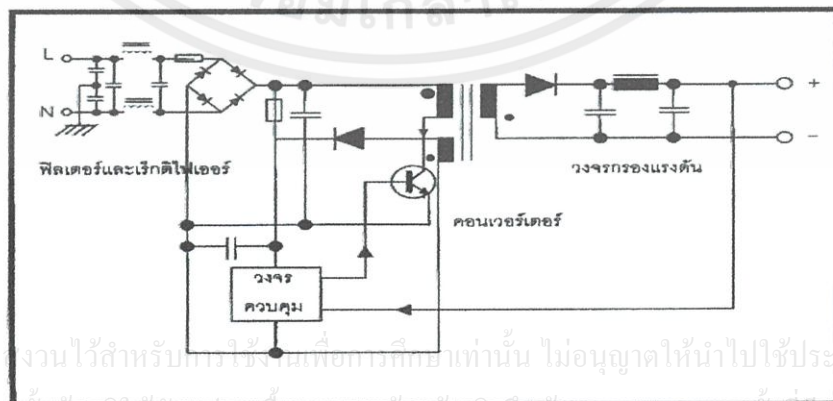
2.4.1.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจะมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายกัน แต่องค์ประกอบที่สำคัญของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายคือ ภาคคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากจะทำหน้าที่ลดระดับแรงดันและคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตด้วย ดังแสดงองค์ประกอบต่างๆ ตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมของวงจรสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายทั่วไป

แรงดันไฟสลับ 220 โวลท์ จะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI (Radio Frequency Interference) ฟิลเตอร์เพื่อกรองสัญญาณรบกวน (Noise Signal) และจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าค่าสูงด้วยวงจรเร็คตีไฟร์ ภาคคอนเวอร์เตอร์โดยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วงๆ ด้วยความถี่สูงประมาณ 20-200 กิโลเฮิร์ตซ์ (KHZ) จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตซ์เพื่อลดแรงดันให้มีค่าต่ำลง ที่เอาต์พุตของหม้อแปลงจะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบเสียก่อน จึงสามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ การคงค่าแรงดันทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ให้มีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้น หรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้ดังวงจรในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้กันทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีที่ตดเบลงเนื้อหา และต้องยั้งองถึงเพชองเอกสารทุกครั้งกักรนำไปใช้

2.5 คอนโทรลเลอร์ (Controller)

คอนโทรลเลอร์ คือ ตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือขบวนการต่างๆ ซึ่งอาจทำขึ้นมาจากวงจรไฟฟ้ากลไก

2.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) [8]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน



รูปที่ 2.17 ไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit) ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ทั้งหมด โดยนำข้อมูลจากอุปกรณ์รับข้อมูลมาทำงาน ประมวลผลข้อมูลตามคำสั่งของโปรแกรม และส่งผลลัพธ์ออกไปหน่วยแสดงผล

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดานหัดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ทั่วๆ ไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Mempry) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

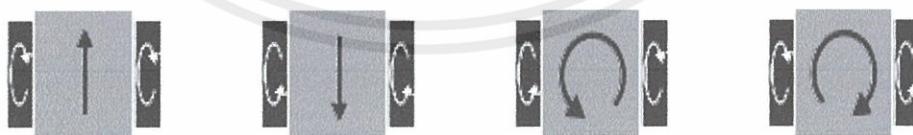
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุตเพื่อรับสัญญาณ อาจจะมีการกดสวิทช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุตเพื่อแสดงผล เช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

4. ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกำหนัดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกา มีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

2.5.2 ดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ (Differential Drive)

ดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ (Differential Drive) เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ด้วยล้อมีล้อ 2 ล้อ คือ ล้อซ้าย และล้อขวา ถ้าต้องการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตรงๆ ก็หมุนล้อซ้าย และขวาไปทางเดียวกันด้วยความเร็วเท่ากัน ถอยหลังตรงๆ ก็หมุนล้อซ้ายและขวาทถอยหลังทั้งคู่ ถ้าอยากเลี้ยวซ้ายก็หมุนล้อขวาไปข้างหน้าให้เร็วกว่าล้อซ้าย อยากเลี้ยวขวาก็หมุนล้อซ้ายไปข้างหน้าให้เร็วกว่าล้อขวา หรือจะหมุนตัวอยู่กับที่ได้ ก็ให้หมุนล้อข้างหนึ่งไปข้างหน้า และล้ออีกข้างหมุนกลับหลังด้วยความเร็วเท่ากัน จะเห็นได้ว่าการขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ (Differential Drive) ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปทิศใด ๆ ได้ตามต้องการในทันที ต้องทำการเลี้ยวหมุนตัวก่อน ดังนั้น ดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ (Differential Drive) จึงเป็นการเคลื่อนที่แบบ Non Holonomic



(a) เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (b) เคลื่อนที่ถอยหลัง (c) เคลื่อนที่ทางซ้าย (d) เคลื่อนที่ทางขวา

รูปที่ 2.18 การเคลื่อนที่ของล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การสื่อสารข้อมูล (Protocol) [2]

โพรโตคอล คือ ข้อกำหนดหรือข้อตกลงในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ หรือภาษาสื่อสารที่ใช้เป็นภาษากลางในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกัน การที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ถูกเชื่อมโยงกันไว้ในระบบจะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้นั้น จำเป็นจะต้องมีการสื่อสารที่เรียกว่า โพรโตคอล

2.6.1 ทฤษฎีและหลักการ CAN

2.6.1.1 หลักการเบื้องต้นของระบบ

ส่วนประกอบของระบบประกอบด้วย แคนโหนด(Can Node) และ แคนบัส (Can Bus) ทั้ง 2 อย่างเป็นส่วนประกอบใน Controller Area Network ในระบบจะประกอบด้วยส่วนย่อยๆ ของการควบคุมเรียกว่าโหนด ประกอบด้วยโหนดตั้งแต่สองโหนดขึ้นไป ถ้าระบบขนาดใหญ่ก็จะประกอบด้วยจำนวนโหนดมากขึ้น โดยพิจารณาจากกระบวนการในการทำงานของระบบที่ออกแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของการประมวลผลและการจัดการอินพุตเอาต์พุตของระบบรวมทั้งระยะห่างของส่วนงานย่อยที่ต้องการควบคุม ตัวอย่างเช่น ในระบบควบคุมระบบหนึ่งต้องการควบคุมระบบที่มีอินพุตเอาต์พุตอยู่ห่างกันจำเป็นต้องเดินสายนำสัญญาณที่มีความยาวเข้ามายังอินพุตเอาต์พุต ซึ่งอาจจะเกิดการรบกวนสัญญาณไฟฟ้าขึ้นได้ และเกิดการทำงานผิดพลาดขึ้น ดังนั้นควรจะออกแบบให้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมอยู่บริเวณนั้นเรียกว่า แคนโหนด แล้วเชื่อมโยงผ่านบัสข้อมูลซึ่งเรียกว่า แคนบัส ซึ่งใช้สายสัญญาณสองเส้นและ มีการตรวจสอบข้อผิดพลาดของข้อมูลที่มีการรับส่งบนบัสนี้

2.6.1.2 มาตรฐานโพรโตคอล

โพรโตคอลของ CAN (Controller Area Network) เวอร์ชัน 2.0A ซึ่งมีเฟรมข้อมูลสองประเภทคือ ดาต้าเฟรมและรีโมทเฟรมแต่ละเฟรมประกอบด้วยกลุ่มของบิตต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.19 มีรายละเอียดข้อมูลดังนี้

- Start of Frame (SOF) เป็นบิตเริ่มต้นของดาต้าเฟรมหรือรีโมทเฟรม ซึ่งโหนดจะส่งบิตเริ่มต้นเมื่อบัสอยู่ในสภาวะว่าง และทำให้โหนดอื่นๆ เริ่มต้นพร้อมกัน

- Identifier ประกอบด้วยข้อมูล 11 บิต

- Control Field มีขนาด 6 บิต สำหรับกำหนดขนาดของข้อมูลที่จะตามมา และบิตสำรองสองบิต

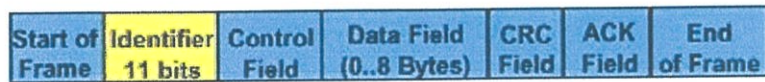
- Data Field เป็นข้อมูลที่ต้องการส่งมีขนาด 0 ถึง 8 ไบท์ โดยส่งบิตนัยสำคัญสูงสุด (MSB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์สงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ack Field เป็นข้อมูลขนาด 2 บิต

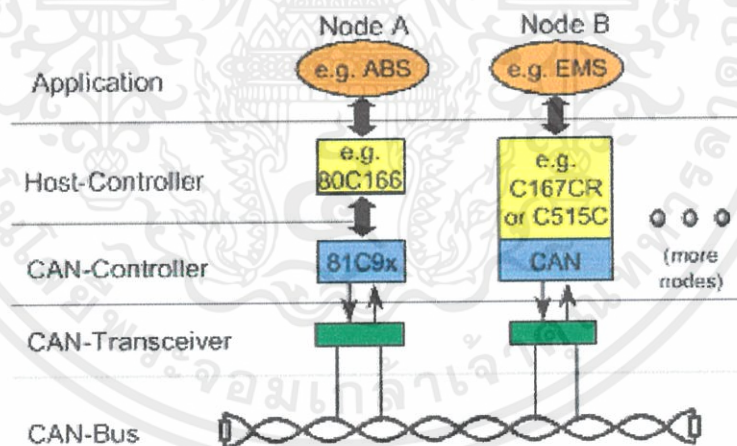
- End of Frame สำหรับสิ้นสุดการส่งข้อมูล



รูปที่ 2.19 แบบของข้อมูล CAN (Controller Area Network) เวอร์ชัน 2.0A

2.6.1.3 องค์ประกอบของระบบ

- Application เป็นส่วนงานที่ต้องการควบคุม
- Host Controller เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ประมวลผล และควบคุมการทำงาน
- Can Controller ส่วนที่จัดการโปรโตคอลให้เป็นไปตามข้อกำหนดซึ่งอาจรวมอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ C515C
- Can Transceiver จัดการแปลงสัญญาณ ระหว่าง CAN Bus กับ CAN Transceiver
- Can Bus สายนำสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างโหนดต่างๆ



รูปที่ 2.20 องค์ประกอบของระบบ

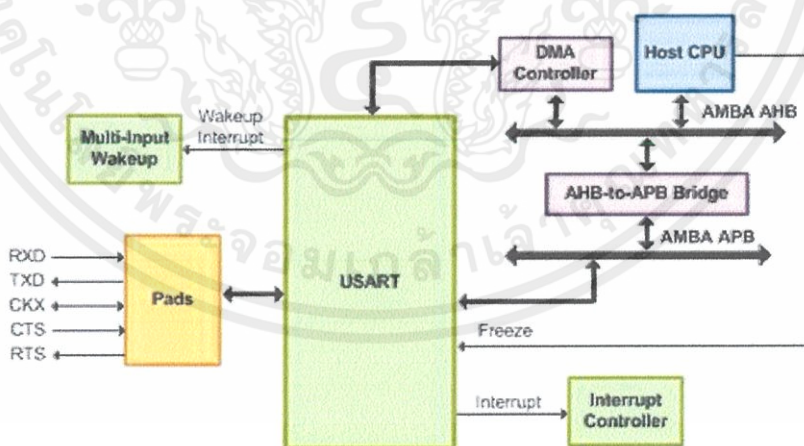
2.6.2 UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) [11]

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous การสื่อสารแบบอนุกรมจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter)

USART เป็นเต็มรูปแบบซิงโครเฟล็กซ์ ไม่ตรงกันรับส่งสัญญาณการพิสูจน์แล้วในอุปกรณ์ระดับสูงจาก บริษัท National Semiconductor และสามารถใช้ได้เฉพาะจาก IPExtreme เป็น Synthesizable ไอพี USART สนับสนุนความหลากหลายของซอฟต์แวร์อัตรารอบโปรแกรมและรูปแบบข้อมูลและดำเนินงานทั้งใน Synchronous หรือ Asynchronous (UART) โหมด จะดำเนินการสร้างความเท่าเทียมกันโดยอัตโนมัติและแผนการผลิตหลาย USART มีความสามารถในการตรวจสอบรูปแบบการปลุกเลือกว่าจะรับและดำเนินการตรรกะการควบคุมการไหลสำหรับการจับมือกันของฮาร์ดแวร์

อินเตอร์เฟซโฮสต์ของ USART สอดคล้องกับ AMBA 2.0 APB โปรโตคอล ลงทะเบียนควบคุมภายใน USART ให้การควบคุม CPU ของอัตราการส่งข้อมูลในรูปแบบกรอบการตรวจสอบรูปแบบปลุก, โหมดการทำงานและเปิด ปิดการใช้งานการขัดจังหวะ ลงทะเบียนสถานะให้ขัดจังหวะและสถานะข้อผิดพลาด นอกจากนี้ยังมีการลงทะเบียนที่ถือส่ง รับข้อมูล ใน Asynchronous (UART) โหมด USART สื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้สองสัญญาณส่ง (TDX) และรับ (RDX) ในโหมด Synchronous, USART สื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้สามสัญญาณส่ง (TDX) ใต้รับ (RDX) และนาฬิกา (CKX) บิตข้อมูลจะถูกโอนพร้อมกับสัญญาณ CKX การควบคุมการไหลที่มีอยู่ในทั้งสองไม่ตรงกัน และโหมด Synchronous ผ่าน RTS, CTS สัญญาณ เพื่อลดระดับชิปบัสสัญญาณอินเตอร์เฟซ USART สามารถใช้งานร่วมกับฟังก์ชันอื่นๆ บนชิปผ่านแอนกประสงค์ I/O (GPIO) ควบคุม



รูปที่ 2.23 การทำงานของ USART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 อุปกรณ์อื่นๆ

อุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ USB, LCD, จอยสติ๊ก และมอสเฟต

2.7.1 USB [21]

USB ย่อมาจาก Universal Serial Bus เป็นพอร์ต หรือช่องทางในการสื่อสาร หรือเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์อื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น Printer, Modem, Mouse, Keyboard, Digital Camera และอื่นๆ อีกมากมาย ถือว่าเป็น Port ที่สำคัญและนิยมมากที่สุดในปัจจุบัน USB เริ่มต้นมีการใช้งานจะมีรุ่น USB 1.1 ต่อมาได้มีการพัฒนาให้มีความเร็วสูงขึ้น โดยเปลี่ยนเป็นเวอร์ชัน USB 2.0 และ USB 3.0

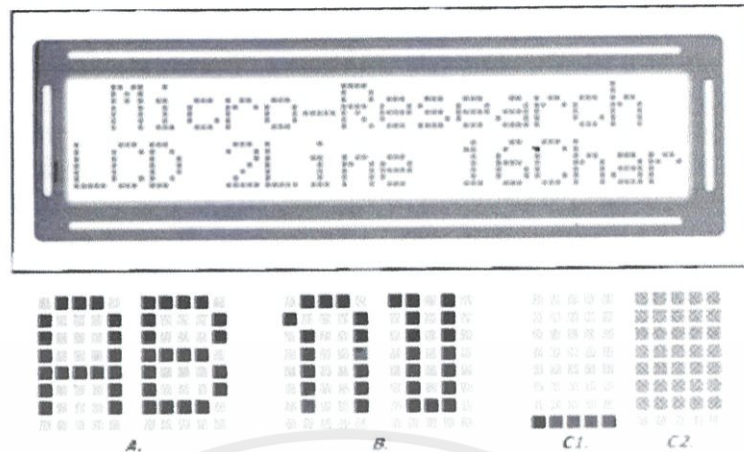


รูปที่ 2.24 USB

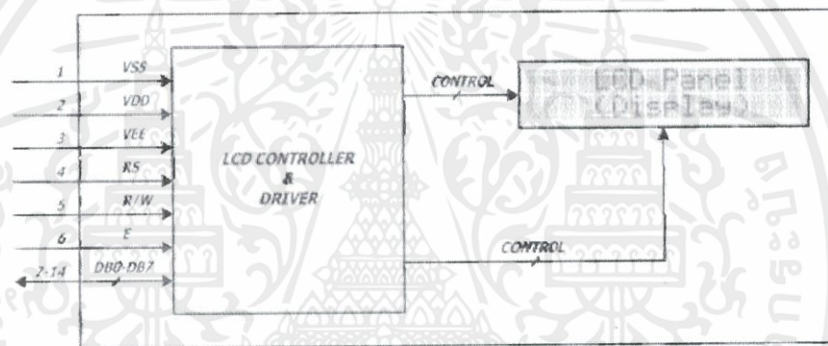
2.7.2 LCD (Liquid Crystal Display) [1]

อุปกรณ์แสดงผลแบบผลึกเหลว หรือ “จอแสดงผลแบบ LCD” แสดงดังรูปที่ 2.25 นั้นเป็นจอแสดงผลแบบ Dot-matrix ขนาด 2×16 ตัวอักษร 2 บรรทัด บรรทัดละ 16 ตัวอักษร ความละเอียดในตัวอักษรเท่ากับ 5×8 จุด จอแสดงผลแบบ LCD ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแสดงผลหน้าจอ และส่วนควบคุม ในการเขียนโปรแกรมแสดงผลทาง LCD จะเป็นการเข้าถึง IC LCD Controller โดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวควบคุมจังหวะการทำงานทั้งหมด โครงสร้างทั่วไปของ LCD Module แสดงดังรูปที่ 2.25 และรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 จอแสดงผลแบบ LCD



รูปที่ 2.26 โครงสร้างและขาสัญญาณต่างๆ ของ LCD Module

ขา 1 V_{SS} กราวด์ (GND)

ขา 2 V_{DD} รับไฟ +5V เพื่อเลี้ยงส่วนต่างๆ ทั้งหมดใน LCD Module

ขา 3 V_{EE} รับแรงดันสำหรับปรับเปลี่ยนความเข้มของ LCD Panel

ขา 4 RS (Register Select) รับสัญญาณลอจิก เพื่อทำการเลือกการติดต่อกับรีจิสเตอร์

2.7.3 จอยสติ๊ก (Joystick)

จอยสติ๊กเป็นอุปกรณ์นำข้อมูลเข้ารูปแบบหนึ่งของคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเป็นคันโยกบนฐานใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวชี้หรือ Pointer บนจอภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 จอยสติ๊ก

2.7.3.1 หลักการของจอยสติ๊ก

จอยสติ๊ก ออกแบบมาเพื่อควบคุมตำแหน่งของวัตถุในเวลาหนึ่งๆ วิธีการก็คือจอยสติ๊กจะส่งตำแหน่งพิกัดในแนวราบหรือในแนวตั้ง หรือตำแหน่งพิกัดในแกน X Y ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลต่อไปยังโปรแกรมที่กำลังใช้อยู่ สวิตช์หรือปุ่มต่างๆ ที่ใช้สำหรับบังคับเมื่อมีการกดปุ่ม ก็จะมีการส่งสัญญาณไปยังการ์ดแอดแดปเตอร์ เพื่อสร้างข้อมูล เช่น ถ้ากดปุ่มก็จะเปลี่ยนค่าข้อมูลเป็น 1 ถ้าไม่ได้กดก็จะมีค่าเป็น 0

2.7.4 มอสเฟท (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) [6]

มอสเฟท (MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ ที่ใช้อิทธิพลสนามไฟฟ้าในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้ออกไซด์ของโลหะในการทำส่วน Gate นิยมใช้ในวงจรรดิจิตอล โดยนำไปสร้างลอจิกเกตต่างๆ เพราะมีขนาดเล็ก



รูปที่ 2.28 มอสเฟท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่การเรียนการสอน

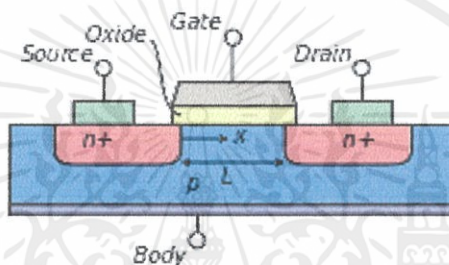
2.7.4.1 โครงสร้างของมอสเฟท

1. GATE เป็นส่วนที่ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ที่คร่อมระหว่างแผ่นสองแผ่นเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเข้าออกของสัญญาณไฟฟ้า

2. SOURCE เป็นส่วนขาเข้าของสัญญาณ
3. DRAIN เป็นส่วนขาออกของสัญญาณ

2.7.4.2 ประเภทของมอสเฟต

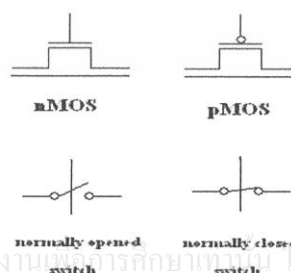
1. nMOS (Negative MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท NPN เมื่อมีความต่างศักย์เป็นบวก (สนามไฟฟ้าแรง) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก Source ไป Drain ได้
2. pMOS (Positive MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท PNP เมื่อมีความต่างศักย์ต่ำหรือเป็นลบ (สนามไฟฟ้าอ่อน) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก Source ไป Drain ได้



รูปที่ 2.29 โครงสร้างมอสเฟต

2.7.4.3 สัญลักษณ์แทนมอสเฟต

สัญลักษณ์ในทางดิจิทัลของมอสเฟตในทางดิจิทัลถูกมองว่าเป็นสวิตช์ โดย nMOS จะเป็นสวิตช์ที่เมื่อสัญญาณเข้าเป็น "1" สวิตช์ก็จะปิด ถ้าไม่สวิตช์ก็ยังคงเปิดอยู่ (Normal Opened Switch) ส่วน pMOS จะเป็นสวิตช์ที่เมื่อสัญญาณเข้าเป็น "1" สวิตช์ก็จะเปิด ถ้าไม่สวิตช์ก็จะปิดอยู่ (Normal Closed Switch) และสัญลักษณ์ทั่วไปจะมีสามขา ขากลางเป็น Gate ส่วนอีกสองขาคือ Source และ Drain โดยใช้ใน nMOS เป็นหลักเพื่อสื่อสัญลักษณ์เดียวกับทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือ ไฟขา Base ไหล ขา Collector จะต่อกับ Emitter ส่วน pMOS ก็จะใช้ Bubble ที่ขา Gate



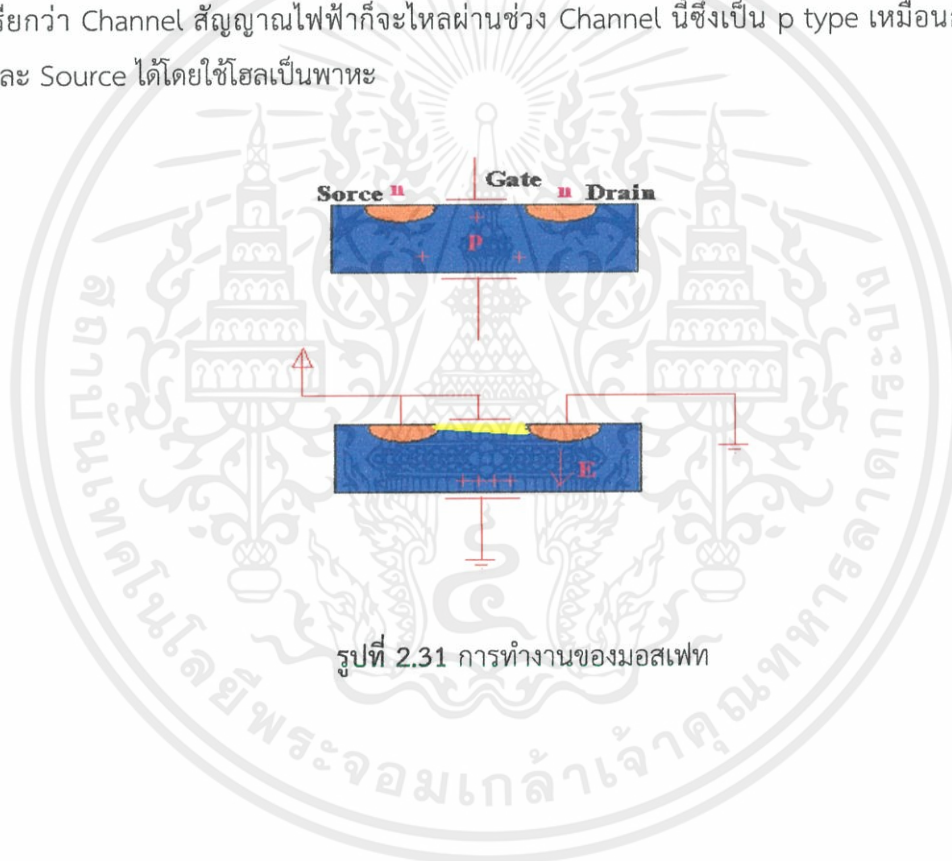
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.30 สัญลักษณ์มอสเฟต

2.7.4.4 การทำงานของมอสเฟต

nMOS เมื่อปล่อยความต่างศักย์สูง จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศลงอย่างแรง โหไลใน p type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง ตามรูปที่ 2.30 ประกอบกับมีอิเล็กตรอนอิสระบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีอิเล็กตรอนอิสระมากจนเป็น p type ได้เรียกว่า Channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง Channel นี้ซึ่งเป็น p type เหมือนกับ Drain และ Source ได้โดยใช้อิเล็กตรอนอิสระเป็นพาหะ

pMOS จะทำงานกลับกับ nMOS โดยเมื่อปล่อยความต่างศักย์ต่ำ (โดยมากมักจะติดลบ) จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศขึ้นอย่างแรง อิเล็กตรอนอิสระใน n type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง ประกอบกับมีโฮลบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีโฮลมากจนเป็น p type ได้เรียกว่า Channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง Channel นี้ซึ่งเป็น p type เหมือนกับ drain และ Source ได้โดยใช้โฮลเป็นพาหะ



รูปที่ 2.31 การทำงานของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและหลักการทำงาน

3.1 โครงสร้างหุ่นยนต์

โครงสร้างหุ่นยนต์มีพื้นฐานมาจาก โครงสร้างแบบหุ่นยนต์ 3 แกน โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนล้อทั้ง 6 รูปที่ 3.1 แสดงภาพจำลองสามมิติ Isometric ของหุ่นยนต์



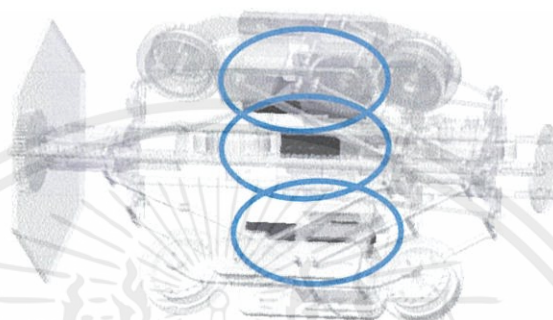
รูปที่ 3.1 ภาพ Isometric หุ่นยนต์

(a) ภาพ Top View ของหุ่นยนต์ (b) ภาพ Front View ของหุ่นยนต์ (c) Slide View ของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.2 หุ่นยนต์ในแต่ละมุมมอง ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ตำแหน่ง Load Cell Sensor

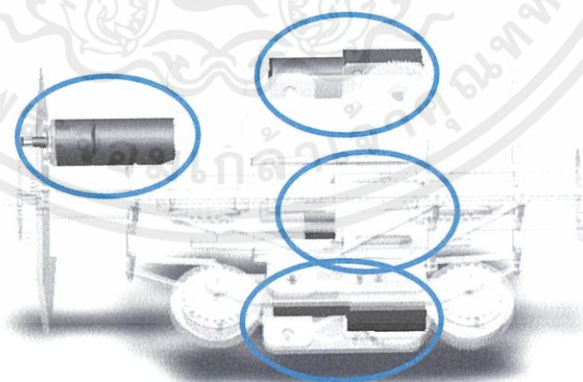
เนื่องจาก Load Cell Sensor เป็นเซนเซอร์สำหรับวัดแรงกดระหว่างล้อและผนังของท่อและเปลี่ยนเป็นขนาดของแรงดันไฟฟ้า ดังนั้น ตำแหน่งของเซนเซอร์ชนิดนี้จึงถูกติดตั้งกลางระหว่างล้อทั้งสองในระนาบเดียวกัน เพื่อสะดวกแก่การวัดค่าแรงที่เกิดขึ้น รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งของ Load Cell Sensor ภายในวงกลมบนแกนขาของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งของ Load Cell Sensor บนแกนขาของหุ่นยนต์

3.1.2 ตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงทั้ง 4 ตัว โดยมอเตอร์ที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนล้อจะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างล้อทั้งสองข้างในแนวระนาบเดียวกัน และมอเตอร์กระแสตรงตัวอีกหนึ่งตัวสำหรับยกขาของหุ่นยนต์ให้กดกับผนังท่อของหุ่นยนต์ รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงภายในวงกลมบนตัวหุ่นยนต์

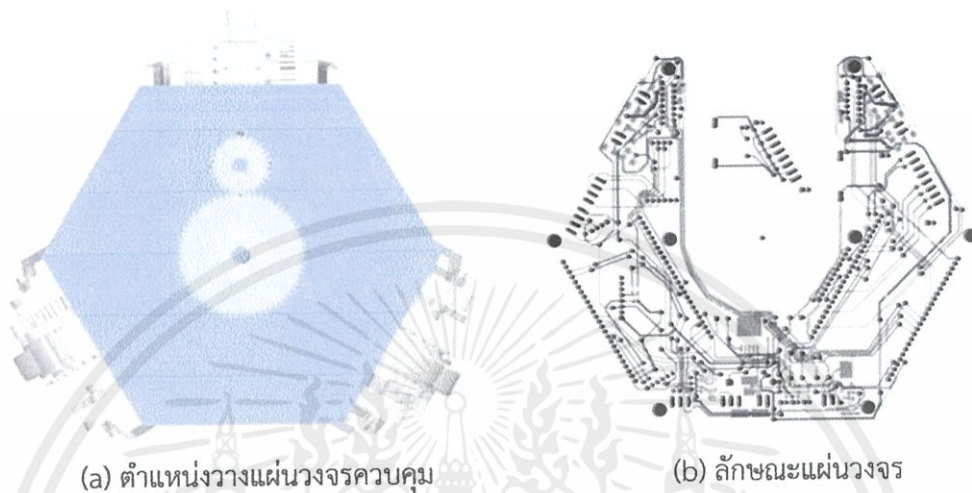


รูปที่ 3.4 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงบนตัวหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ตำแหน่งแผ่นวงจรควบคุม

แผ่นวงจรจะถูกติดตั้งบริเวณด้านหลังของตัวหุ่นยนต์ โดยลักษณะเป็นแผ่นวงจรรูป 6 เหลี่ยม ดังรูปที่ 3.5



(a) ตำแหน่งวางแผ่นวงจรควบคุม

(b) ลักษณะแผ่นวงจร

รูปที่ 3.5 ตำแหน่งวางแผ่นวงจรควบคุมหุ่นยนต์

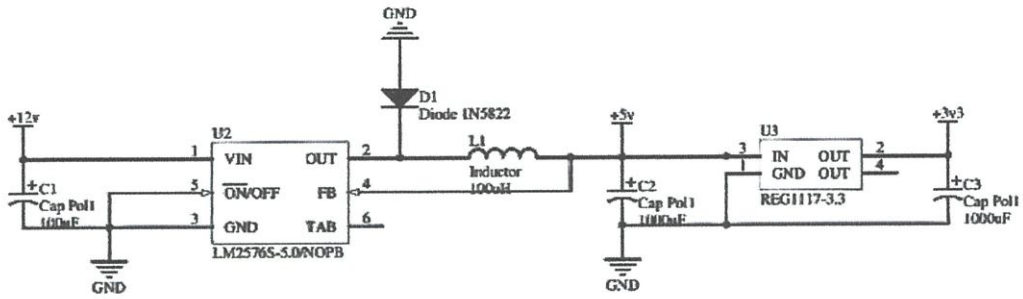
3.2 การออกแบบวงจรควบคุม

ในส่วนการออกแบบวงจรเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้นได้แบ่งการออกแบบเป็นทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่

- 3.2.1 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า
- 3.2.2 วงจรควบคุมเซนเซอร์
- 3.2.3 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง
- 3.2.4 วงจรแสดงผล

3.2.1 การออกแบบวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า

ไฟเลี้ยงที่ต้องใช้ทั้งหมดภายในวงจรทั้งหมดแบ่งได้ 3 ขนาด คือ 3.3VDC, 5VDC และ 12VDC ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการจ่ายไฟฟ้าเพื่อเลี้ยงวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน และมีขนาดของวงจรแปลงแรงดันขนาดเล็กเพื่อประหยัดพื้นที่วงจร โดยเลือกใช้ IC LM2576S แปลงเอกสารนี้เป็นแรงดันไฟฟ้า 12VDC เป็น 5VDC และ IC LM1117 แปลงแรงดัน 5VDC เป็นแรงดัน 3.3 VDC รูปที่ 3.6 แสดงแบบ Schematic Design ของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า

3.2.2 การออกแบบวงจรควบคุมหลัก

จากจุดประสงค์ที่ต้องการให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ภายใต้แรงกดกับผนังท่อที่เหมาะสม รวมถึงการแสดงผลผ่านจอภาพจากกล้องของหุ่นยนต์ และสื่อสารกับกล่อง Control Box ด้วย CAN BUS ดังนั้นจากคุณสมบัติของหุ่นยนต์ที่ต้องการนี้ จึงสามารถเลือกเซนเซอร์ อันจำเป็นสำหรับการวัดค่าต่างๆ เพื่อส่งเป็นสัญญาณ Input/Output ประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเซนเซอร์ STM32 F103RET6 ต่อเข้ากับ Module ตามลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันแสดงให้เห็นดัง ตารางที่ 3.1 และจากตารางดังกล่าวสามารถนำมาออกแบบวงจรเพื่อควบคุมระบบการทำงานของเซนเซอร์ ได้ดังรูปที่ 3.8

ทั้งนี้ในส่วนของการจ่ายไฟเลี้ยงแยกอุปกรณ์แต่สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ไฟเลี้ยง Rotary Encoder และ L298N 5VDC
2. ไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์ และ กล้อง 3.3 VDC

เซนเซอร์ที่เลือกนำมาใช้งานมีหน้าที่แตกต่างกันโดยสามารถแบ่งสัดส่วนการทำงานในแต่ละส่วนได้ดังนี้

3.2.2.1 เซนเซอร์วัดขนาดแรงกระทำที่ขาของหุ่นยนต์

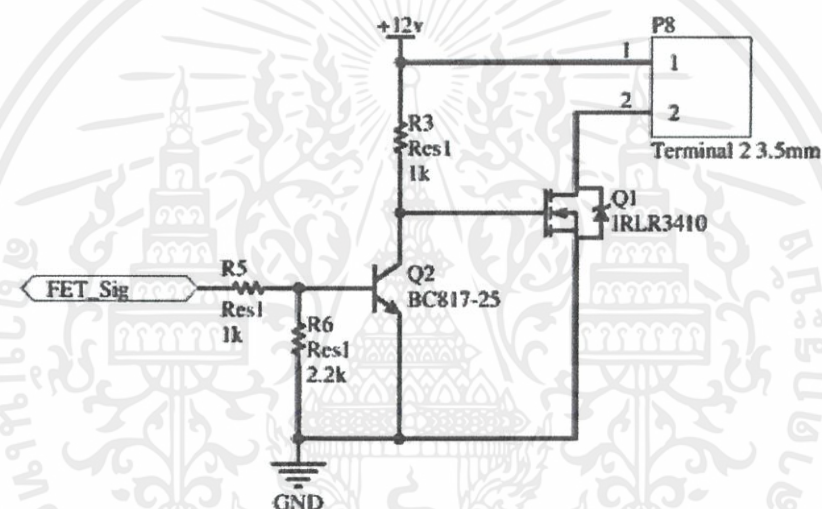
ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยเซนเซอร์ Load Cell และ IC HX711 ทำงานต่อเนื่องกัน โดย Load Cell เป็นเซนเซอร์วัดขนาดแรงกด ติดตั้งบริเวณขาของหุ่นยนต์ เพื่อวัดขนาดของแรงที่ขาของหุ่นยนต์กระทำกับผนังท่อเป็นสัญญาณ Input ได้สัญญาณ Output เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปของขนาดแรงดันไฟฟ้า (mV/V) ซึ่งมีขนาดต่ำและมีรูปแบบเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแบบต่อเนื่อง เรียกสัญญาณชนิดนี้ว่า สัญญาณอนาล็อก ซึ่งยากต่อการนำไปใช้งานต่อ สัญญาณ Output ที่ได้จาก Load Cell จะผ่านการขยายขนาดสัญญาณและแปลงรูปแบบของสัญญาณไปเป็นสัญญาณดิจิทัลโดย IC HX711 ซึ่งเป็นไอซี แปลงสัญญาณอนาล็อกที่วัดได้จาก Load Cell ความละเอียด 12 bit เป็นสัญญาณดิจิทัล ความละเอียด 16 bit แล้วส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารด้วย Module USART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเซนเซอร์ไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมอเตอร์

3.2.2.2 CAN BUS

ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างบอร์ดควบคุมบนตัวหุ่นยนต์กับกล่อง Control Box ด้วยความเร็วมากที่สุดอยู่ที่ 1Mbit/s ผ่านทางสาย CAN BUS และ CAN Transistor ทำหน้าที่แปลงสัญญาณส่งข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของกระแส เพื่อลดการสูญเสียของข้อมูลในระหว่างการส่ง

3.2.2.3 วงจรสวิตช์ควบคุมไฟส่องสว่าง

ใช้ควบคุมการ เปิด-ปิด ของไฟส่องสว่างด้านหน้าตัวหุ่นยนต์ขณะทำงานภายในท่อ โดยควบคุมผ่านวงจรมอสเฟต เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์จ่ายสัญญาณขึ้นบันได แรงดันไฟฟ้าขนาด 3.3 VDC ให้ผ่านทรานซิสเตอร์ BC817-25 เพื่อขยายขนาดกระแสไฟขึ้นแล้วส่งต่อไปยังมอสเฟต IRLR3410 ขยายแรงดันไฟฟ้า เพื่อควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟส่องสว่าง แสดงดังรูปที่ 3.7



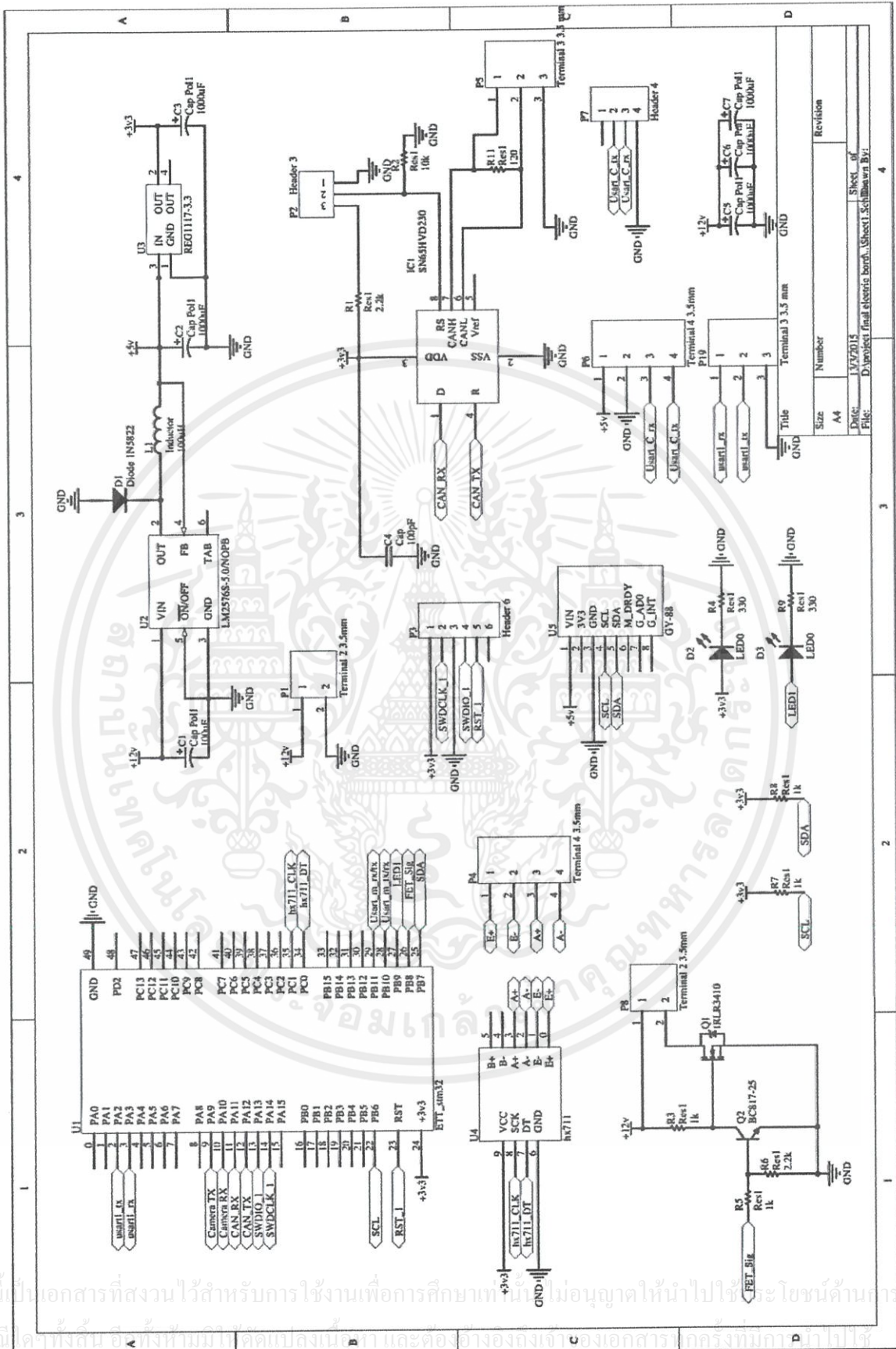
รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมไฟส่องสว่างด้านหน้าตัวหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สัญญาณ Input/Output ประมวลผลผ่าน STM32 ต่อเข้ากับ Module

Module	PIN No.	Connect to	Function
I/O	PC0	HX711_CLK	CLOCK INPUT
	PC1	HX711_DT	DATA INPUT
I2C	PB6	SCL_GY-88	CLOCK INPUT
	PB7	SDA_GY-88	DATA INPUT
UAST	PA9	Camera_Tx	UART_Tx
	PA10	Camera_Rx	UAST_Rx
I/O	PB8	MOSFET	LAMP
Usart2	PA2		Usart2_Tx
	PA3		Usart2_Rx
Usart3	PB10	Usart_Rx (m2)	Usart3_Tx
	PB11	Usart_Tx(m2)	Usart3_Rx
I/O	PA13	USB interface	SWDIO_2
	PA14		SWDCLK_2
RST	RST		RST_2
I/O	PB8	LED1	Output
GND	GND	GND	GND
3v3	VDD	Power 3v3	Power supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 Schematic design วงจรควบคุมเลนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในนามของคณะผู้จัดทำ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่จัดทำไปให้

3.2.3 การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์นั้น เนื่องจากมอเตอร์กระแสตรงสำหรับขับเคลื่อนล้อมีขนาด 12VDC หมุนด้วยความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที ติดตั้งระหว่างล้อของหุ่นยนต์ทั้ง 3 แกนสำหรับขับเคลื่อนล้อและ มอเตอร์กระแสตรงสำหรับออกแรงกดขาหุ่นยนต์ ขนาด 12VDC หมุนด้วยความเร็ว 20 รอบต่อนาที ทั้งหมด 4 ตัว จากคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงที่กล่าวมา IC ที่นำมาเลือกใช้ ออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์คือ L298N โดยเลือกจากคุณสมบัติของ IC

1. สามารถใช้แรงขับเคลื่อนได้สูงสุด 50V
2. สัญญาณลอจิกสูงสุด 7V
3. สามารถขับเคลื่อนสูงสุด 2 ตัว ต่อ 1 ไอซี
4. สามารถใช้การควบคุมแบบพัลส์วิดท์มอดูเลชัน
5. สามารถควบคุมทิศทางของมอเตอร์ได้ด้วยการจ่ายสัญญาณ Logic

ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ เราสามารถกำหนด Input และ Output ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยอาศัย ขา Input/Output ที่มีฟังก์ชันตั้งต้นเป็น Module TIM เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม และจ่ายสัญญาณ Pulse ให้กับไอซี L298N ในส่วนของการสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมเซนเซอร์ จะใช้ Module USART

จากตารางที่ 3.2 Input/Output Interface ของไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ด้านบนเราสามารถนำความสัมพันธ์มาออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.9 แสดงแบบวงจรเพื่อใช้ควบคุมมอเตอร์กระแสตรงทั้งหมด 4 ตัว

ทั้งนี้ในส่วนของการจ่ายไฟเลี้ยงแยกอุปกรณ์แต่ละตัวสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. จ่ายไฟเลี้ยงมอเตอร์กระแสตรง 12VDC
2. ไฟเลี้ยง Rotary Encoder และ L298N 5VDC
3. ไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์ 3.3 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 Input/Output interface ของไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

Module	PIN No.	Connect to	Function
TIM 1	PA8	L298N_U7 EN A	Forced-Output
	PA9	L298N_U7 EN B	
	PA10	L298N_U8 EN A	
	PA11	L298N_U8 EN B	
I/O	PC0	L298N_U7 IN1	Output
	PC1	L298N_U7 IN2	
	PC2	L298N_U7 IN3	
	PC3	L298N_U7 IN4	
I/O	PC4	L298N_U8 IN1	Output
	PC5	L298N_U8 IN2	
	PC6	L298N_U8 IN3	
	PC7	L298N_U8 IN4	
TIM 2	PA15	Encoder 1	Encoder Interface
	PB3		
TIM 3	PB4	Encoder 2	
	PB5		
TIM 4	PB6	Encoder 3	
	PB7		
TIM 5	PA0	Encoder 4	
	PA1		
Usart2	PA2		Usart2_Tx
	PA3		Usart2_Rx
Usart3	PB10	Usart_Rx (m1)	Usart3_Tx
	PB11	Usart_Tx(m1)	Usart3_Rx
I/O	PA13		SWDIO_2
	PA14	USB interface	SWDCLK_2
RST	RST		RST_2

3.2.4 วงจรแสดงผล

แบ่งเป็นส่วนแสดงผลเป็น 2 หน้าจอ คือ

1. หน้าจอแสดงผลจากกล้อง
2. หน้าจอแสดงผลจากการประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.4.1 หน้าจอแสดงผลจากกล้อง

สำหรับกล้องที่ใช้เป็นกล้องที่มีคุณสมบัติคือ

1. Subordinate Classification: Serial Ports Output Digital Camera

Module

2. Sensor : 30w CMOS
3. Len : Optional
4. Perspective: 90 degrees
5. Communication Mode: RS232 TTL/COMS Level
6. Working Voltage: 5 VDC

จากคุณสมบัติเบื้องต้น กล้องจะส่งข้อมูลรูปภาพเคลื่อนไหวผ่านทางสายเคเบิลแสดงผลขึ้นทางหน้าจอ LCD โดยที่ตัวกล้องมีพอร์ตสำหรับไฟเลี้ยง 5VDC เพื่อเลี้ยงวงจรภายใน

3.2.4.2 หน้าจอแสดงผลจากการประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับหน้าจอที่ใช้แสดงผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ หน้าจอ LED ขนาด 20 × 4 โดยเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ภายใน Control Box แสดงผลค่า SP (Set Point) และ PV (Process Variable) ซึ่งส่งมาจาก Main Microcontroller ผ่าน CAN BUS

3.3 ระบบการทำงานของหุ่นยนต์

3.3.1 ระบบควบคุมแรงกดของมอเตอร์

หลักการทำการควบคุมมอเตอร์ออกแรงกดแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมระบบการทำงานด้วย Feedback Control ดังรูปที่ 3.10 โดยสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ เมื่อเราป้อนแรงดัน Input เข้าไป ในที่นี้คือค่าแรงที่กดกับผนังทำให้หุ่นยนต์สามารถหยุดนิ่งได้โดยไม่ร่วงตกลงมาตามแนวตั้งให้มีขนาดเท่ากับ ขนาดแรง Set Point (SP) โดยการสุ่มค่าแรงที่น้อยที่สุดที่ต้องการ ขนาดของแรงดังกล่าวไปเก็บที่ Microcontroller โดยใช้วิธีคอนโทรลแบบ PID Controller สั่งงานให้มอเตอร์กดขาหุ่นยนต์ลงบนผนังที่ขนาด SP จากนั้น Load Cell Sensor จะทำการวัดค่าแรงที่ผนังที่กระทำกับล้อของหุ่นออกมาเป็น Output ผ่านการขยายสัญญาณ HX711 คือ ค่า Process variable (PV) เทียบกับค่า Set Point จะได้ผลต่างระหว่างขนาด SP และ PV ตามสมการที่ 3.1

$$e(t) = PV - SP \quad (3.1)$$

เมื่อ

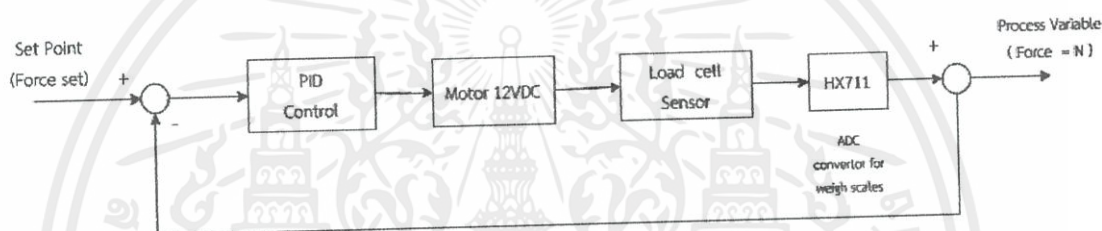
e คือ ค่าความผิดพลาด Process Variable กับ Set Point

t คือ เวลา

PV (Process Variable) คือ ผลของค่า SP ที่ผ่านระบบออกมาแล้ว

SP (Set Point) คือ ค่าเริ่มต้นที่เราต้องการ

โดยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนเวลาที่เปลี่ยนไปตามสมการที่ 3.1 จะถูกเก็บสะสมไปเรื่อยๆ จนเป็นผลรวมของค่าความผิดพลาดบนช่วงเวลาคือ ค่าปริพันธ์ และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดแต่ละครั้งคือ ค่าอนุพันธ์แล้วนำค่าที่กล่าวมาทั้งหมดไปใช้ในการควบคุมระบบให้เข้าสู่เสถียรภาพ โดยการปรับค่าอัตราขยาย K_p , K_i และ K_d ดัง สมการที่ 3.2



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงสำหรับกดแรงลงบนพื้นท่อ

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.2)$$

เมื่อ

u คือ สัญญาณขาออก

MV (Manipulated Variable) คือ ผลรวมของเทอมสมการ PID

e คือ ค่าความผิดพลาด Process Variable กับ Set Point

K_p คือ อัตราขยายสัดส่วน

K_i คือ อัตราขยายปริพันธ์

K_d คือ อัตราขยายอนุพันธ์

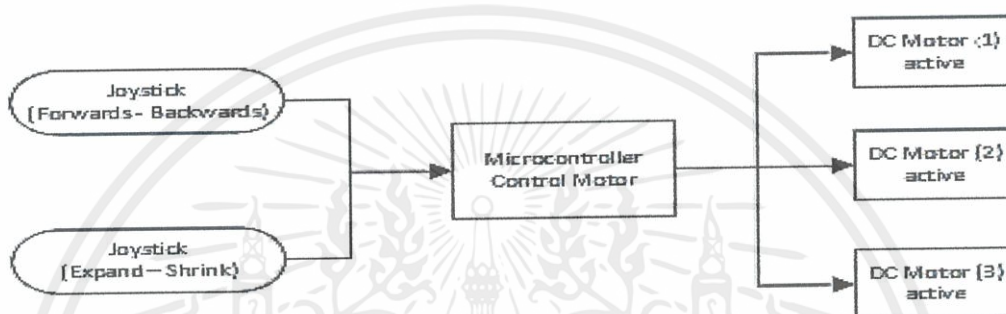
t คือ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อประมวลผลได้ค่าอัตราขยายที่เหมาะสมจะได้ค่า PV แรงกดที่เหมาะสมที่ทำให้หุ่นสามารถเกาะบนผนังท่อได้ ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์หลักสั่งการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ทำงานเพื่อควบคุมการขับเคลื่อนล้อของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ถัดไป

3.3.2 ระบบควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์

หลักการการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนตัวหุ่นยนต์มีลักษณะเป็นแบบ Open Loop โดยการปรับความเร็วของมอเตอร์จาก Control Box ผ่าน ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variable Resistor) โดยแสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนดังรูปที่ 3.11



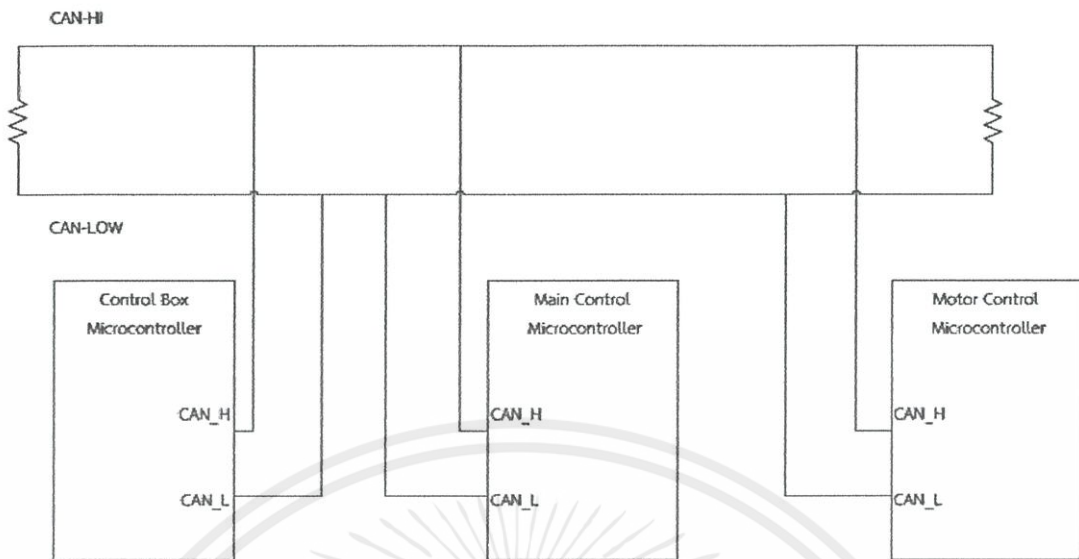
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์

3.3.3 ระบบควบคุมการแสดงผล

ส่วนของการสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์กับผู้ควบคุม จะใช้ส่วนของกล่องควบคุม Control Box เป็นตัวกลาง โดยภายในกล่องควบคุมจะใช้ Microcontroller Arduino Mega 2560 ในการประมวลผลการทำงานด้วยกัน 2 หน้าทีคือ

3.3.3.1 ส่งและรับข้อมูลผ่าน CAN BUS

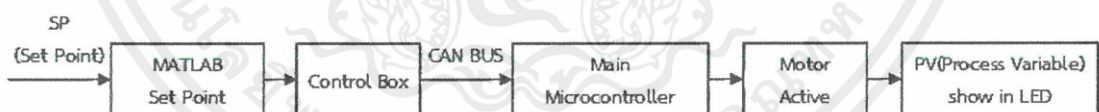
จากลักษณะการสื่อสารของ CAN Protocol มีลักษณะการสื่อสารแบบ multi-master serial bus โดยอุปกรณ์ภายใต้เครือข่าย CAN สามารถนำข้อมูลจากตัวส่งข้อมูลไปใช้ได้ โดยการระบุตำแหน่ง ID ของ CAN Node ตัวรับ โดยใช้ Logical ในการส่งคือ 0 และ 1 จากรูปภาพที่ 3.12 แสดง เครือข่าย CAN Protocol ระหว่าง Microcontroller ทั้ง 3 ตัว คือ Main Controller, Motor Controller และ Control Box โดยการส่งค่าข้อมูลของจอยสติ๊ก และ Set Point ผ่าน CAN BUS Protocol ทำงานควบคู่กับ CAN Shield Arduino board ซึ่งมี MCP2515 เป็น IC CAN Controller With SPI Interface เพื่อส่งข้อมูลจากกล่อง Control Box ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์บนตัวหุ่นเพื่อควบคุมโดยข้อมูลของจอยสติ๊ก จะถูกส่งไปที่ ID CAN ของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อน และค่า Set Point จะถูกส่งไปประมวลผลที่ ID CAN ของ Main Microcontroller



รูปที่ 3.12 เครือข่ายของ CAN BUS

3.3.3.2 แสดงผลข้อมูลขึ้นทางจอ LED

ในส่วนการทำงานส่วนนี้ Control Box จะแสดงผลบนหน้าจอ LED คือ ค่า Speed ของมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว, ค่า Set Point หรือ ขนาดของแรงที่กำหนดในแต่ละครั้ง และค่า Process Variable หรือค่าแรงที่ Load Cell อ่านได้จากแรงที่ผนังกระทำกับขาของหุ่นยนต์ โดย Buttons และ Switch จะเป็นตัวควบคุมการแสดงผลบนจอ LED แสดงขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการทำงานเพื่อส่งข้อมูลแสดงผลผ่านจอ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองที่ได้จากการออกแบบระบบควบคุมลงในโปรแกรม และการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของหุ่น และรวมถึงขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการขยายของตัวหุ่นยนต์

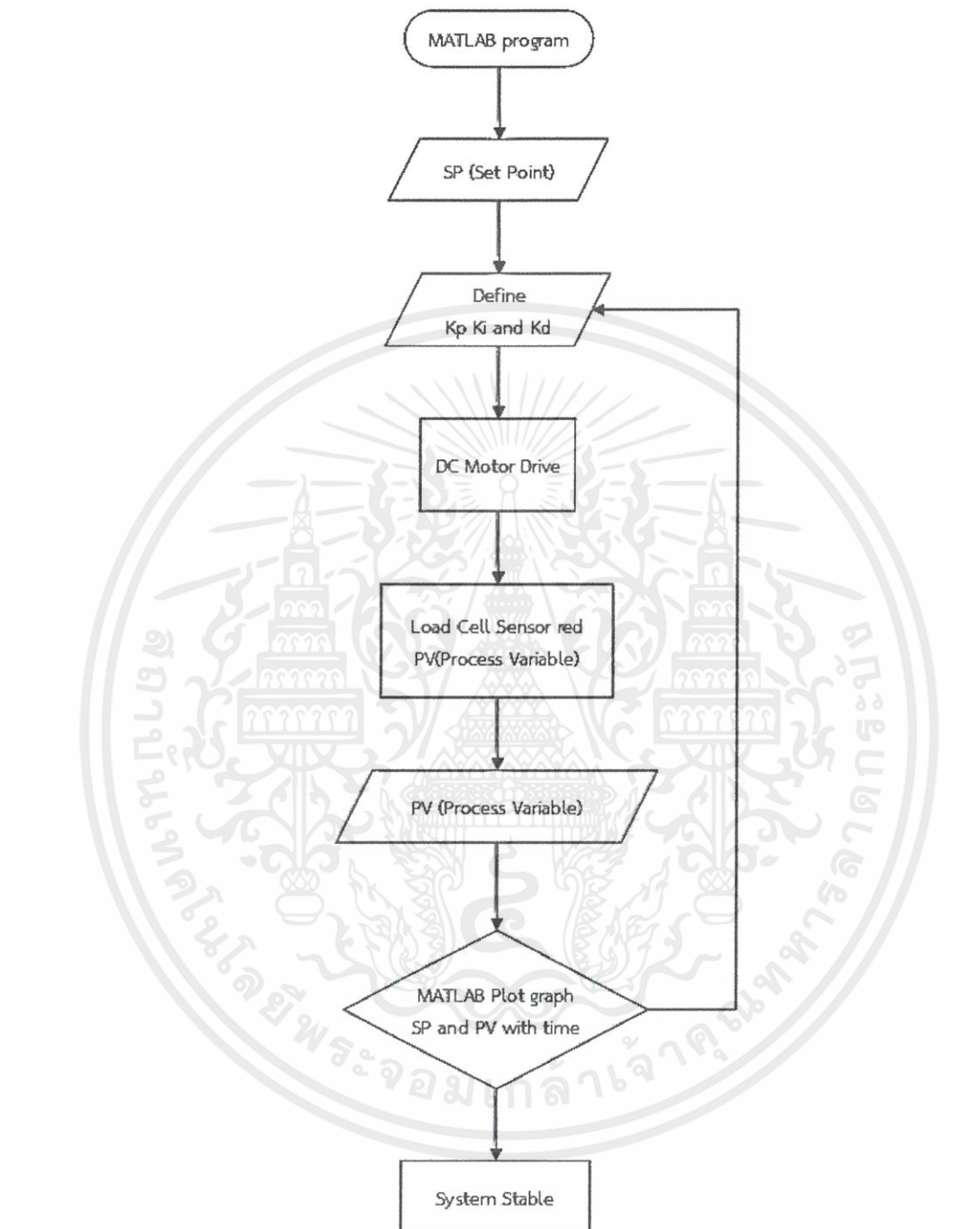
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. วงจรควบคุมที่ได้จากการออกแบบ (ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 f103ret6)
2. Control Box ที่ประกอบแล้ว (ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560)
3. สายเคเบิล CAN Bus
4. สายไฟ
5. ตัวหุ่นยนต์ประกอบเข้ากับมอเตอร์กระแสตรงและ Load Cell Sensor
6. เครื่องคอมพิวเตอร์

4.2 วิธีการทดลอง

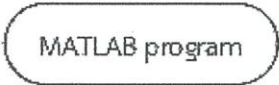

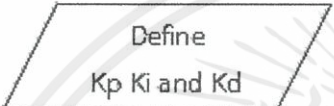
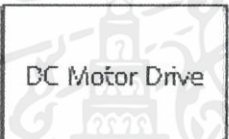
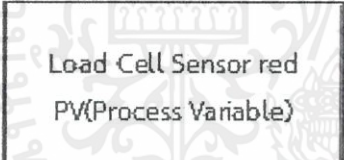

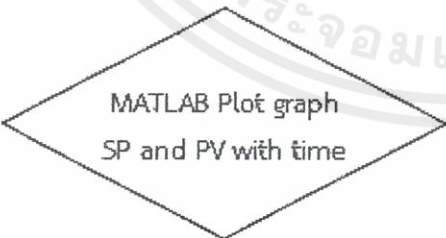
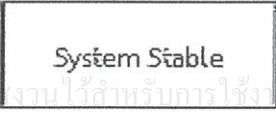
1. จ่ายไฟให้ Control Box 12Vdc โดย Power Supply
2. เซตค่า Set Point ที่ 150 kg
3. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของมอเตอร์กระแสตรง
4. อ่านค่า Process Variable จากกราฟระหว่าง Set Point กับช่วงเวลา (t) และ Process Variable กับช่วงเวลา (t) บน MATLAB
5. เทียบกราฟเพื่อปรับค่า K_p , K_i , K_d บน Control Box เพื่อให้ระบบเข้าสู่เสถียรภาพ

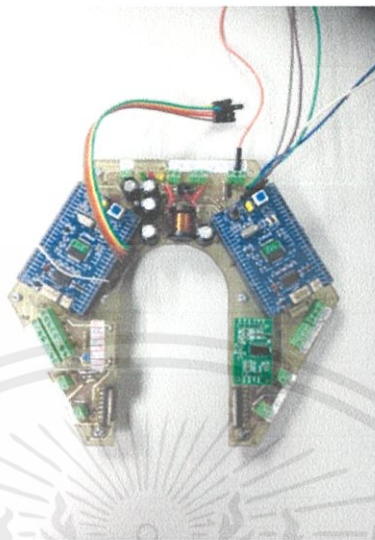
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 Flow Chart ของการทดลองเพื่อปรับค่า ค่า K_p , K_i , K_d ให้กับระบบควบคุมของ หุ่นยนต์เข้าสู่เสถียรภาพหรือเพื่อให้หุ่นยนต์ออกแรงเพื่อเกาะพื้นผิวของท่อ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 อธิบาย Flow Chart ในรูปที่ 4.1

	โปรแกรม MATLAB เชื่อมต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในกล่อง Control Box
	ตั้งค่า Set Point ตามน้ำหนักที่ต้องการ ผ่าน โปรแกรม MATLAB หรือ Control Box
	กำหนด ค่า Kp, Ki และ Kd ค่า SP, Kp, Ki และ Kd จะส่งไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์บนหุ่น ผ่าน CAN BUS
	มอเตอร์กระแสตรงจะขับให้หุ่นขยายจนล้อสัมผัสกับผิวด้านในของถ่อ
	Load Cell Sensor จะอ่านค่าแรงที่ผนังท่อกระทำกับล้อเป็นค่า PV
	ค่า PV ส่งกลับที่ Control Box ผ่าน CAN BUS
	โปรแกรม MATLAB พล็อตกราฟจากการอ่านค่าของ Load Cell Sensor โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV กับ t (เวลา) ถ้ากราฟ PV ลู่เข้าหา กราฟ SP
	กราฟ PV ลู่เข้าใกล้กราฟ SP มากที่สุด

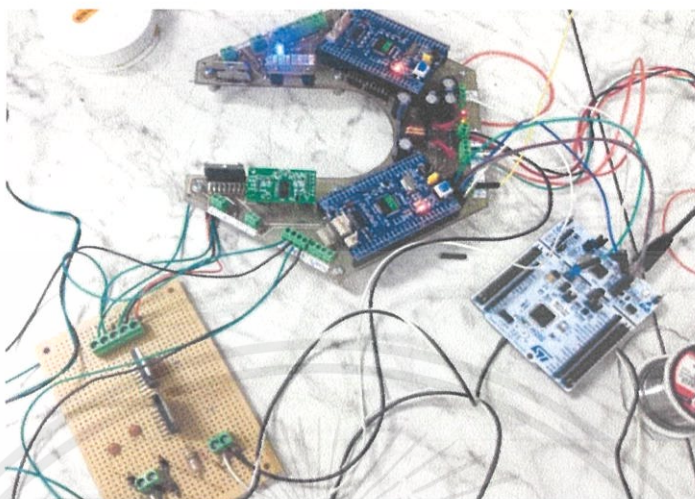


รูปที่ 4.2 วงจรสำหรับควบคุมหุนยนต์และเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องบนตัวหุนยนต์

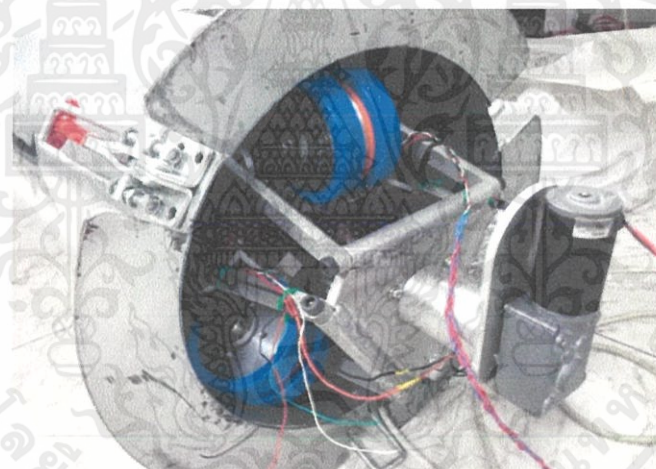
จากรูปที่ 4.2 แสดงรูปภาพแผ่น PCB จริงที่ได้จากการออกแบบและนำมากัดบนแผ่นทองแดงเพื่อใช้งาน ติดตั้งบนตัวหุนยนต์เพื่อควบคุมเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องและขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงทั้ง 4 ตัว ซึ่งจะสื่อสารกับ Control Box ผ่าน สายเคเบิลของ CAN Protocol รูปที่ 4.3 แสดงรูปร่างของ Control Box สำหรับสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานเพื่อควบคุมหุนยนต์หากนำไปใช้งานจริง เพื่อความสะดวกในการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 4.3 Control Box ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การต่อวงจรขณะทดลอง

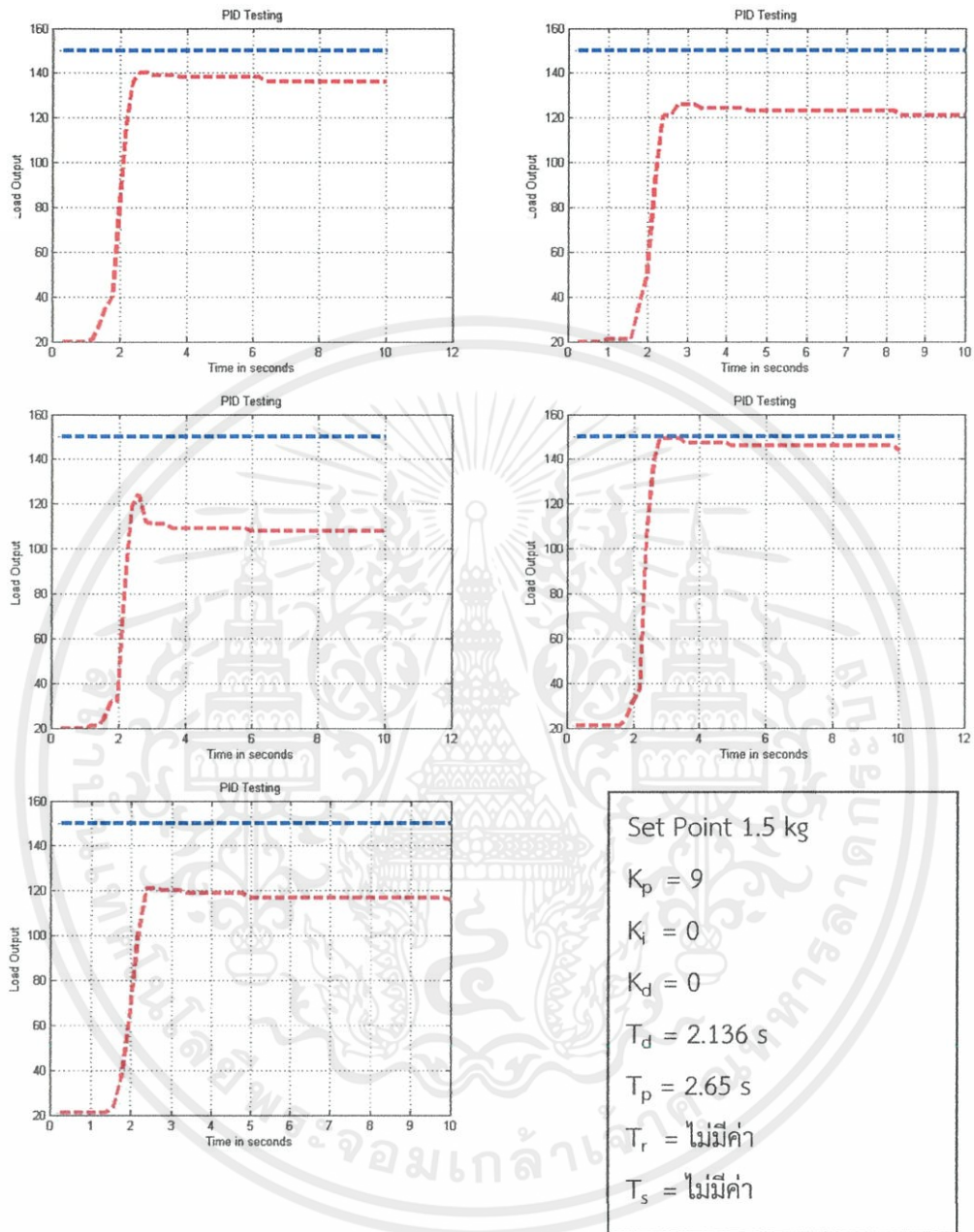


รูปที่ 4.5 เอาหุ่นใส่ท่อเพื่อทดลอง

4.3 ผลการทดลอง

ซึ่งจากการปรับค่าเพื่อให้หุ่นสามารถเกาะนิ่งอยู่ภายในท่อได้ สามารถสังเกตได้จากกราฟ ประมวลผลผ่าน โปรแกรม MATLAB โดยสามารถคาดการณ์ค่าที่มีความเป็นไปได้จากลักษณะของกราฟ PV กับเวลา เทียบ ค่า SP โดยสามารถบ่งบอกช่วงเวลาที่ยืดหยุ่นจากช่วงที่กราฟ PV เข้าใกล้ค่า SP ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสดงผลตารางการทดลองและกราฟแสดงผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

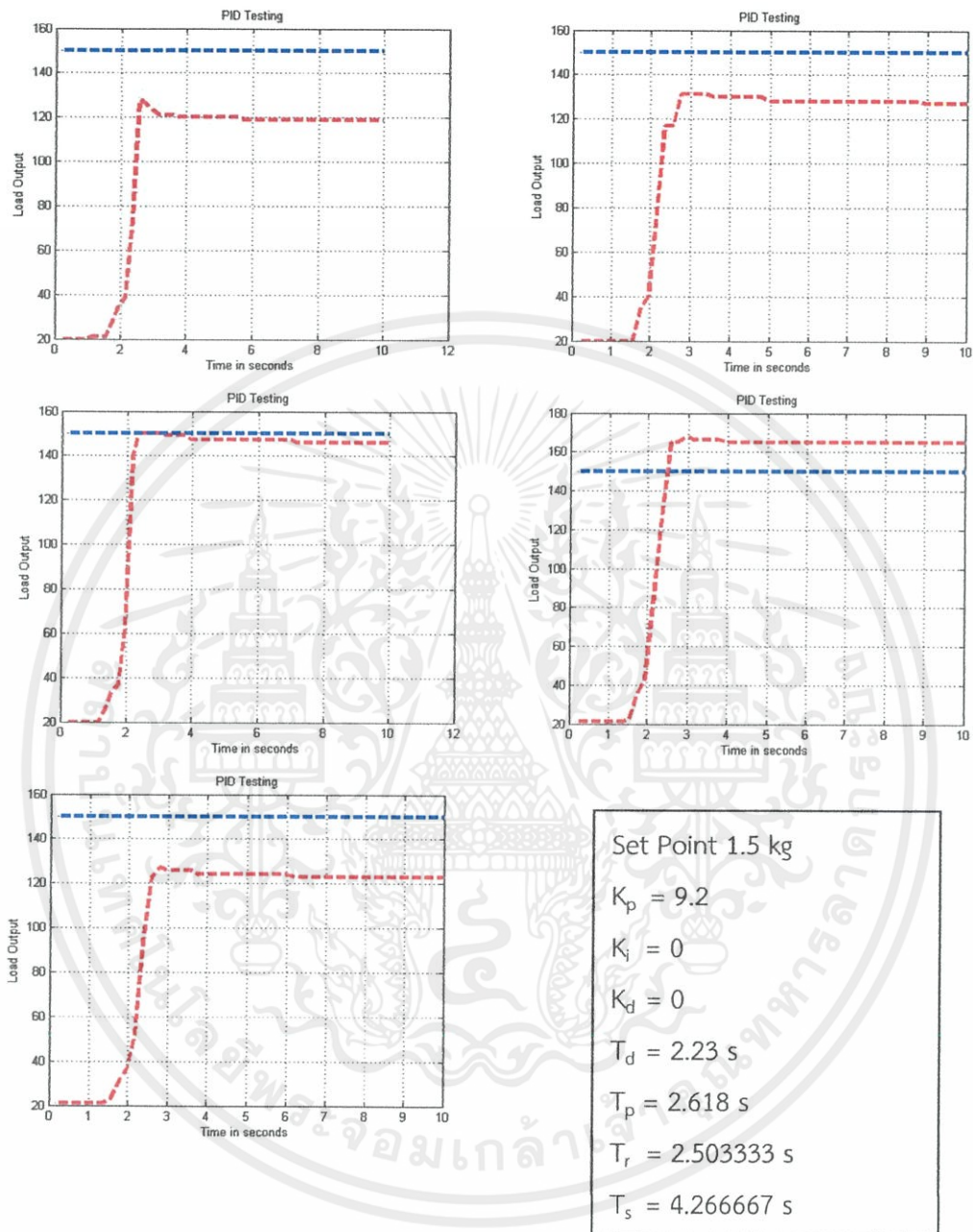
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9	0	0	2.13	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.8
2	9	0	0	2	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.62
3	9	0	0	2.17	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.62
4	9	0	0	2.33	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.82
5	9	0	0	2.05	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.39
AVG				2.136			2.65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.2$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

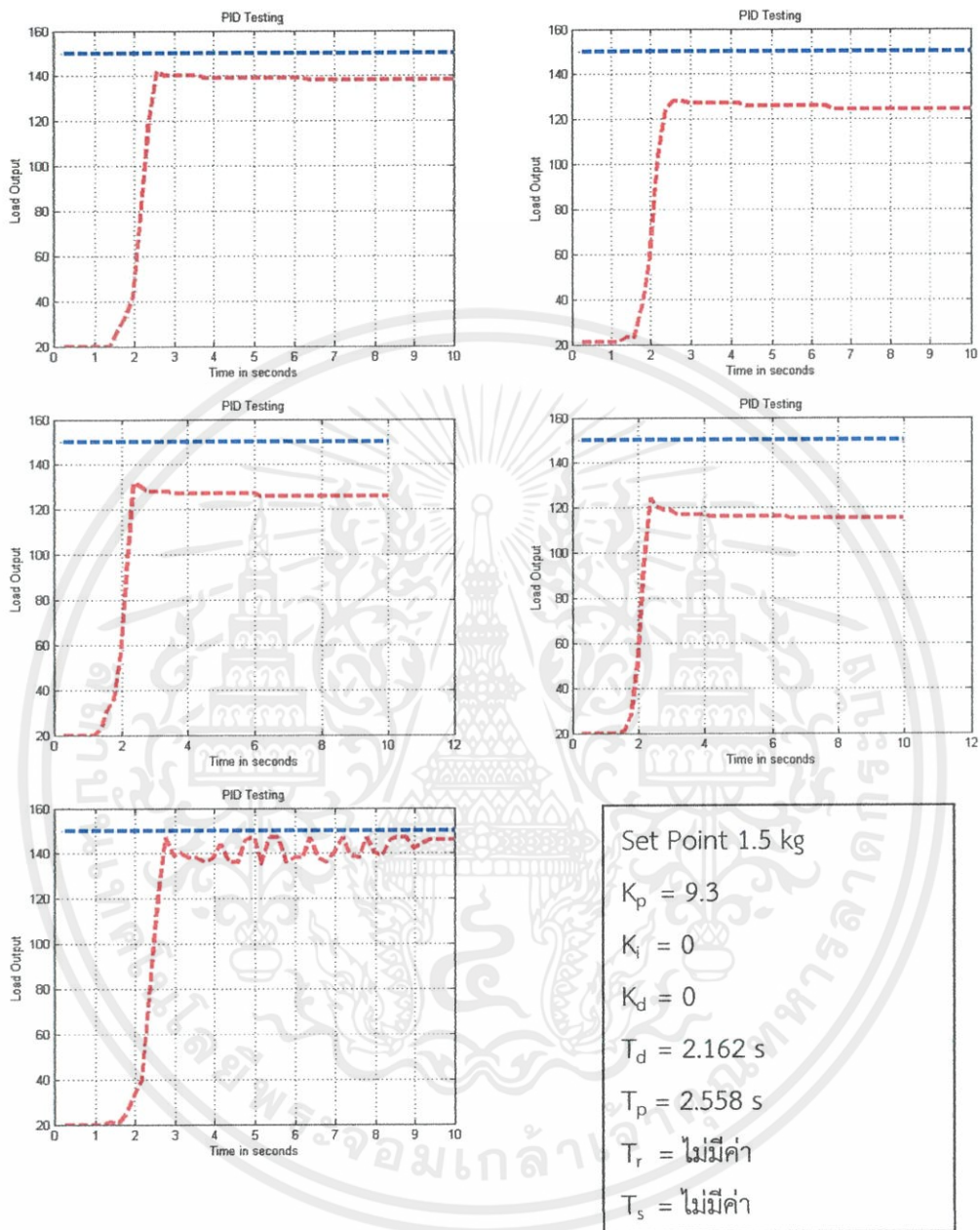
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.2$, $K_i = 0$, $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.2	0	0	2.4	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.59
2	9.2	0	0	2.3	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.8
3	9.2	0	0	2.13	2.52	4	2.98
4	9.2	0	0	2.04	2.4	4.2	2.4
5	9.2	0	0	2.28	2.59	4.6	2.32
AVG				2.23	2.503333	4.266667	2.618



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.3$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

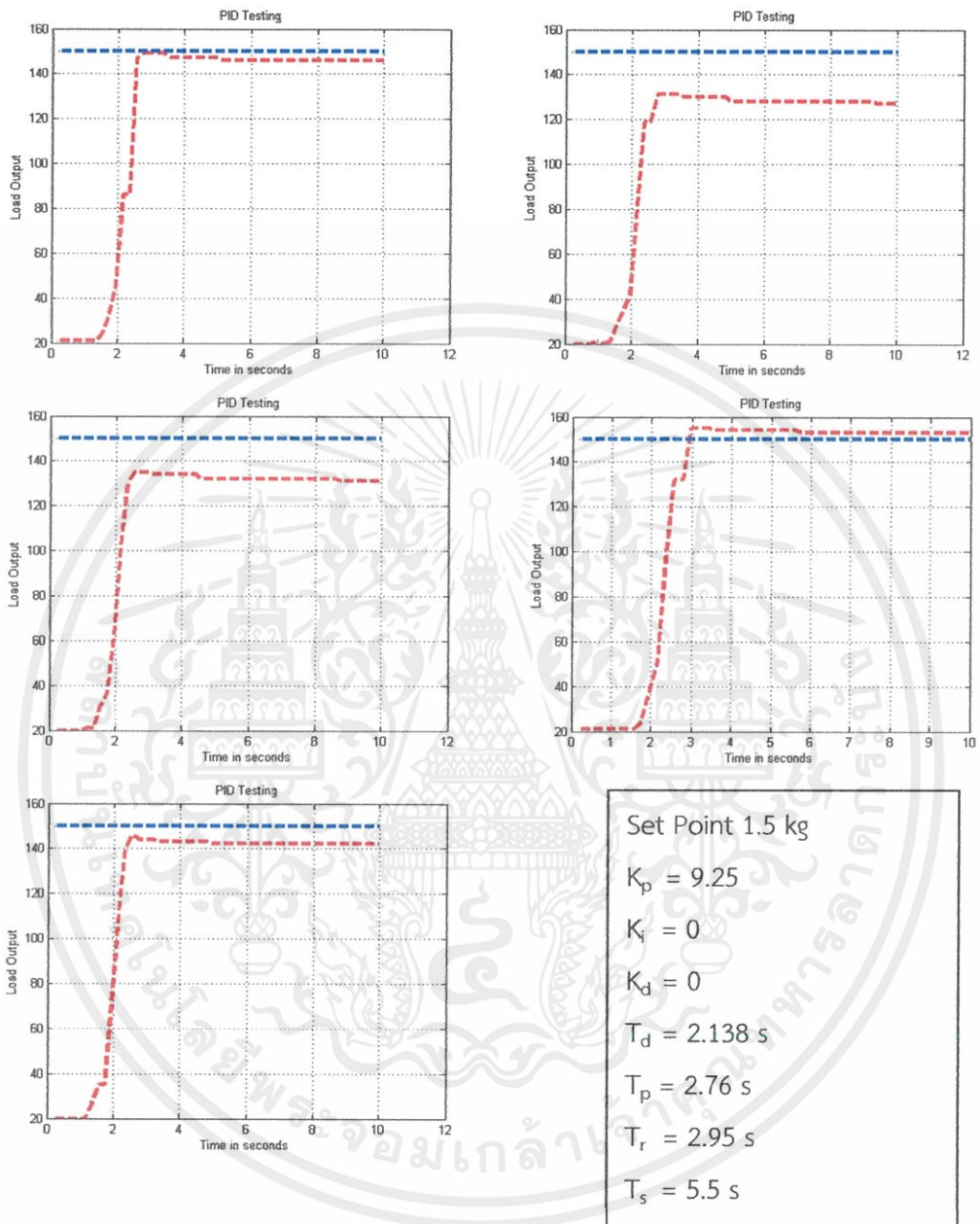
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.3$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.3	0	0	2.07	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.59
2	9.3	0	0	2.12	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.41
3	9.3	0	0	2.16	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.59
4	9.3	0	0	2.37	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.8
5	9.3	0	0	2.09	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.4
AVG				2.162			2.558



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

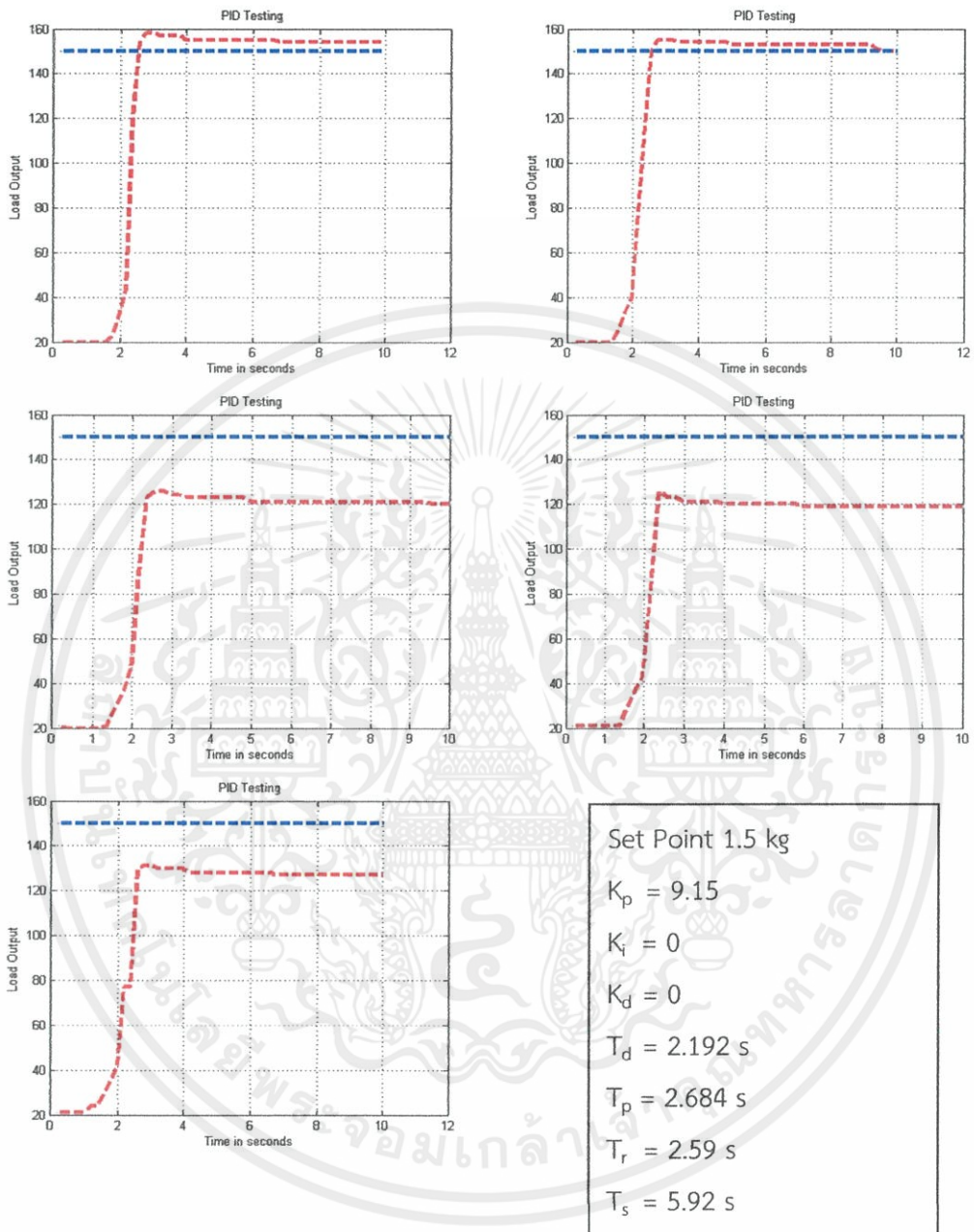
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	0	0	2.18	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.81
2	9.25	0	0	2.05	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.59
3	9.25	0	0	2.15	ไม่มีค่า	5.2	2.82
4	9.25	0	0	2.3	2.95	5.8	3
5	9.25	0	0	2.01	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.58
AVG				2.138	2.95	5.5	2.76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.15$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

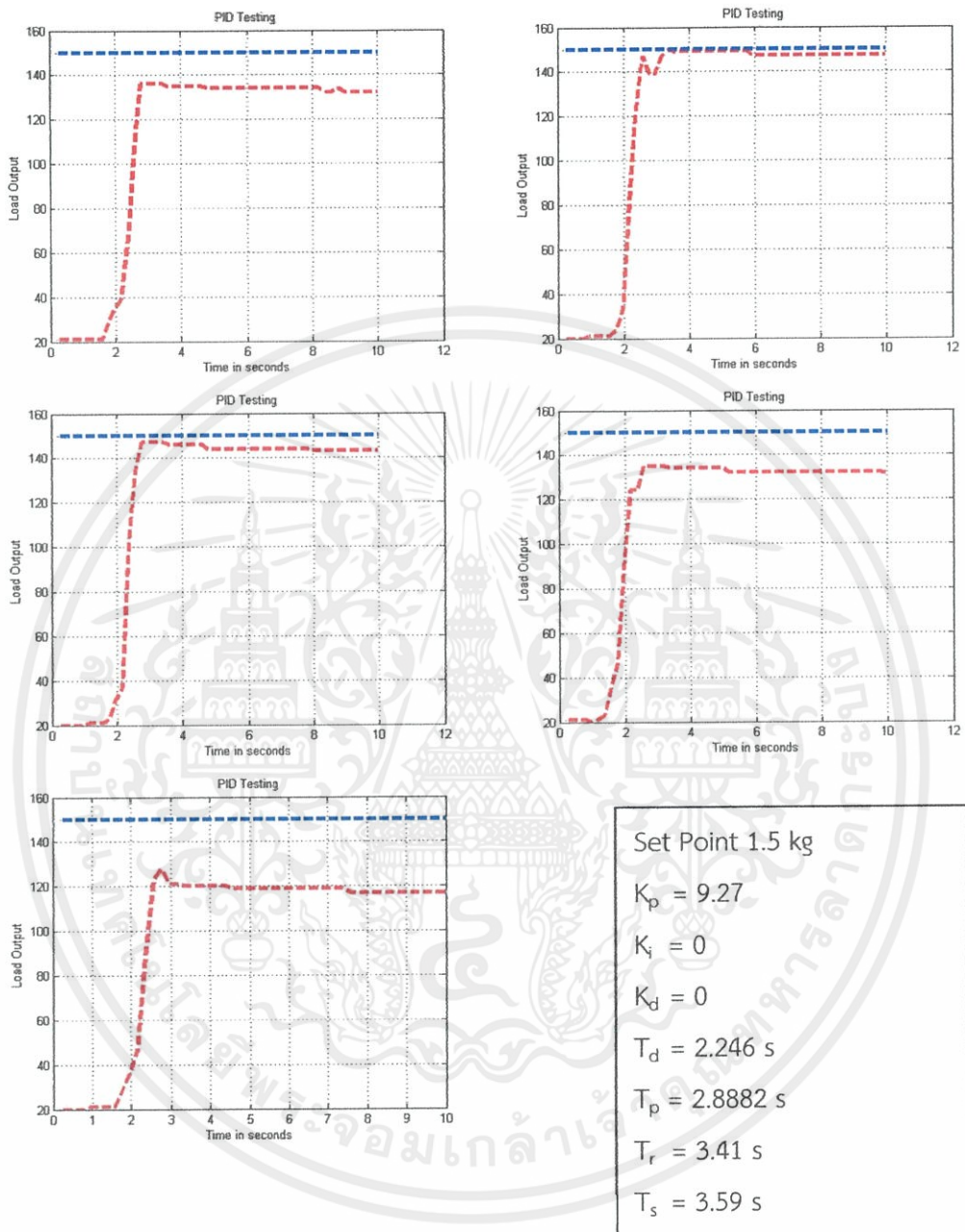
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.15$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	k_d	T_d	T_r	T_s	T_p	M_p
1	9.15	0	0	2.2	2.61	5.02	2.81	15
2	9.15	0	0	2.2	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.82	ไม่มีค่า
3	9.15	0	0	2.28	2.57	6.82	2.8	8
4	9.15	0	0	2.15	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.39	ไม่มีค่า
5	9.15	0	0	2.13	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.6	ไม่มีค่า
AVG				2.192	2.59	5.92	2.684	11.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.27$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

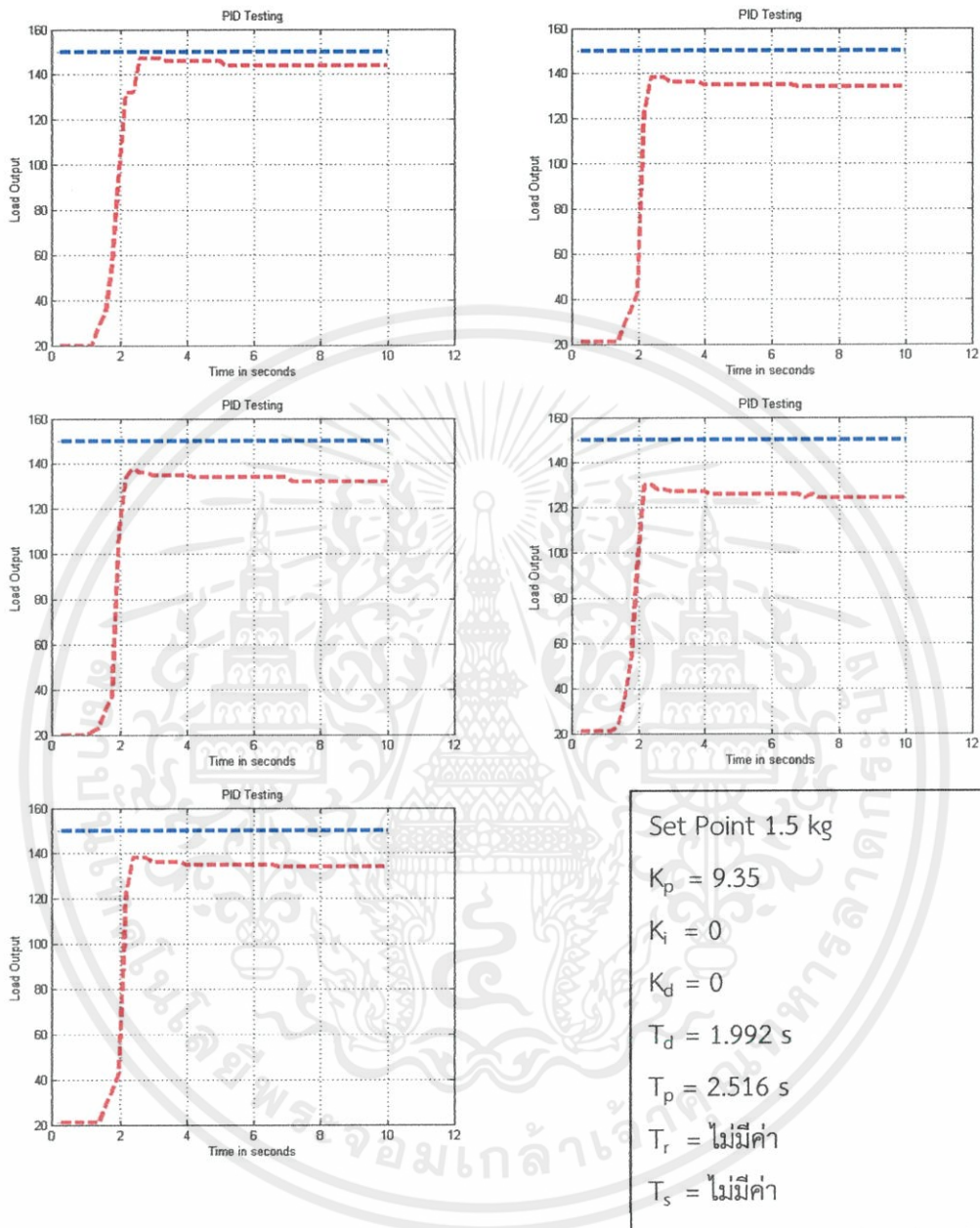
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.27$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.27	0	0	2.18	3.41	3.59	3.41
2	9.27	0	0	1.94	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.62
3	9.27	0	0	2.46	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.82
4	9.27	0	0	2.33	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.79
5	9.27	0	0	2.32	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.801
AVG				2.246	3.41	3.59	2.8882



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.35$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

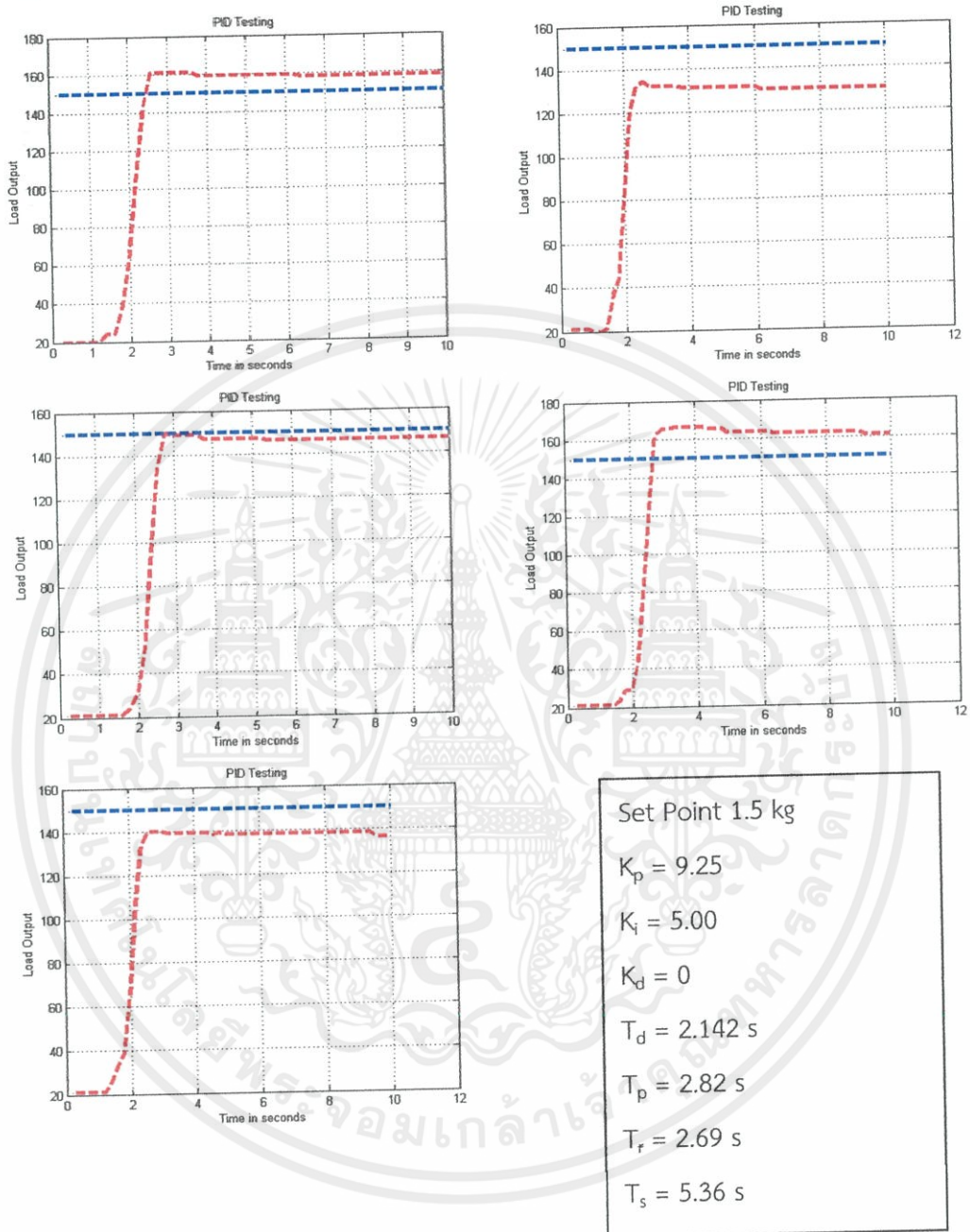
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.35$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.35	0	0	2.19	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.99
2	9.35	0	0	1.89	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.59
3	9.35	0	0	1.91	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.21
4	9.35	0	0	2.08	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.4
5	9.35	0	0	1.89	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.39
AVG				1.992			2.516



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.00$ และ $K_d = 0$

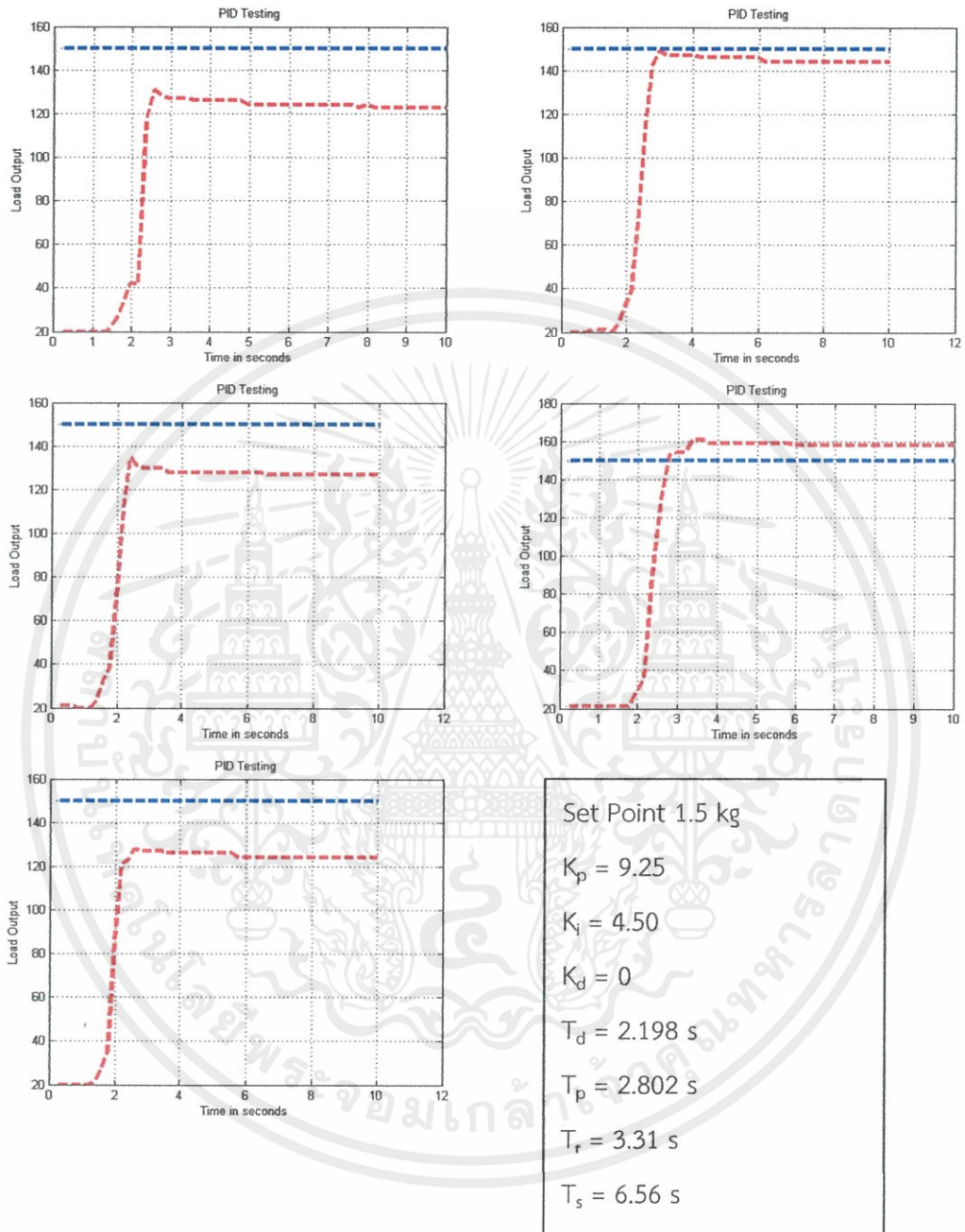
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.00$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	5.0	0	2.06	2.55	3.8	2.6
2	9.25	5.0	0	2.3	2.74	5.4	2.8
3	9.25	5.0	0	1.93	ไม่มีค่า	6.2	2.6
4	9.25	5.0	0	2.02	ไม่มีค่า	5	2.7
5	9.25	5.0	0	2.4	2.8	6.4	3.4
AVG				2.142	2.69	5.36	2.82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 4.50$ และ $K_d = 0$

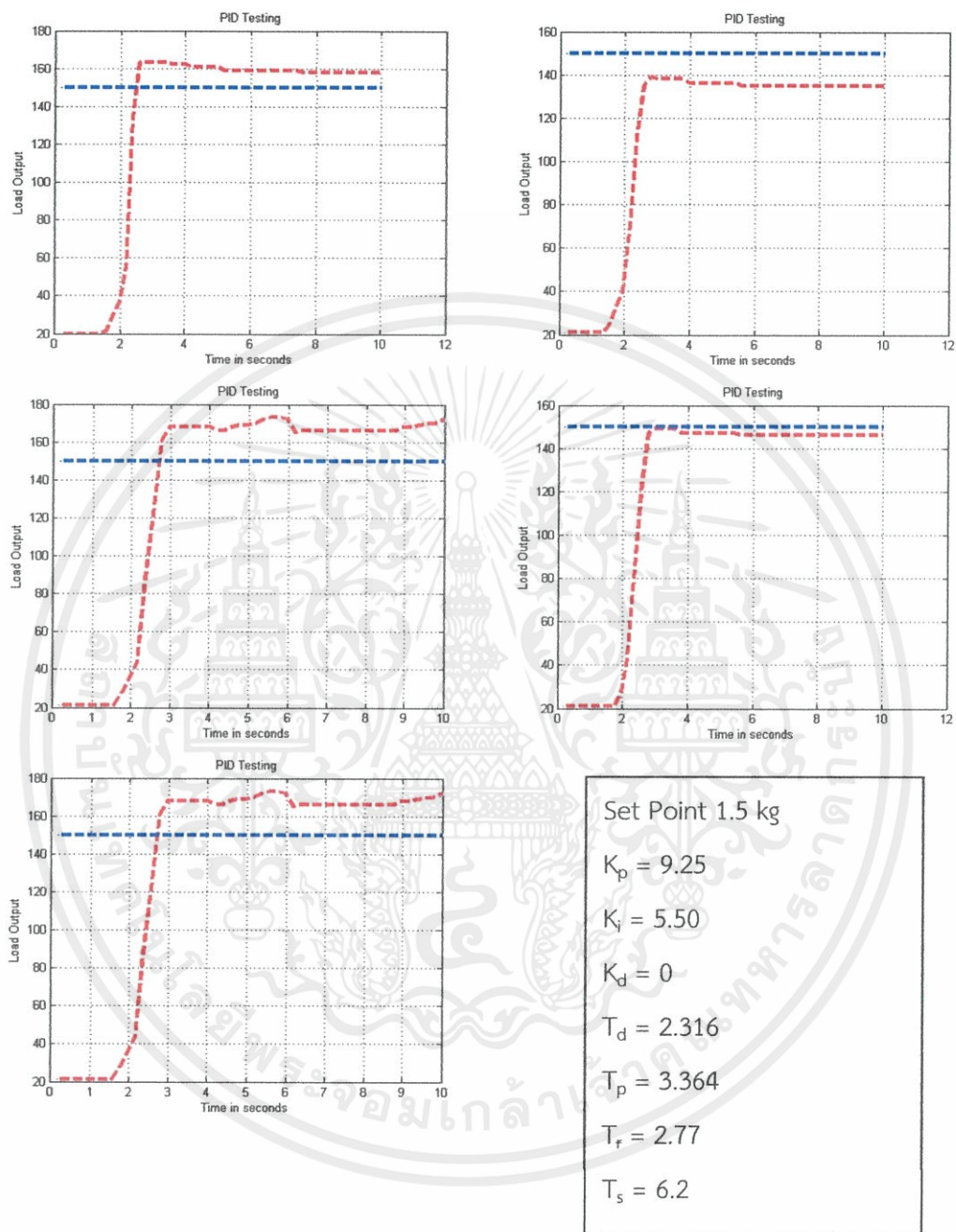
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 4.50$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	4.50	0	2.25	ไม่มีค่า	8.2	2.59
2	9.25	4.50	0	2.41	ไม่มีค่า	6.2	3
3	9.25	4.50	0	2.33	3.31	6	3.4
4	9.25	4.50	0	1.96	ไม่มีค่า	5.8	2.61
5	9.25	4.50	0	2.04	ไม่มีค่า	6.6	2.41
AVG				2.198	3.31	6.56	2.802



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



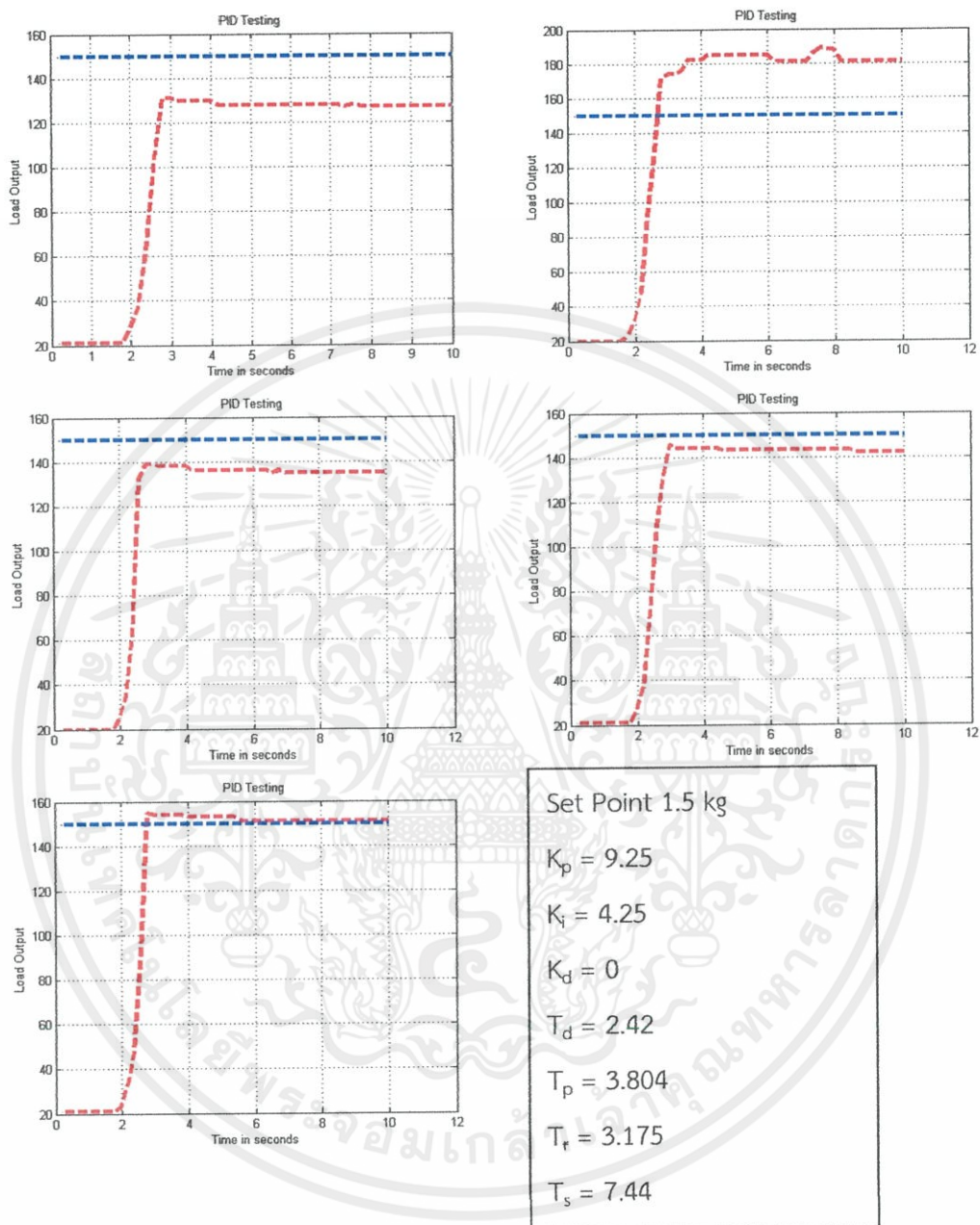
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.50$ และ $K_d = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.50$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	5.50	0	2.27	2.58	7.6	2.61
2	9.25	5.50	0	2.24	ไม่มีค่า	5.6	2.81
3	9.25	5.50	0	2.37	ไม่มีค่า	5.8	2.8
4	9.25	5.50	0	2.33	2.93	6.4	5.6
5	9.25	5.50	0	2.37	2.8	5.6	3
AVG				2.316	2.77	6.2	3.364

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



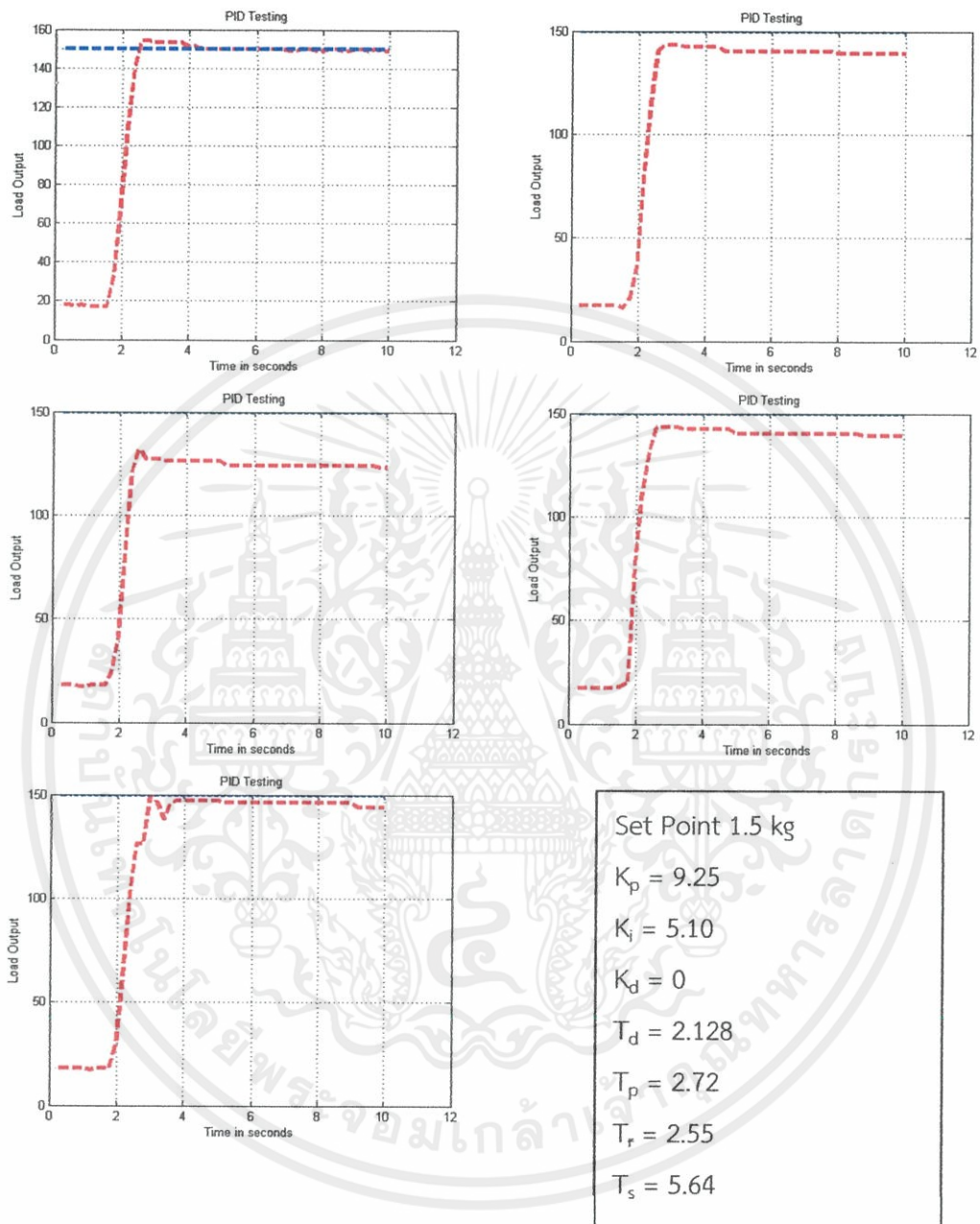
รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 4.25$ และ $K_d = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 425.00$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	4.25	0	2.45	ไม่มีค่า	7.8	2.8
2	9.25	4.25	0	2.32	3.55	8.2	7.6
3	9.25	4.25	0	2.45	ไม่มีค่า	7	2.81
4	9.25	4.25	0	2.44	ไม่มีค่า	8.6	3
5	9.25	4.25	0	2.53	2.8	5.6	2.81
AVG				2.42	3.175	7.44	3.804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



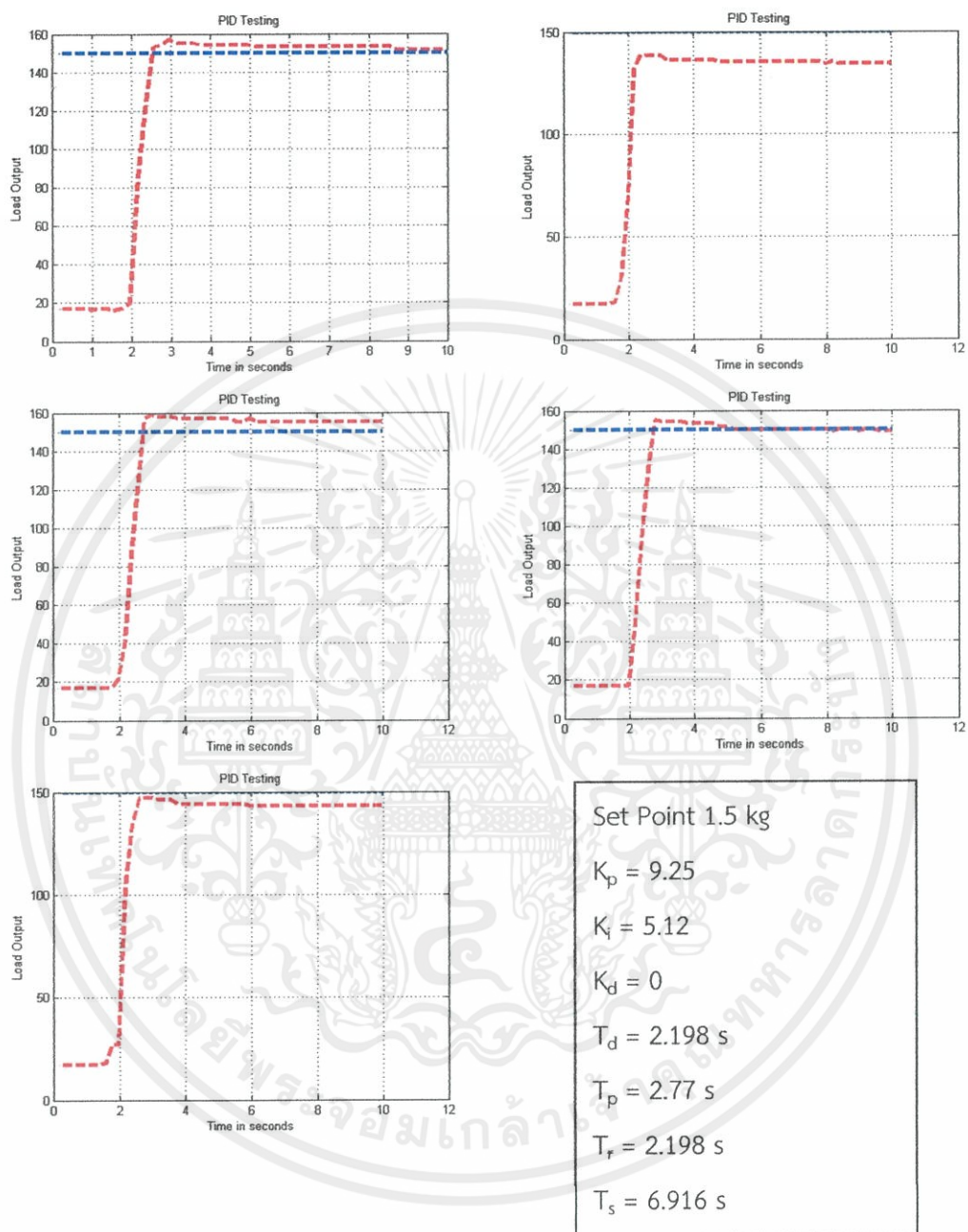
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.10$ และ $K_d = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.10$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	5.10	0	2.04	2.55	4.41	2.6
2	9.25	5.10	0	2.18	ไม่มีค่า	4.6	2.8
3	9.25	5.10	0	2.16	ไม่มีค่า	5.2	2.6
4	9.25	5.10	0	2.27	ไม่มีค่า	5.2	3
5	9.25	5.10	0	1.99	ไม่มีค่า	8.8	2.6
AVG				2.128	2.55	5.64	2.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0$

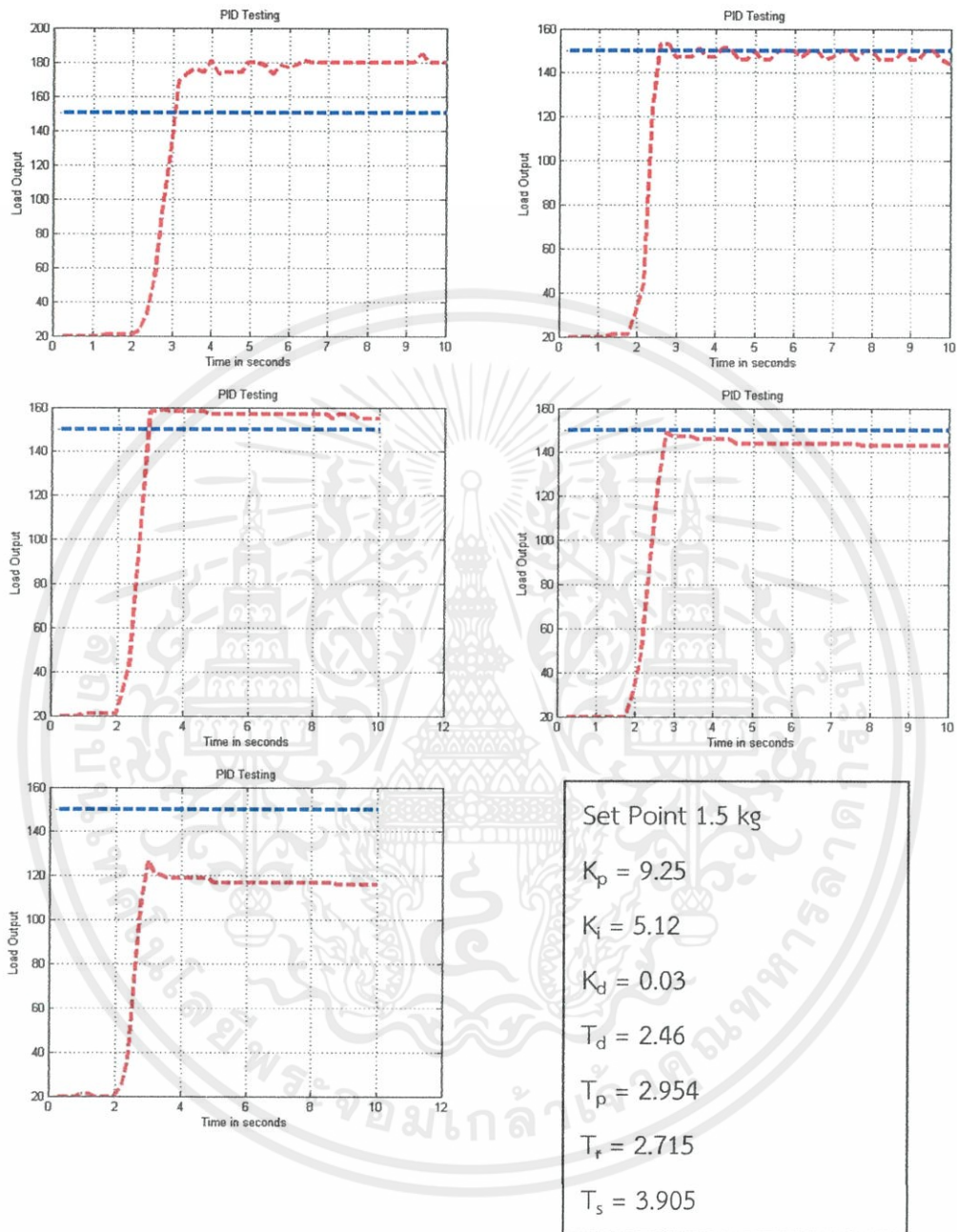
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	5.12	0	2.15	2.56	8.78	2.97
2	9.25	5.12	0	2.03	ไม่มีค่า	8.4	2.42
3	9.25	5.12	0	2.35	2.79	6.2	3
4	9.25	5.12	0	2.33	2.78	5.2	2.82
5	9.25	5.12	0	2.13	ไม่มีค่า	6	2.64
AVG				2.198	2.198	6.916	2.77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



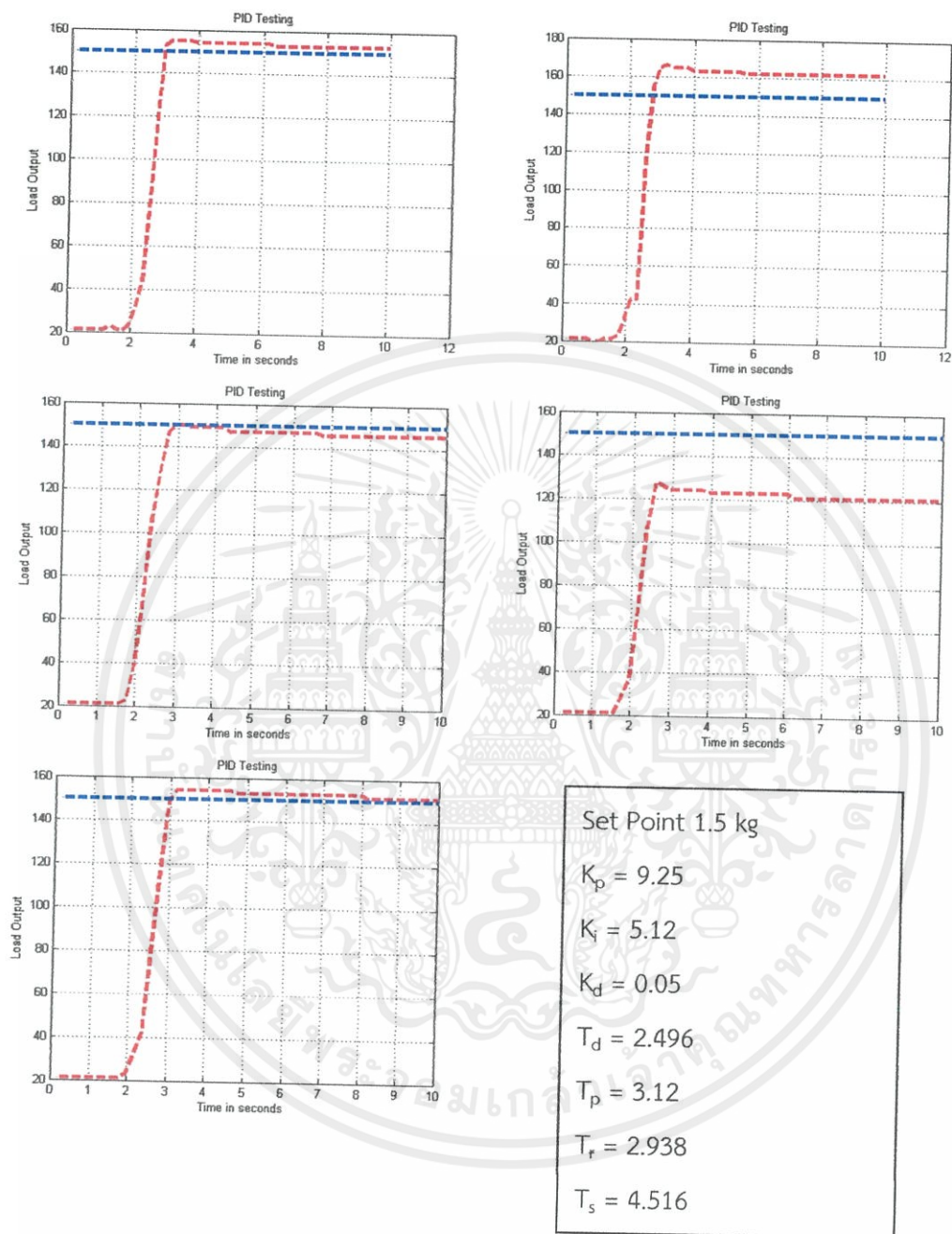
รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.03$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.03$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	5.12	0.03	2.28	2.47	3	2.6
2	9.25	5.12	0.03	2.57	2.96	4.81	3.41
3	9.25	5.12	0.03	2.31	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.8
4	9.25	5.12	0.03	2.62	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	3.01
5	9.25	5.12	0.03	2.52	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.95
AVG				2.46	2.715	3.905	2.954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.05$

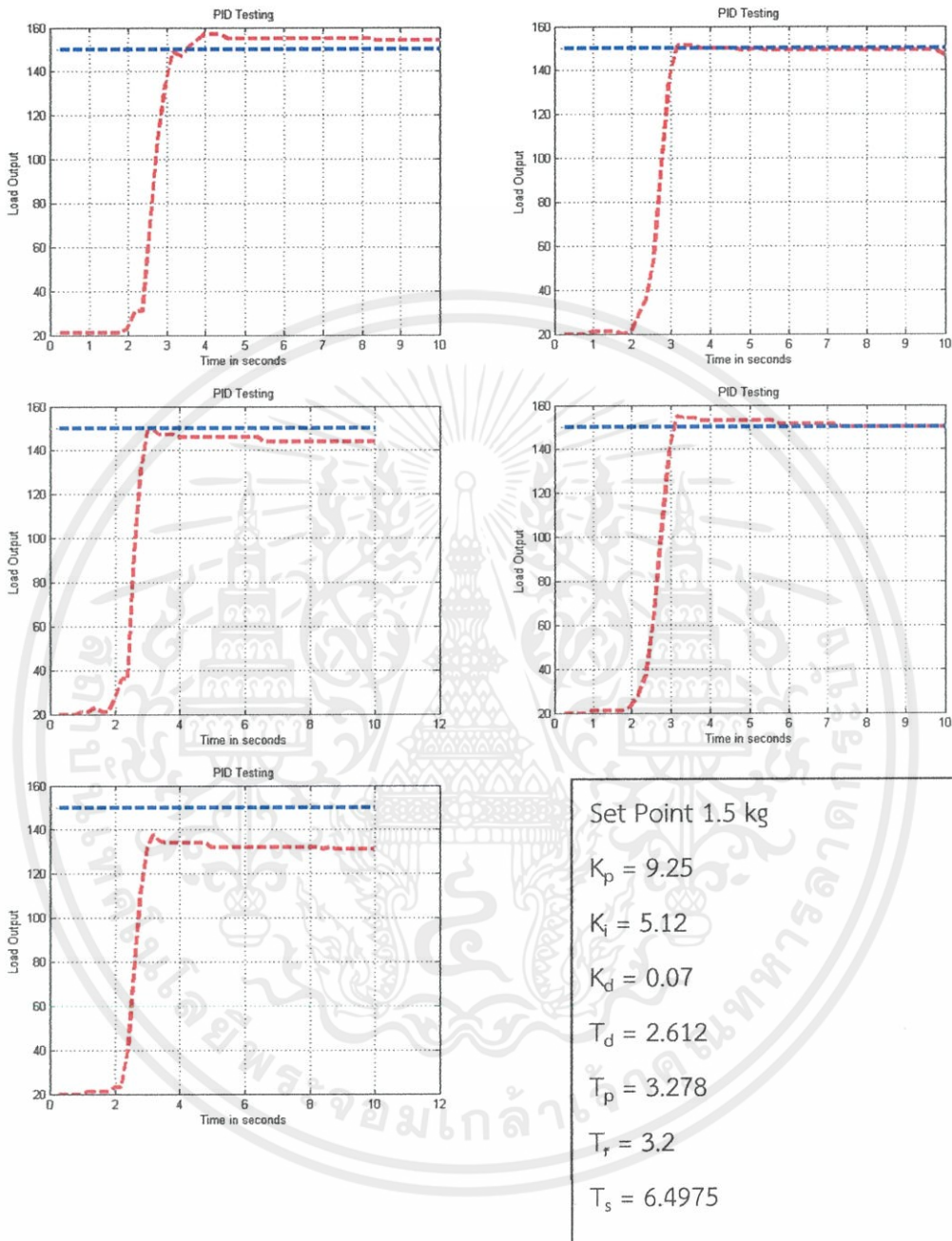
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.05$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	5.12	0.05	2.22	2.99	3.38	2.99
2	9.25	5.12	0.05	2.48	2.77	5.6	3.2
3	9.25	5.12	0.05	2.57	3	4	3.2
4	9.25	5.12	0.05	2.58	3.04	4.8	3.2
5	9.25	5.12	0.05	2.63	2.89	4.8	3.01
AVG				2.496	2.938	4.516	3.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



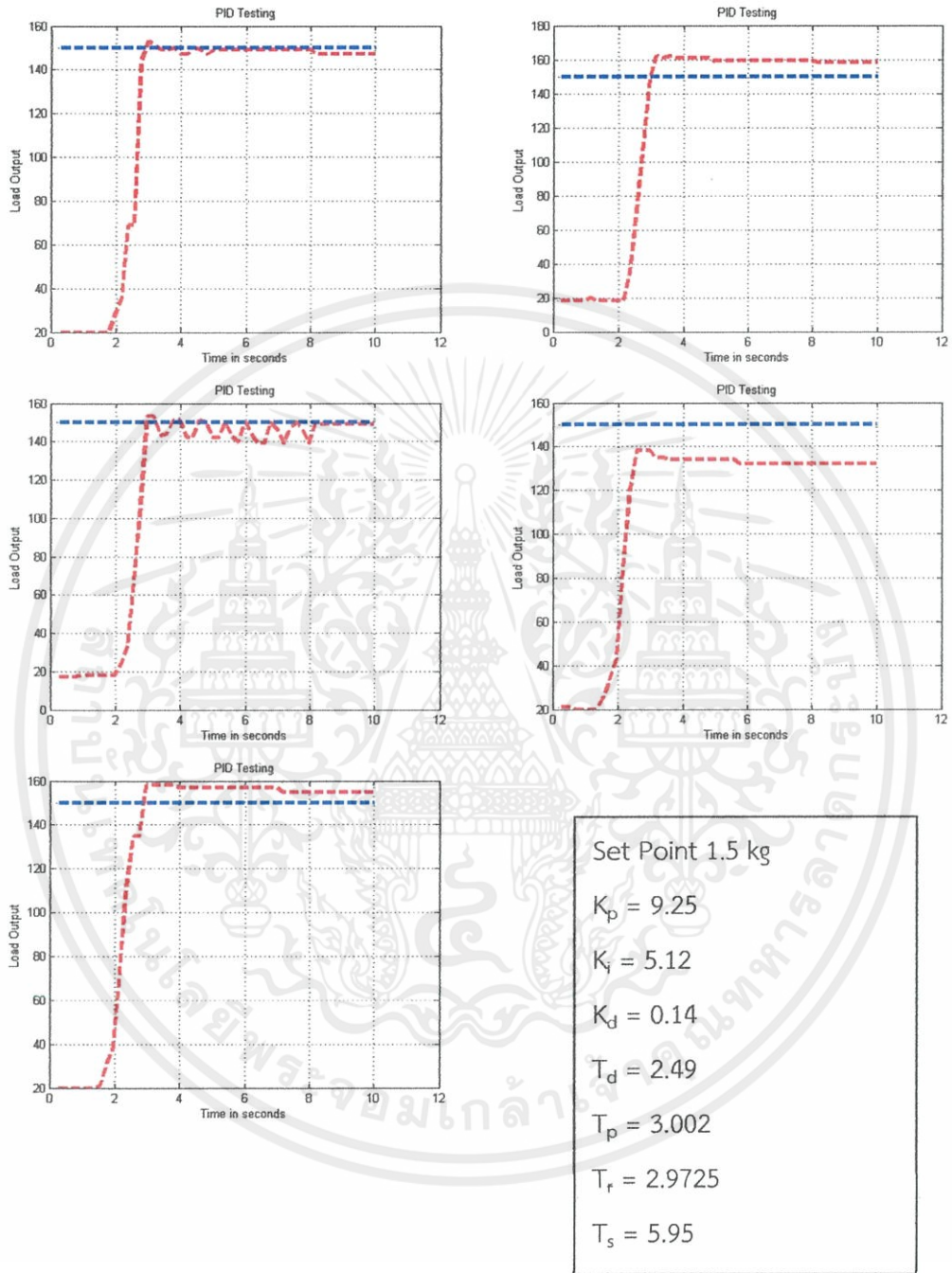
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.07$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 แสดงผลค่า T_d , T_r , T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.07$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	5.12	0.07	2.69	3.18	4.8	3.19
2	9.25	5.12	0.07	2.62	3.55	8.4	4
3	9.25	5.12	0.07	2.65	3.12	5.8	3.18
4	9.25	5.12	0.07	2.55	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	3.02
5	9.25	5.12	0.07	2.55	2.95	6.99	3
AVG				2.612	3.2	6.4975	3.278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.14$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 แสดงผลค่า T_d, T_r, T_s และ T_p เมื่อ $K_p = 9.25, K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.14$

ครั้งที่	K_p	K_i	K_d	T_d	T_r	T_s	T_p
1	9.25	5.12	0.14	2.64	2.99	3.6	3
2	9.25	5.12	0.14	2.62	3.01	8.19	3.2
3	9.25	5.12	0.14	2.63	2.96	4.81	3.03
4	9.25	5.12	0.14	2.2	2.93	7.2	3
5	9.25	5.12	0.14	2.36	ไม่มีค่า	ไม่มีค่า	2.78
AVG				2.49	2.9725	5.95	3.002



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

รูปผลการทดลองทั้งหมด กราฟที่แสดงในผลการทดลอง เส้นกราฟสีแดงแสดงค่าของ SP ในขณะที่ เส้นกราฟสีฟ้าแสดงค่า PV

จากผลการทดลองแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ ดังรูปที่ 4.6 และ ตารางที่ 4.2 โดยเริ่มต้นปรับค่า K_p จากการสุ่มค่าที่ 9 เพื่อให้ค่า PV ที่ออกมาถูเข้าหา ค่า SP ได้ใกล้เคียงที่สุด จากผลการทดลอง ค่า PV ที่ได้จากการปรับ $K_p = 9$ กราฟ PV ที่ได้ 4 ใน 5 มีค่าต่ำกว่าและไม่ใกล้เคียง ค่า SP ทำให้หุ่นไม่สามารถเกาะผนังท่อภายในอยู่

จากผลการทดลองแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.2$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$ ดังรูปที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.3 หากเราปรับค่า $K_p = 9.2$ สังเกตกราฟ PV ที่ได้จะมีค่าผลต่างจาก SP เทียบกับ กราฟในรูปที่ 4.6 น้อยลง และมีลักษณะกราฟลูเข้าหากราฟ SP

จากผลการทดลองแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.3$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$ ดังรูปที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.4 หากเปรียบเทียบลักษณะของกราฟกับ รูปกราฟในรูป 4.7 จะให้ผลที่แยกแยะ เนื่องจาก PV ลูเข้าหา SP ได้ไกลกว่าที่ค่า $K_p = 9.2$

จากผลการทดลองแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.15$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$ ดังรูปที่ 4.10 และ ตารางที่ 4.6 ผลกราฟส่วนใหญ่ ค่า PV ที่ได้ใหม่มีค่าใกล้เคียงกับ ค่า SP รวมถึงลักษณะกราฟมีความใกล้เคียงกับรูปภาพที่ 4.7

จากผลการทดลองแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.27$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$ ดังรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.7 ลักษณะของกราฟมีภาพรวมที่ดีกว่ากราฟในรูปที่ 4.7 และ 4.10 มาก โดยกราฟ PV มีลักษณะลูเข้าใกล้ค่า SP มากกว่าที่ค่า $K_p = 9.2$ และ $K_p = 9.15$ เช่นเดียวกันกับ ผลการทดลองจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.35$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$ ดังรูปที่ 4.12 และ ตารางที่ 4.8

จากผลการทดลอง แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SP และ PV ที่ $K_p = 9.25$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$ ดังรูปที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.5 กราฟ PV มีลักษณะลูเข้าหา ค่า SP ได้ใกล้เคียงกว่าที่ค่า K_p อื่น โดยใช้เวลาในการลูเข้าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 5.5 วินาที ดังนั้น จึงเป็นไปได้ที่จะใช้ค่า K_p นี้เพื่อไปปรับ ค่า K_i และ K_d ต่อไปเพื่อปรับปรุงกราฟให้มีลักษณะที่ดีขึ้น

อ้างอิงจากผลการทดลองตารางที่ 4.4 เราใช้ค่า $K_p = 9.25$ แล้วปรับค่า K_i จากการสุ่มค่า จะได้ผลการทดลองดังรูป 4.13 – 4.18 แสดงตารางผลการทดลอง ตารางที่ 4.9 – 4.14 โดยค่า K_i ที่สุ่มมาปรับมีค่า

เอกสารนี้เป็น 5.00, 4.50, 5.50, 4.25, 5.10 และ 5.12 ตามลำดับ ซึ่งการปรับค่า K_i มีผลทำให้ระบบเข้าใช้เวลาเข้าสู่อารมณ์นิ่งเร็วขึ้น แต่จะลดค่าความผิดพลาดสถานะคงตัว และลดช่วงเวลาที่ขณะที่ PV ลูขึ้นไปหา ค่า SP

ซึ่งจากค่ากราฟทั้งหมด ที่ค่า $K_p = 9.25$ และ $K_i = 5.12$ ดังแสดงผลการทดลองตารางที่ 4.14 เมื่อเทียบค่า T_r เฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 2.198 วินาที ซึ่งเร็วกว่า T_r เฉลี่ยในตารางที่ 4.4 เท่ากับ 2.95 วินาที รวมถึงลักษณะของกราฟดังรูปที่ 4.18 ผลของกราฟ PV เข้าใกล้กราฟ SP มากกว่าผลการทดลองอื่นๆ การทดลองสุ่มค่า K_d เลือกใช้ค่า $K_p = 9.25$ และ $K_i = 5.12$ ที่ทำให้ระบบเสถียรภาพมากที่สุดในการทดลองที่ผ่านมา โดยปรับค่า K_d เพื่อต้องการให้ผลเสถียรภาพดีขึ้น หรือค่า PV มีค่าใกล้เคียงกับค่า SP มากขึ้นหลังจากเข้าสู่เวลาสมมูล (T_s) จากกราฟผลทดลองดังรูป 4.19 – 4.22 แสดงตารางผลการทดลองตารางที่ 4.15 – 4.18 ตามลำดับ ซึ่ง กราฟผลการทดลองรูปที่ 4.20 แสดงกราฟที่ค่า $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.05$ และ ซึ่ง กราฟผลการทดลองรูปที่ 4.21 แสดงกราฟที่ค่า $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.07$ ให้ลักษณะกราฟที่เสถียรมากกว่ากราฟอื่นๆ แตกต่างกันที่ ค่า $K_d = 0.05$ สามารถเข้าสู่ช่วงเวลาสมมูลได้เร็วกว่าที่ค่า $K_d = 0.07$

4.5 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง การปรับค่า K_p , K_i และ K_d เพื่อให้หุ่นยนต์กวดแรงที่ขาให้สามารถยึดติดกับผนังท่อได้ (แสดงถึงระบบเสถียรภาพ) โดยการปรับค่าดูจากลักษณะของกราฟค่า PV กำลังลู่ออกค่า SP โดยค่า K_p , K_i และ K_d ที่เหมาะสมที่ทำให้หุ่นยนต์สามารถออกแรงกวดบนผนังได้เหมาะสมโดยไม่ไถลลื่นตกลงมาคือ $K_p = 9.25$, $K_i = 5.12$ และ $K_d = 0.05$ โดยใช้เวลาที่ระบบเข้าสู่เสถียรภาพเป็นเวลาประมาณ 4.516 วินาที การปรับค่าจากกล่องคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผลบนกราฟ MATLAB สามารถสรุปผลได้ว่า วงจรที่ออกแบบมาสามารถควบคุมมอเตอร์กระแสตรงและแรงกดของ Load Cell Sensor ได้ผ่าน CAN Protocol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน

1. สามารถออกแบบวงจรเพื่อควบคุมการทำงานหุ่นยนต์สำหรับสำรวจท่อได้
2. สามารถออกแบบระบบควบคุมเพื่อควบคุมมอเตอร์กระแสตรงและอ่านค่าจาก Load Cell Sensor
3. สามารถออกแบบกล่องควบคุมและแสดงผล และส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์การใช้งานอื่นๆ
4. สามารถออกแบบโปรแกรม เพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ในการทำงานของระบบ

5.2 ปัญหาที่พบในการทำงาน

ในระหว่างขั้นตอนปฏิบัติงานและทดลองพบปัญหาที่เกิดขึ้นมากมายซึ่งสามารถจำแนกปัญหาได้ตามสัดส่วนในแต่ละขั้นตอนได้เป็น ปัญหาที่พบในส่วนออกแบบวงจร และ ปัญหาที่พบส่วนโปรแกรม

5.2.1 ส่วนออกแบบวงจร

1. IC ภายในวงจรมีปริมาณค่อนข้างเยอะ แต่พื้นที่ในการออกแบบ PCB มีพื้นที่เล็ก
2. ขาดความรู้เรื่องวงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
3. วงจรขับมอเตอร์ไม่สามารถขับมอเตอร์ได้เนื่องจาก IC L298N สำหรับขับมอเตอร์หดยายหุ่น ไม่สามารถขับมอเตอร์ได้ IC ด้วย IC เพียงตัวเดียว จะเกิดการเสื่อมสภาพทำให้ไม่สามารถวัด V (output) ได้เพียงพอไปขับให้มอเตอร์กระแสตรงหมุน

4. ขาดความรู้เรื่อง Can Bus Protocol
5. มอเตอร์ในการขับเคลื่อนล้อไม่สามารถดึงให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

5.2.2 ส่วนโปรแกรม

1. ขาดความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM
2. ขาดความรู้เกี่ยวกับรับส่งข้อมูลผ่าน CAN BUS
3. เนื่องจาก CAN Protocol สื่อสารกับผ่านสายเส้นเดียว ทำให้ข้อมูลในระหว่างการส่งชนกันภายในสาย เกิดการสูญหายของสัญญาณในระหว่างการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขาดความรู้เกี่ยวกับการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.3 การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

จากปัญหาที่พบในข้างต้น ทำให้การแก้ปัญหาในส่วนต่างๆ เพื่อให้ปริญญาบัตรลุล่วงไปได้ด้วยดี ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกับปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้น คือส่วนออกแบบวงจรและส่วนโปรแกรม

5.3.1 ส่วนออกแบบวงจร

1. ใช้ Program Altium Design ในการทำงาน โดยในการเดินสายไฟบน PCB ใช้พื้นที่ทั้งบนแผ่น PCB และใช้พื้นที่ใต้แผ่น PCB รวมถึงการจัดวางอุปกรณ์ที่จำเป็น
2. ศึกษาเพิ่มเติมจากวงจรขั้วมอเตอร์กระแสตรงและ Data Sheet IC L298
3. ต่อวงจรขั้วมอเตอร์เพิ่มโดยใช้ IC L298N เพิ่มเป็น 2 ตัวเพื่อช่วยขั้วมอเตอร์
4. ศึกษาการใช้สายเคเบิลสำหรับใช้ส่งข้อมูลผ่าน CAN Protocol
5. เปลี่ยนมอเตอร์ให้รอบต่ำลงเพื่อเพิ่มทอร์กของมอเตอร์

5.3.2 ส่วนโปรแกรม

1. ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมและถามผู้รู้ในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM
2. ศึกษาข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน รวมถึงการส่งข้อมูลในเครือข่ายของ CAN BUS
3. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับพัลส์วิดท์มอดูเลชัน

5.4 ข้อเสนอแนะในการค้นคว้าและพัฒนา

1. ควรเลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้มีรอบต่ำลงเพื่อเพิ่มแรงในการยึดเกาะกับผนังภายใน
2. ควรเพิ่มวงจรขั้วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อช่วยในการขับกระแสให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น
3. ควรเพิ่มความแข็งแรงให้โครงสร้างหุ่นยนต์สำรวจจะส่งผลให้เพิ่มเสถียรภาพระบบคงที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การทดลองที่ 5 การแสดงผลด้วย LCD วัตถุประสงค้.[Online]. Available:
http://161.246.18.199/telecom/images/stories/lab2-micro/05-ulab_lcd.pdf
- [2] การสื่อสารขอมูล.[Online]. Available :
http://www.ce.kmitl.ac.th/download.php?DOWNLOAD_ID=61&database
- [3] 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales. [Online]. Available :
http://www.dfrobot.com/image/data/SEN0160/hx711_english.pdf
- [4] ความรู้เกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า. [Online]. Available :
<http://202.129.59.73/tn/motor10-52/motor1.htm>
- [5] หลักการมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. [Online]. Available :
<http://nirunpootoyaelectroniclearning.blogspot.com/01203213224.html>
- [6] มอสเฟต(MOSFET). [Online]. Available :
<http://www.neutron.rmutphysics.com/physicsboard/forum/index.php?topic=902.0>
- [7] สมชัย สุขคงหน, ประวิณ จันทรมณี. เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง Ring Laser Gyro. กรุงเทพมหานคร.
- [8] กอบชัย เดชหาญ. 2545. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์บนเครือข่าย. กรุงเทพมหานคร, วิศวกรรม ลาดกระบัง ปีที่ 19 ฉบับที่ 1.
- [9] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. 2550. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม. กรุงเทพมหานคร, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [10] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. 2556. เครื่องจักรกลไฟฟ้า=Electrical Machines. กรุงเทพมหานคร, ท้อป.
- [11] UART. [Online]. Available :
http://living-electronics.blogspot.com/2010/05/blog-post_3814.htm
- [12] คอนเวอร์เตอร์และสวิตชิง. [Online]. Available :
<http://www.udontech.ac.th/web55/index.php>
- [13] 1N4003 Datasheet. [Online]. Available :
<http://www.datasheet4u.com/datasheet-pdf/LRC/1N4003/pdf.php?id=770446>
- [14] SN65HVD230 3.3-V CAN TRANSCEIVERS. [Online]. Available :
<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/texasinstruments/sn65hvd231.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] **µA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS.** [Online]. Available :
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>
- [16] **LM117 3-Terminal Adjustable Regulator.** [Online]. Available :
<http://physics.gac.edu/~huber/classes/phy270/SpecSheets/LM317.pdf>
- [17] **LM2575 SIMPLE SWITCHER 1A Step-Down Voltage Regulator.** [Online]. Available :
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1575.pdf>
- [18] **GY-Sensor GY-88.** [Online]. Available :
http://www.thaieasyelec.com/downloads/ESEN269/GY88_Quick%20Start%20Guid
- [19] มงคล ทองสงคราม. 2554. อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร, หจก.วี.เจ.พรินติ้ง.
- [20] **L298N DUAL FULL-BRIDGE DRIVER.** [Online]. Available :
<http://www.tech.dmu.ac.uk/~mgongora/Resources/L298N.pdf>
- [21] **USB คืออะไร** [Online]. Available :
<http://www.it-guides.com/index.php/tips-a-techniques/36-others-tips/60--usb-port>
- [22] วีรวัฒน์ ประกอบผล. 2551. ไมโครโปรเซสเซอร์-Microprocessor. กรุงเทพมหานคร, ท้อป.
- [23] **ENC1J.** [Online]. Available :
<http://www.mouser.com/ds/2/54/ENC1J-26993.pdf>
- [24] **MPU-6050 product Specification.** [Online]. Available :
<http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/PS-MPU-6000A-00v3.4.pdf>
- [25] **หน่วยที่ 10 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบหลายความเร็ว.** [Online]. Available :
http://www.retc.ac.th/v3/kru_pitooon/1/12.docx
- [29] **1N5820-1N5822 - Datasheet Archive.** [Online]. Available :
<http://www.datasheetarchive.com/1N5820-1N5822-datasheet.html>
- [30] **SK12-SK16 Datasheet(PDF) - Diodes Incorporated.** [Online]. Available :
<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/547505/DIODES/SK12-SK16.html>
- [31] **IRLR3410 Datasheet(PDF) - International Rectifier.** [Online]. Available :
<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/.../IRLR3410.html>
- [32] **BC817-16 / -25 / -40 - Datasheet Catalog.** [Online]. Available :
<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/diodes/ds11107.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Stm32 รุ่น F103RET6

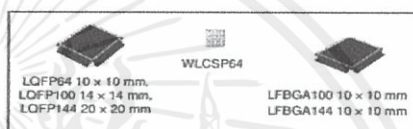

**STM32F103xC, STM32F103xD,
STM32F103xE**

High-density performance line ARM[®]-based 32-bit MCU with 256 to 512KB Flash, USB, CAN, 11 timers, 3 ADCs, 13 communication interfaces

Datasheet – production data

Features

- Core: ARM[®] 32-bit Cortex[®]-M3 CPU
 - 72 MHz maximum frequency, 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1) performance at 0 wait state memory access
 - Single-cycle multiplication and hardware division
- Memories
 - 256 to 512 Kbytes of Flash memory
 - up to 64 Kbytes of SRAM
 - Flexible static memory controller with 4 Chip Select. Supports Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR and NAND memories
 - LCD parallel interface, 8080/6800 modes
- Clock, reset and supply management
 - 2.0 to 3.6 V application supply and I/Os
 - POR, PDR, and programmable voltage detector (PVD)
 - 4-to-16 MHz crystal oscillator
 - Internal 8 MHz factory-trimmed RC
 - Internal 40 kHz RC with calibration
 - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
- Low power
 - Sleep, Stop and Standby modes
 - V_{BAT} supply for RTC and backup registers
- 3 × 12-bit, 1 μs A/D converters (up to 21 channels)
 - Conversion range: 0 to 3.6 V
 - Triple-sample and hold capability
 - Temperature sensor
- 2 × 12-bit D/A converters
- DMA: 12-channel DMA controller
 - Supported peripherals: timers, ADCs, DAC, SDIO, I²Ss, SPIs, I²Cs and USARTs
- Debug mode
 - Serial wire debug (SWD) & JTAG interfaces
 - Cortex[®]-M3 Embedded Trace Macrocell™
- Up to 112 fast I/O ports
 - 51/80/112 I/Os, all mappable on 16 external interrupt vectors and almost all 5 V-tolerant



- Up to 11 timers
 - Up to four 16-bit timers, each with up to 4 IC/OC/PWM or pulse counter and quadrature (incremental) encoder input
 - 2 × 16-bit motor control PWM timers with dead-time generation and emergency stop
 - 2 × watchdog timers (Independent and Window)
 - SysTick timer: a 24-bit downcounter
 - 2 × 16-bit basic timers to drive the DAC
- Up to 13 communication interfaces
 - Up to 2 × I²C interfaces (SMBus/PMBus)
 - Up to 5 USARTs (ISO 7816 interface, LIN, IrDA capability, modem control)
 - Up to 3 SPIs (18 Mbit/s), 2 with I²S interface multiplexed
 - CAN interface (2.0B Active)
 - USB 2.0 full speed interface
 - SDIO interface
- GRC calculation unit, 96-bit unique ID
- ECOPACK[®] packages

Table 1. Device summary

Reference	Part number
STM32F103xC	STM32F103RC STM32F103VC STM32F103ZC
STM32F103xD	STM32F103RD STM32F103VD STM32F103ZD
STM32F103xE	STM32F103RE STM32F103ZE STM32F103VE

February 2015

DocID14611 Rev 10

1/136

This is information on a product in full production.

www.st.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 Device overview

The STM32F103xx high-density performance line family offers devices in six different package types: from 64 pins to 144 pins. Depending on the device chosen, different sets of peripherals are included, the description below gives an overview of the complete range of peripherals proposed in this family.

Figure 1 shows the general block diagram of the device family.

Table 2. STM32F103xC, STM32F103xD and STM32F103xE features and peripheral counts

Peripherals	STM32F103Rx			STM32F103Vx			STM32F103Zx		
Flash memory in Kbytes	256	384	512	256	384	512	256	384	512
SRAM in Kbytes	48	64 ⁽¹⁾		48	64		48	64	
FSMC	No			Yes ⁽²⁾			Yes		
Timers	General-purpose			4					
	Advanced-control			2					
	Basic			2					
Comm	SPI ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾			3(2)					
	I ² C			2					
	USART			5					
	USB			1					
	CAN			1					
	SDIO			1					
GPIOs	51			80			112		
12-bit ADC	3			3			3		
Number of channels	16			16			21		
12-bit DAC				2					
Number of channels				2					
CPU frequency				72 MHz					
Operating voltage				2.0 to 3.6 V					
Operating temperatures				Ambient temperatures: -40 to +85 °C / -40 to +105 °C (see Table 10) Junction temperature: -40 to +125 °C (see Table 10)					
Package	LQFP64, WLCSP64			LQFP100, BGA100			LQFP144, BGA144		

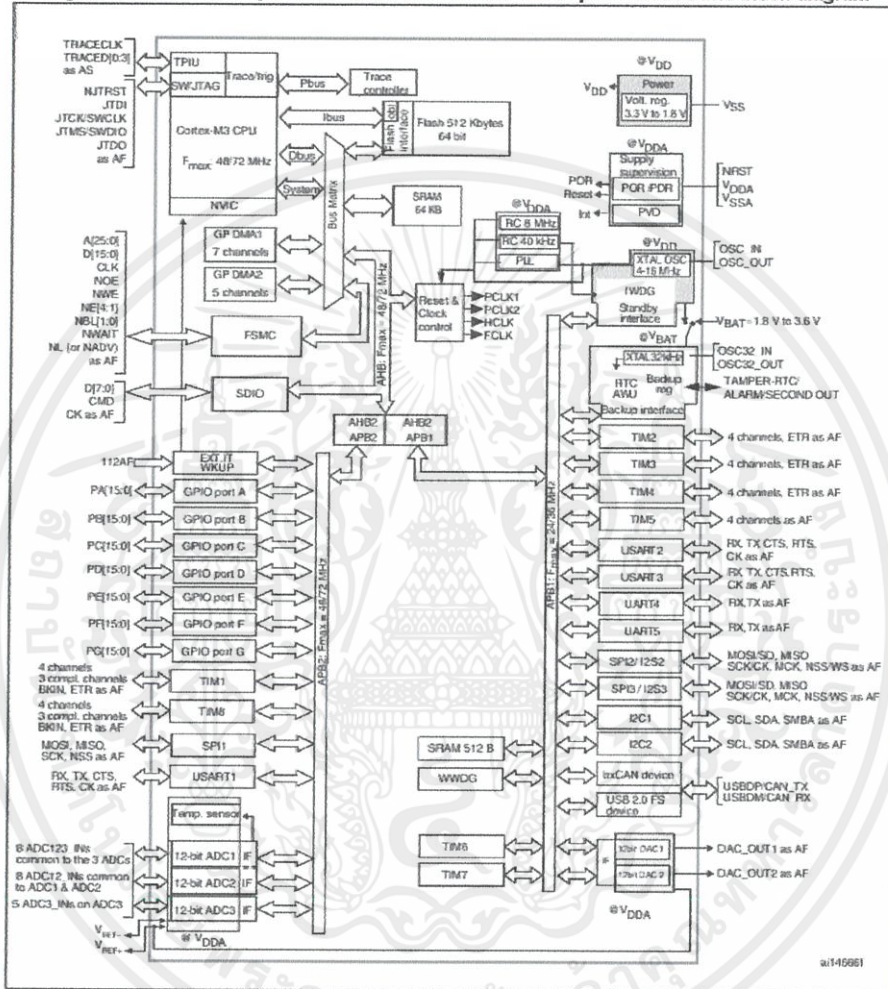
- 64 KB RAM for 256 KB Flash are available on devices delivered in CSP packages only.
- For the LQFP100 and BGA100 packages, only FSMC Bank1 and Bank2 are available. Bank1 can only support a multiplexed NOR/PSRAM memory using the NE1 Chip Select. Bank2 can only support a 16- or 8-bit NAND Flash memory using the NCE2 Chip Select. The interrupt line cannot be used since Port G is not available in this package.
- The SPI2 and SPI3 interfaces give the flexibility to work in an exclusive way in either the SPI mode or the I²S audio mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description

STM32F103xC, STM32F103xD, STM32F103xE

Figure 1. STM32F103xC, STM32F103xD and STM32F103xE performance line block diagram

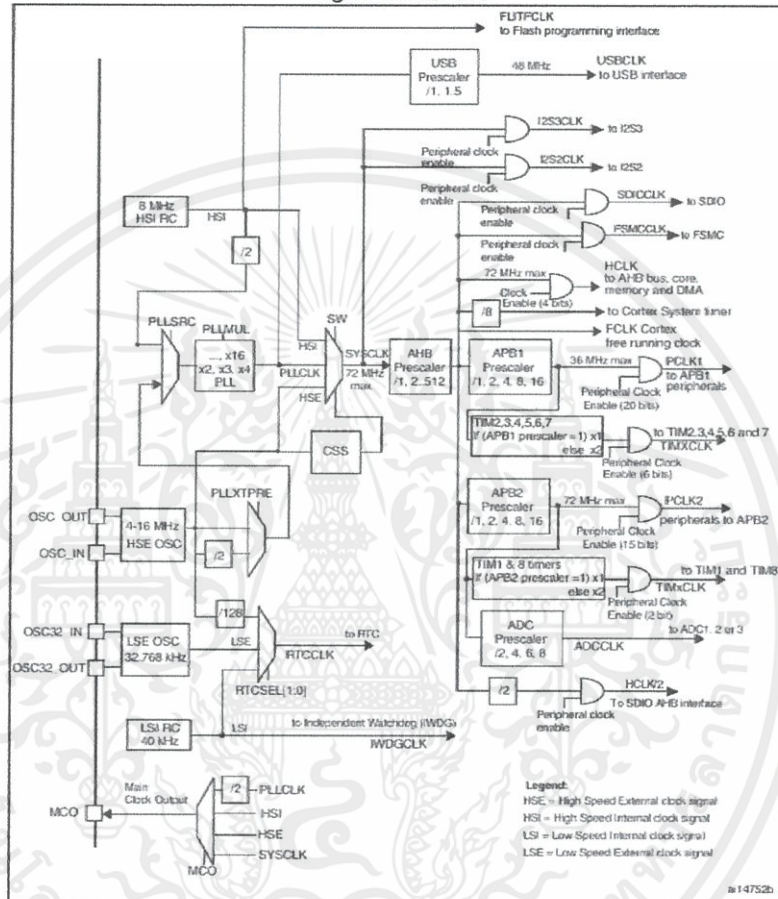


1. $T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+85\text{ }^\circ\text{C}$ (suffix 6, see Table 74) or $-40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+105\text{ }^\circ\text{C}$ (suffix 7, see Table 74), junction temperature up to $105\text{ }^\circ\text{C}$ or $125\text{ }^\circ\text{C}$, respectively.
2. AF = alternate function on I/O port pin.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 2. Clock tree



1. When the HSI is used as a PLL clock input, the maximum system clock frequency that can be achieved is 64 MHz.
2. For the USB function to be available, both HSE and PLL must be enabled, with the USBCLK at 48 MHz.
3. To have an ADC conversion time of 1 μ s, APB2 must be at 14 MHz, 28 MHz or 56 MHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Full compatibility throughout the family

The STM32F103xx is a complete family whose members are fully pin-to-pin, software and feature compatible. In the reference manual, the STM32F103x4 and STM32F103x6 are identified as low-density devices, the STM32F103x8 and STM32F103xB are referred to as medium-density devices and the STM32F103xC, STM32F103xD and STM32F103xE are referred to as high-density devices.

Low-density and high-density devices are an extension of the STM32F103x8/B medium-density devices, they are specified in the STM32F103x4/6 and STM32F103xC/D/E datasheets, respectively. Low-density devices feature lower Flash memory and RAM capacities, less timers and peripherals. High-density devices have higher Flash memory and RAM capacities, and additional peripherals like SDIO, FSMC, I²S and DAC while remaining fully compatible with the other members of the family.

The STM32F103x4, STM32F103x6, STM32F103xC, STM32F103xD and STM32F103xE are a drop-in replacement for the STM32F103x8/B devices, allowing the user to try different memory densities and providing a greater degree of freedom during the development cycle.

Moreover, the STM32F103xx performance line family is fully compatible with all existing STM32F101xx access line and STM32F102xx USB access line devices.

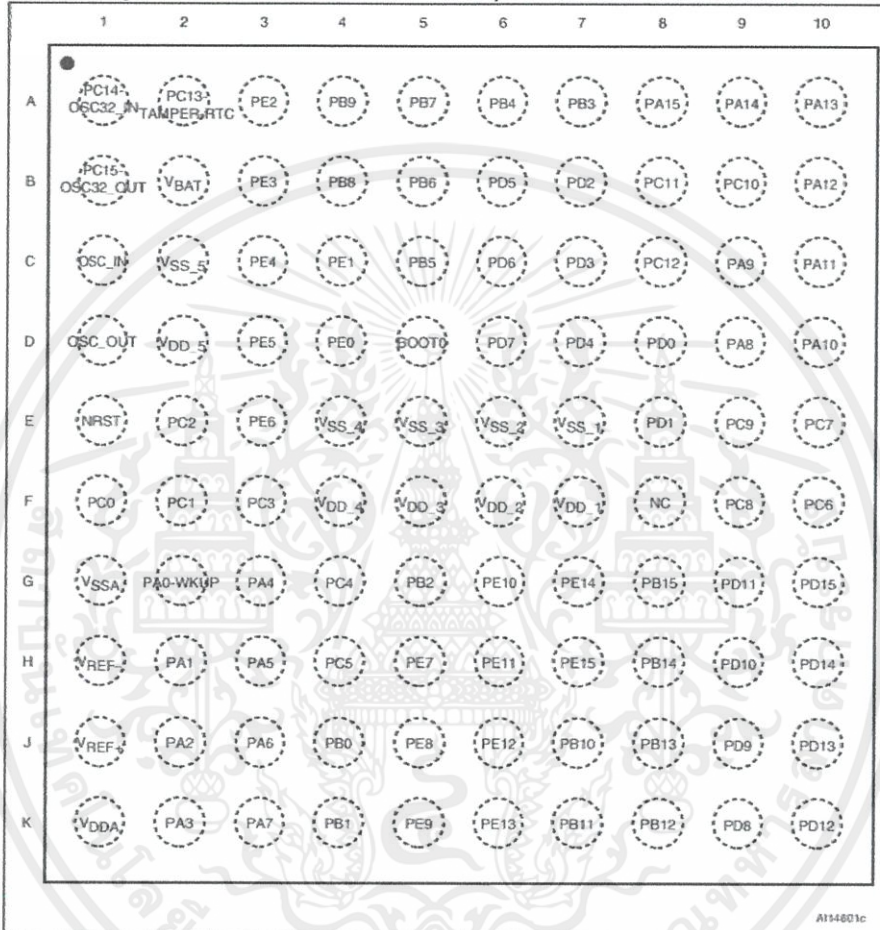
Table 3. STM32F103xx family

Pinout	Low-density devices		Medium-density devices		High-density devices		
	16 KB Flash	32 KB Flash ⁽¹⁾	64 KB Flash	128 KB Flash	256 KB Flash	384 KB Flash	512 KB Flash
	6 KB RAM	10 KB RAM	20 KB RAM	20 KB RAM	48 RAM	64 KB RAM	64 KB RAM
144					5 × USARTs		
100					4 × 16-bit timers, 2 × basic timers		
64	2 × USARTs		3 × USARTs		3 × SPIs, 2 × I ² Ss, 2 × I ² Cs		
48	2 × 16-bit timers		3 × 16-bit timers		USB, CAN, 2 × PWM timers		
36	1 × SPI, 1 × I ² C, USB,		2 × SPIs, 2 × I ² Cs, USB,		3 × ADCs, 2 × DACs, 1 × SDIO		
	CAN, 1 × PWM timer		CAN, 1 × PWM timer		FSMC (100- and 144-pin packages ⁽²⁾)		
	2 × ADCs		2 × ADCs				

- For orderable part numbers that do not show the A internal code after the temperature range code (6 or 7), the reference datasheet for electrical characteristics is that of the STM32F103x8/B medium-density devices.
- Ports F and G are not available in devices delivered in 100-pin packages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

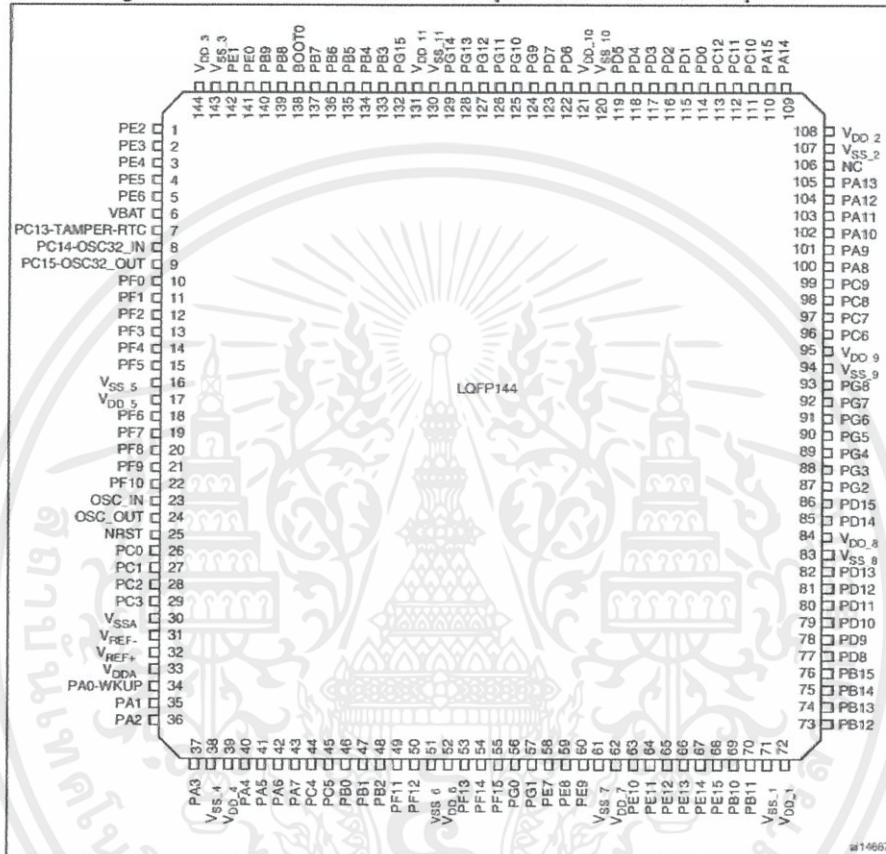
Figure 4. STM32F103xC and STM32F103xE performance line BGA100 ballout



A114801c

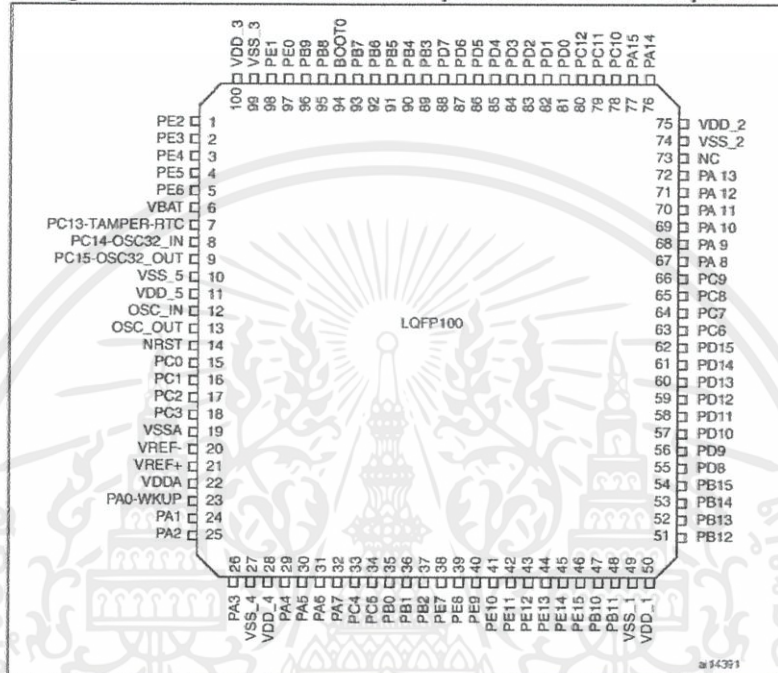
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 5. STM32F103xC and STM32F103xE performance line LQFP144 pinout



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 6. STM32F103xC and STM32F103xE performance line LQFP100 pinout



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 5. High-density STM32F103xx pin definitions

Pins						Pin name	Type ⁽¹⁾	I/O Level ⁽²⁾	Main function ⁽³⁾ (after reset)	Alternate functions ⁽⁴⁾	
LFPGA144	LFPGA100	WLCSP64	LQFP64	LQFP100	LQFP144					Default	Remap
A3	A3	-	-	1	1	PE2	I/O	FT	PE2	TRACECK/FSMC_A23	
A2	B3	-	-	2	2	PE3	I/O	FT	PE3	TRACED0/FSMC_A19	
B2	C3	-	-	3	3	PE4	I/O	FT	PE4	TRACED1/FSMC_A20	
B3	D3	-	-	4	4	PE5	I/O	FT	PE5	TRACED2/FSMC_A21	
B4	E3	-	-	5	5	PE6	I/O	FT	PE6	TRACED3/FSMC_A22	
C2	B2	C6	1	6	6	V _{BAT}	S		V _{BAT}		
A1	A2	C8	2	7	7	PC13-TAMPER-RTC ⁽⁵⁾	I/O		PC13 ⁽⁶⁾	TAMPER-RTC	
B1	A1	B8	3	8	8	PC14-OSC32_IN ⁽⁵⁾	I/O		PC14 ⁽⁶⁾	OSC32_IN	
C1	B1	B7	4	9	9	PC15-OSC32_OUT ⁽⁵⁾	I/O		PC15 ⁽⁶⁾	OSC32_OUT	
C3	-	-	-	-	10	PF0	I/O	FT	PF0	FSMC_A0	
C4	-	-	-	-	11	PF1	I/O	FT	PF1	FSMC_A1	
D4	-	-	-	-	12	PF2	I/O	FT	PF2	FSMC_A2	
E2	-	-	-	-	13	PF3	I/O	FT	PF3	FSMC_A3	
E3	-	-	-	-	14	PF4	I/O	FT	PF4	FSMC_A4	
E4	-	-	-	-	15	PF5	I/O	FT	PF5	FSMC_A5	
D2	C2	-	-	10	16	V _{SS_5}	S		V _{SS_5}		
D3	D2	-	-	11	17	V _{DD_5}	S		V _{DD_5}		
F3	-	-	-	-	18	PF6	I/O		PF6	ADC3_IN4/FSMC_NIORD	
F2	-	-	-	-	19	PF7	I/O		PF7	ADC3_IN5/FSMC_NREG	
G3	-	-	-	-	20	PF8	I/O		PF8	ADC3_IN6/FSMC_NIOWR	
G2	-	-	-	-	21	PF9	I/O		PF9	ADC3_IN7/FSMC_CD	
G1	-	-	-	-	22	PF10	I/O		PF10	ADC3_IN8/FSMC_INTR	
D1	C1	D8	5	12	23	OSC_IN	I		OSC_IN		
E1	D1	D7	6	13	24	OSC_OUT	O		OSC_OUT		
F1	E1	C7	7	14	25	NRST	I/O		NRST		
H1	F1	E8	8	15	26	PC0	I/O		PC0	ADC123_IN10	
H2	F2	F8	9	16	27	PC1	I/O		PC1	ADC123_IN11	
H3	E2	D6	10	17	28	PC2	I/O		PC2	ADC123_IN12	
H4	F3	-	11	18	29	PC3 ⁽⁷⁾	I/O		PC3	ADC123_IN13	
J1	G1	E7	12	19	30	V _{SSA}	S		V _{SSA}		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 5. High-density STM32F103xx pin definitions (continued)

Pins						Pin name	Type ⁽¹⁾	I/O Level ⁽²⁾	Main function ⁽³⁾ (after reset)	Alternate functions ⁽⁴⁾	
LFBGA144	LFBGA100	WLCSP64	LQFP64	LQFP100	LQFP144					Default	Remap
K1	H1	-	-	20	31	V _{REF-}	S	V _{REF-}			
L1	J1	F7 (8)	-	21	32	V _{REF+}	S	V _{REF+}			
M1	K1	G8	13	22	33	V _{DDA}	S	V _{DDA}			
J2	G2	F6	14	23	34	PA0-WKUP	I/O	PA0	WKUP/USART2_CTS ⁽⁹⁾ ADC123_IN0 TIM2_CH1_ETR TIM5_CH1/TIM8_ETR		
K2	H2	E6	15	24	35	PA1	I/O	PA1	USART2_RTS ⁽⁹⁾ ADC123_IN1/ TIM5_CH2/TIM2_CH2 ⁽⁹⁾		
L2	J2	H8	16	25	36	PA2	I/O	PA2	USART2_TX ⁽⁹⁾ /TIM5_CH3 ADC123_IN2/ TIM2_CH3 ⁽⁹⁾		
M2	K2	G7	17	26	37	PA3	I/O	PA3	USART2_RX ⁽⁹⁾ /TIM5_CH4 ADC123_IN3/TIM2_CH4 ⁽⁹⁾		
G4	E4	F5	18	27	38	V _{SS_4}	S	V _{SS_4}			
F4	F4	G6	19	28	39	V _{DD_4}	S	V _{DD_4}			
J3	G3	H7	20	29	40	PA4	I/O	PA4	SPI1_NSS ⁽⁹⁾ / USART2_CK ⁽⁹⁾ DAC_OUT1/ADC12_IN4		
K3	H3	E5	21	30	41	PA5	I/O	PA5	SPI1_SCK ⁽⁹⁾ DAC_OUT2/ADC12_IN5		
L3	J3	G5	22	31	42	PA6	I/O	PA6	SPI1_MISO ⁽⁹⁾ TIM8_BKIN/ADC12_IN6 TIM3_CH1 ⁽⁹⁾	TIM1_BKIN	
M3	K3	G4	23	32	43	PA7	I/O	PA7	SPI1_MOSI ⁽⁹⁾ / TIM8_CH1N/ADC12_IN7 TIM3_CH2 ⁽⁹⁾	TIM1_CH1N	
J4	G4	H6	24	33	44	PC4	I/O	PC4	ADC12_IN14		
K4	H4	H5	25	34	45	PC5	I/O	PC5	ADC12_IN15		
L4	J4	H4	26	35	46	PB0	I/O	PB0	ADC12_IN8/TIM3_CH3 TIM8_CH2N	TIM1_CH2N	
M4	K4	F4	27	36	47	PB1	I/O	PB1	ADC12_IN9/TIM3_CH4 ⁽⁹⁾ TIM8_CH3N	TIM1_CH3N	
J5	G5	H3	28	37	48	PB2	I/O FT	PB2/BOOT1			
M5	-	-	-	49		PF11	I/O FT	PF11	FSMC_NIOS16		
L5	-	-	-	50		PF12	I/O FT	PF12	FSMC_A6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 5. High-density STM32F103xx pin definitions (continued)

Pins						Pin name	Type ⁽¹⁾	I/O Level ⁽²⁾	Main function ⁽³⁾ (after reset)	Alternate functions ⁽⁴⁾	
LFBGA144	LFBGA100	WLCSP64	LQFP64	LQFP100	LQFP144					Default	Remap
H5	-	-	-	-	51	V _{SS_6}	S		V _{SS_6}		
G5	-	-	-	-	52	V _{DD_6}	S		V _{DD_6}		
K5	-	-	-	-	53	PF13	I/O	FT	PF13	FSMC_A7	
M6	-	-	-	-	54	PF14	I/O	FT	PF14	FSMC_A8	
L6	-	-	-	-	55	PF15	I/O	FT	PF15	FSMC_A9	
K6	-	-	-	-	56	PG0	I/O	FT	PG0	FSMC_A10	
J6	-	-	-	-	57	PG1	I/O	FT	PG1	FSMC_A11	
M7	H5	-	-	38	58	PE7	I/O	FT	PE7	FSMC_D4	TIM1_ETR
L7	J5	-	-	39	59	PE8	I/O	FT	PE8	FSMC_D5	TIM1_CH1N
K7	K5	-	-	40	60	PE9	I/O	FT	PE9	FSMC_D6	TIM1_CH1
H6	-	-	-	-	61	V _{SS_7}	S		V _{SS_7}		
G6	-	-	-	-	62	V _{DD_7}	S		V _{DD_7}		
J7	G6	-	-	41	63	PE10	I/O	FT	PE10	FSMC_D7	TIM1_CH2N
H8	H6	-	-	42	64	PE11	I/O	FT	PE11	FSMC_D8	TIM1_CH2
J8	J6	-	-	43	65	PE12	I/O	FT	PE12	FSMC_D9	TIM1_CH3N
K8	K6	-	-	44	66	PE13	I/O	FT	PE13	FSMC_D10	TIM1_CH3
L8	G7	-	-	45	67	PE14	I/O	FT	PE14	FSMC_D11	TIM1_CH4
M8	H7	-	-	46	68	PE15	I/O	FT	PE15	FSMC_D12	TIM1_BKIN
M9	J7	G3	29	47	69	PB10	I/O	FT	PB10	I2C2_SCL/USART3_TX ⁽⁹⁾	TIM2_CH3
M10	K7	F3	30	48	70	PB11	I/O	FT	PB11	I2C2_SDA/USART3_RX ⁽⁹⁾	TIM2_CH4
H7	E7	H2	31	49	71	V _{SS_1}	S		V _{SS_1}		
G7	F7	H1	32	50	72	V _{DD_1}	S		V _{DD_1}		
M11	K8	G2	33	51	73	PB12	I/O	FT	PB12	SPI2_NSS/I2S2_WS/ I2C2_SMBA/ USART3_CK ⁽⁹⁾ / TIM1_BKIN ⁽⁹⁾	
M12	J8	G1	34	52	74	PB13	I/O	FT	PB13	SPI2_SCK/I2S2_CK USART3_CTS ⁽⁹⁾ / TIM1_CH1N	
L11	H8	F2	35	53	75	PB14	I/O	FT	PB14	SPI2_MISO/TIM1_CH2N USART3_RTS ⁽⁹⁾	
L12	G8	F1	36	54	76	PB15	I/O	FT	PB15	SPI2_MOSI/I2S2_SD TIM1_CH3N ⁽⁹⁾	
L9	K9	-	-	55	77	PD8	I/O	FT	PD8	FSMC_D13	USART3_TX
K9	J9	-	-	56	78	PD9	I/O	FT	PD9	FSMC_D14	USART3_RX



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 5. High-density STM32F103xx pin definitions (continued)

Pins						Pin name	Type ⁽¹⁾	I/O Level ⁽²⁾	Main function ⁽³⁾ (after reset)	Alternate functions ⁽⁴⁾	
LFBGA144	LFBGA100	WLCSFP64	LQFP64	LQFP100	LQFP144					Default	Remap
J9	H9	-	-	57	79	PD10	I/O	FT	PD10	FSMC_D15	USART3_CK
H9	G9	-	-	58	80	PD11	I/O	FT	PD11	FSMC_A16	USART3_CTS
L10	K10	-	-	59	81	PD12	I/O	FT	PD12	FSMC_A17	TIM4_CH1 / USART3_RTS
K10	J10	-	-	60	82	PD13	I/O	FT	PD13	FSMC_A18	TIM4_CH2
G8	-	-	-	-	83	V _{SS_8}	S		V _{SS_8}		
F8	-	-	-	-	84	V _{DD_8}	S		V _{DD_8}		
K11	H10	-	-	61	85	PD14	I/O	FT	PD14	FSMC_D0	TIM4_CH3
K12	G10	-	-	62	86	PD15	I/O	FT	PD15	FSMC_D1	TIM4_CH4
J12	-	-	-	-	87	PG2	I/O	FT	PG2	FSMC_A12	
J11	-	-	-	-	88	PG3	I/O	FT	PG3	FSMC_A13	
J10	-	-	-	-	89	PG4	I/O	FT	PG4	FSMC_A14	
H12	-	-	-	-	90	PG5	I/O	FT	PG5	FSMC_A15	
H11	-	-	-	-	91	PG6	I/O	FT	PG6	FSMC_INT2	
H10	-	-	-	-	92	PG7	I/O	FT	PG7	FSMC_INT3	
G11	-	-	-	-	93	PG8	I/O	FT	PG8		
G10	-	-	-	-	94	V _{SS_9}	S		V _{SS_9}		
F10	-	-	-	-	95	V _{DD_9}	S		V _{DD_9}		
G12	F10	E1	37	63	96	PC6	I/O	FT	PC6	I2S2_MCK/ TIM8_CH1/SDIO_D6	TIM3_CH1
F12	E10	E2	38	64	97	PC7	I/O	FT	PC7	I2S3_MCK/ TIM8_CH2/SDIO_D7	TIM3_CH2
F11	F9	E3	39	65	98	PC8	I/O	FT	PC8	TIM8_CH3/SDIO_D0	TIM3_CH3
E11	E9	D1	40	66	99	PC9	I/O	FT	PC9	TIM8_CH4/SDIO_D1	TIM3_CH4
E12	D9	E4	41	67	100	PA8	I/O	FT	PA8	USART1_CK/ TIM1_CH1 ⁽⁹⁾ /MCO	
D12	C9	D2	42	68	101	PA9	I/O	FT	PA9	USART1_TX ⁽⁹⁾ / TIM1_CH2 ⁽⁹⁾	
D11	D10	D3	43	69	102	PA10	I/O	FT	PA10	USART1_RX ⁽⁹⁾ / TIM1_CH3 ⁽⁹⁾	
C12	C10	C1	44	70	103	PA11	I/O	FT	PA11	USART1_CTS/USBDM CAN_RX ⁽⁹⁾ /TIM1_CH4 ⁽⁹⁾	
B12	B10	C2	45	71	104	PA12	I/O	FT	PA12	USART1_RTS/USBDP/ CAN_TX ⁽⁹⁾ /TIM1_ETR ⁽⁹⁾	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 5. High-density STM32F103xx pin definitions (continued)

Pins						Pin name	Type ⁽¹⁾	I/O Level ⁽²⁾	Main function ⁽³⁾ (after reset)	Alternate functions ⁽⁴⁾	
LFPGA144	LFPGA100	WLCSP64	LQFP64	LQFP100	LQFP144					Default	Remap
A12	A10	D4	46	72	105	PA13	I/O	FT	JTMS-SWDIO		PA13
C11	F8	-	-	73	106	Not connected					
G9	E6	B1	47	74	107	V _{SS_2}	S		V _{SS_2}		
F9	F6	A1	48	75	108	V _{DD_2}	S		V _{DD_2}		
A11	A9	B2	49	76	109	PA14	I/O	FT	JTCK-SWCLK		PA14
A10	A8	C3	50	77	110	PA15	I/O	FT	JTDI	SPI3_NSS/ I2S3_WS	TIM2_CH1_ETR PA15 / SPI1_NSS
B11	B9	A2	51	78	111	PC10	I/O	FT	PC10	UART4_TX/SDIO_D2	USART3_TX
B10	B8	B3	52	79	112	PC11	I/O	FT	PC11	UART4_RX/SDIO_D3	USART3_RX
C10	C8	C4	53	80	113	PC12	I/O	FT	PC12	UART5_TX/SDIO_CK	USART3_CK
E10	D8	D8	5	81	114	PD0	I/O	FT	OSC_IN ⁽¹⁰⁾	FSMC_D2 ⁽¹¹⁾	CAN_RX
D10	E8	D7	6	82	115	PD1	I/O	FT	OSC_OUT ⁽¹⁰⁾	FSMC_D3 ⁽¹¹⁾	CAN_TX
E9	B7	A3	54	83	116	PD2	I/O	FT	PD2	TIM3_ETR/UART5_RX SDIO_CMD	
D9	C7	-	-	84	117	PD3	I/O	FT	PD3	FSMC_CLK	USART2_CTS
C9	D7	-	-	85	118	PD4	I/O	FT	PD4	FSMC_NOE	USART2_RTS
B9	B6	-	-	86	119	PD5	I/O	FT	PD5	FSMC_NWE	USART2_TX
E7	-	-	-	-	120	V _{SS_10}	S		V _{SS_10}		
F7	-	-	-	-	121	V _{DD_10}	S		V _{DD_10}		
A8	C6	-	-	87	122	PD6	I/O	FT	PD6	FSMC_NWAIT	USART2_RX
A9	D6	-	-	88	123	PD7	I/O	FT	PD7	FSMC_NE1/FSMC_NCE2	USART2_CK
E8	-	-	-	-	124	PG9	I/O	FT	PG9	FSMC_NE2/FSMC_NCE3	
D8	-	-	-	-	125	PG10	I/O	FT	PG10	FSMC_NCE4_1/ FSMC_NE3	
C8	-	-	-	-	126	PG11	I/O	FT	PG11	FSMC_NCE4_2	
B8	-	-	-	-	127	PG12	I/O	FT	PG12	FSMC_NE4	
D7	-	-	-	-	128	PG13	I/O	FT	PG13	FSMC_A24	
C7	-	-	-	-	129	PG14	I/O	FT	PG14	FSMC_A25	
E6	-	-	-	-	130	V _{SS_11}	S		V _{SS_11}		
F6	-	-	-	-	131	V _{DD_11}	S		V _{DD_11}		
B7	-	-	-	-	132	PG15	I/O	FT	PG15		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 5.High-density STM32F103xx pin definitions (continued)

Pins						Pin name	Type ⁽¹⁾	I / O Level ⁽²⁾	Main function ⁽³⁾ (after reset)	Alternate functions ⁽⁴⁾	
LFBGA144	LFBGA100	WLCSP64	LQFP64	LQFP100	LQFP144					Default	Remap
A7	A7	A4	55	89	133	PB3	I/O	FT	JTDO	SPI3_SCK / I2S3_CK/	PB3/TRACESWO TIM2_CH2 / SPI1_SCK
A6	A6	B4	56	90	134	PB4	I/O	FT	NJTRST	SPI3_MISO	PB4 / TIM3_CH1 SPI1_MISO
B6	C5	A5	57	91	135	PB5	I/O		PB5	I2C1_SMBA/ SPI3_MOSI I2S3_SD	TIM3_CH2 / SPI1_MOSI
C6	B5	B5	58	92	136	PB6	I/O	FT	PB6	I2C1_SCL ⁽⁹⁾ / TIM4_CH1 ⁽⁹⁾	USART1_TX
D6	A5	C5	59	93	137	PB7	I/O	FT	PB7	I2C1_SDA ⁽⁹⁾ / FSMC_NADV / TIM4_CH2 ⁽⁹⁾	USART1_RX
D5	D5	A6	60	94	138	BOOT0	I		BOOT0		
C5	B4	D5	61	95	139	PB8	I/O	FT	PB8	TIM4_CH3 ⁽⁹⁾ /SDIO_D4	I2C1_SCL/ CAN_RX
B5	A4	B6	62	96	140	PB9	I/O	FT	PB9	TIM4_CH4 ⁽⁹⁾ /SDIO_D5	I2C1_SDA / CAN_TX
A5	D4	-	-	97	141	PE0	I/O	FT	PE0	TIM4_ETR / FSMC_NBL0	
A4	C4	-	-	98	142	PE1	I/O	FT	PE1	FSMC_NBL1	
E5	E5	A7	63	99	143	V _{SS_3}	S		V _{SS_3}		
F5	F5	A8	64	100	144	V _{DD_3}	S		V _{DD_3}		

1. I = input, O = output, S = supply.

2. FT = 5 V tolerant.

3. Function availability depends on the chosen device.

4. If several peripherals share the same I/O pin, to avoid conflict between these alternate functions only one peripheral should be enabled at a time through the peripheral clock enable bit (in the corresponding RCC peripheral clock enable register).

5. PC13, PC14 and PC15 are supplied through the power switch. Since the switch only sinks a limited amount of current (3 mA), the use of GPIOs PC13 to PC15 in output mode is limited: the speed should not exceed 2 MHz with a maximum load of 30 pF and these IOs must not be used as a current source (e.g. to drive an LED).

6. Main function after the first backup domain power-up. Later on, it depends on the contents of the Backup registers even after reset (because these registers are not reset by the main reset). For details on how to manage these IOs, refer to the Battery backup domain and BKP register description sections in the STM32F10xxx reference manual, available from the STMicroelectronics website: www.st.com.

7. In the WLCSP64 package, the PC3 I/O pin is not bonded and it must be configured by software to output mode (Push-pull) and writing 0 to the data register in order to avoid an extra consumption during low power modes.

8. Unlike in the LQFP64 package, there is no PC3 in the WLCSP package. The V_{REF} functionality is provided instead.

9. This alternate function can be remapped by software to some other port pins (if available on the used package). For more details, refer to the Alternate function I/O and debug configuration section in the STM32F10xxx reference manual, available from the STMicroelectronics website: www.st.com.

10. For the WLCSP64/LQFP64 package, the pins number 5 and 6 are configured as OSC_IN/OSC_OUT after reset, however the functionality of PD0 and PD1 can be remapped by software on these pins. For the LQFP100/BGA100 and LQFP144/BGA144 packages, PD0 and PD1 are available by default, so there is no need for remapping. For more details, refer to Alternate function I/O and debug configuration section in the STM32F10xxx reference manual.

11. For devices delivered in LQFP64 packages, the FSMC function is not available.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 6.FSMC pin definition

Pins	FSMC					LQFP100 BGA100 ⁽¹⁾
	CF	CF/DE	NOR/PSRAM/ SRAM	NOR/PSRAM Mux	NAND 16 bit	
PE2			A23	A23		Yes
PE3			A19	A19		Yes
PE4			A20	A20		Yes
PE5			A21	A21		Yes
PE6			A22	A22		Yes
PF0	A0	A0	A0			-
PF1	A1	A1	A1			-
PF2	A2	A2	A2			-
PF3	A3		A3			-
PF4	A4		A4			-
PF5	A5		A5			-
PF6	NIORD	NIORD				-
PF7	NREG	NREG				-
PF8	NIOWR	NIOWR				-
PF9	CD	CD				-
PF10	INTR	INTR				-
PF11	NIOS16	NIOS16				-
PF12	A6		A6			-
PF13	A7		A7			-
PF14	A8		A8			-
PF15	A9		A9			-
PG0	A10		A10			-
PG1			A11			-
PE7	D4	D4	D4	DA4	D4	Yes
PE8	D5	D5	D5	DA5	D5	Yes
PE9	D6	D6	D6	DA6	D6	Yes
PE10	D7	D7	D7	DA7	D7	Yes
PE11	D8	D8	D8	DA8	D8	Yes
PE12	D9	D9	D9	DA9	D9	Yes
PE13	D10	D10	D10	DA10	D10	Yes
PE14	D11	D11	D11	DA11	D11	Yes
PE15	D12	D12	D12	DA12	D12	Yes
PD8	D13	D13	D13	DA13	D13	Yes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 6.FSMC pin definition (continued)

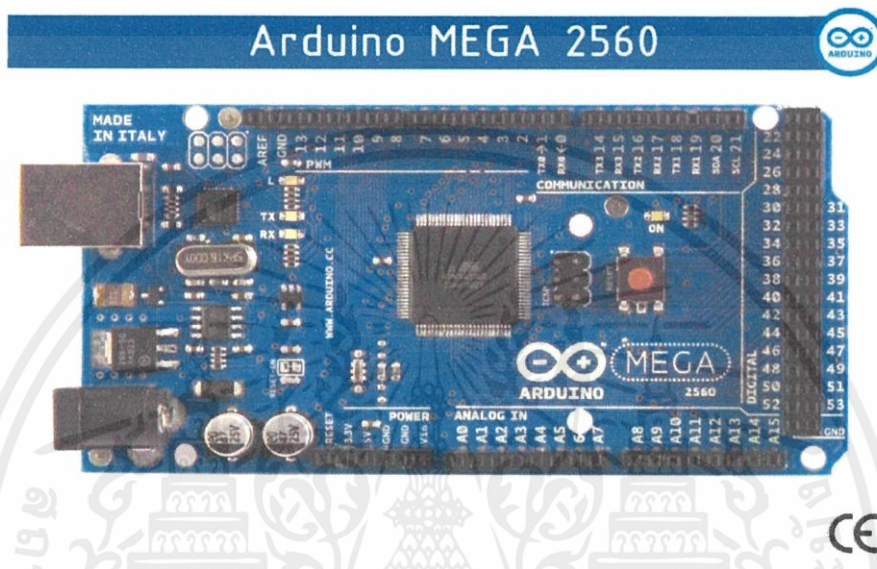
Pins	FSMC					LQFP100 BGA100 ⁽¹⁾
	CF	CF/DE	NOR/PSRAM/ SRAM	NOR/PSRAM Mux	NAND 16 bit	
PD9	D14	D14	D14	DA14	D14	Yes
PD10	D15	D15	D15	DA15	D15	Yes
PD11			A16	A16	CLE	Yes
PD12			A17	A17	ALE	Yes
PD13			A18	A18		Yes
PD14	D0	D0	D0	DA0	D0	Yes
PD15	D1	D1	D1	DA1	D1	Yes
PG2			A12			-
PG3			A13			-
PG4			A14			-
PG5			A15			-
PG6					INT2	-
PG7					INT3	-
PD0	D2	D2	D2	DA2	D2	Yes
PD1	D3	D3	D3	DA3	D3	Yes
PD3			CLK	CLK		Yes
PD4	NOE	NOE	NOE	NOE	NOE	Yes
PD5	NWE	NWE	NWE	NWE	NWE	Yes
PD6	NWAIT	NWAIT	NWAIT	NWAIT	NWAIT	Yes
PD7			NE1	NE1	NCE2	Yes
PG9			NE2	NE2	NCE3	-
PG10	NCE4_1	NCE4_1	NE3	NE3		-
PG11	NCE4_2	NCE4_2				-
PG12			NE4	NE4		-
PG13			A24	A24		-
PG14			A25	A25		-
PB7			NADV	NADV		Yes
PE0			NBL0	NBL0		Yes
PE1			NBL1	NBL1		Yes

1. Ports F and G are not available in devices delivered in 100-pin packages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

Arduino Mega 2560



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Enviroment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Enviromental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



radiospares RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Specification

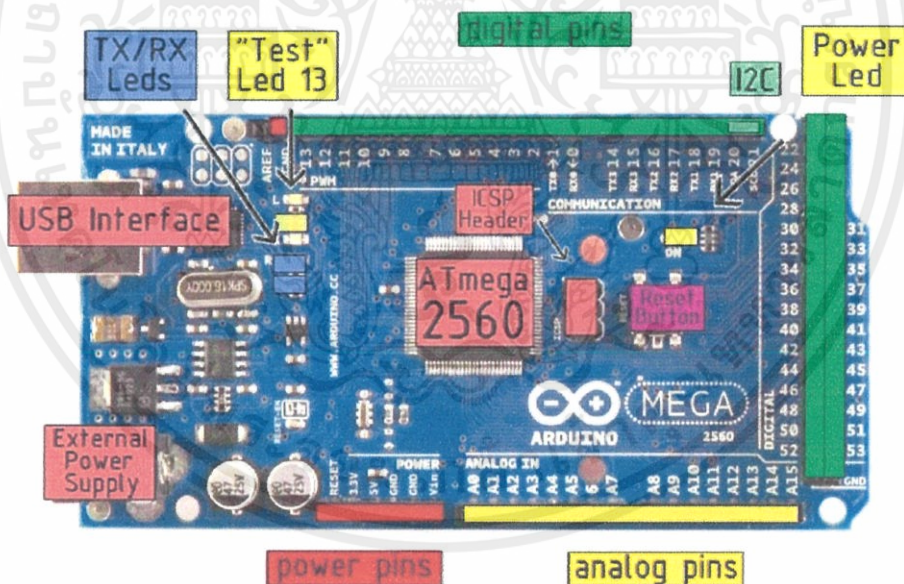


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial:** 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts:** 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2). These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM:** 0 to 13. Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI:** 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED:** 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I²C:** 20 (SDA) and 21 (SCL). Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the [Wiring website](#)). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.



RADIOSPARES

RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

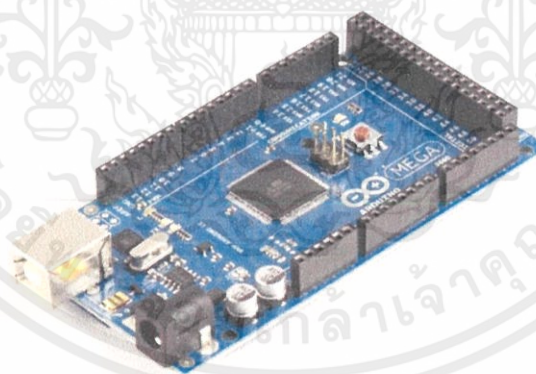
The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.



radiospares RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. **Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).**

How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your skecth you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select MEGA

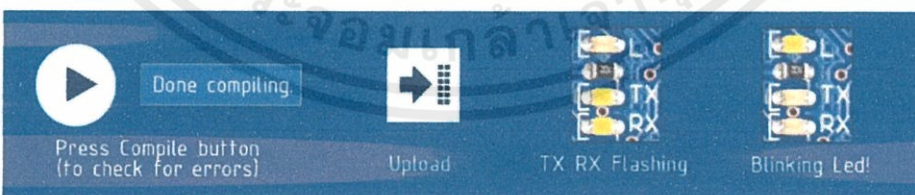
Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```

Sketch - Arduino 1.17
File Edit Sketch Tools Help
[Icons]
Blink
// Blink: turns on and off a LED connected to digital pin 13
// (The setup() function runs once, when the sketch starts)
// The loop() function runs over and over again,
// as long as the Arduino has power.

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
}

// the setup() function runs once and then stops.
// the loop() function runs over and over again.
void loop() {
  digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);                 // wait for a second
  digitalWrite(LED_PIN, LOW); // set the LED off
  delay(1000);                 // wait for a second
}
  
```

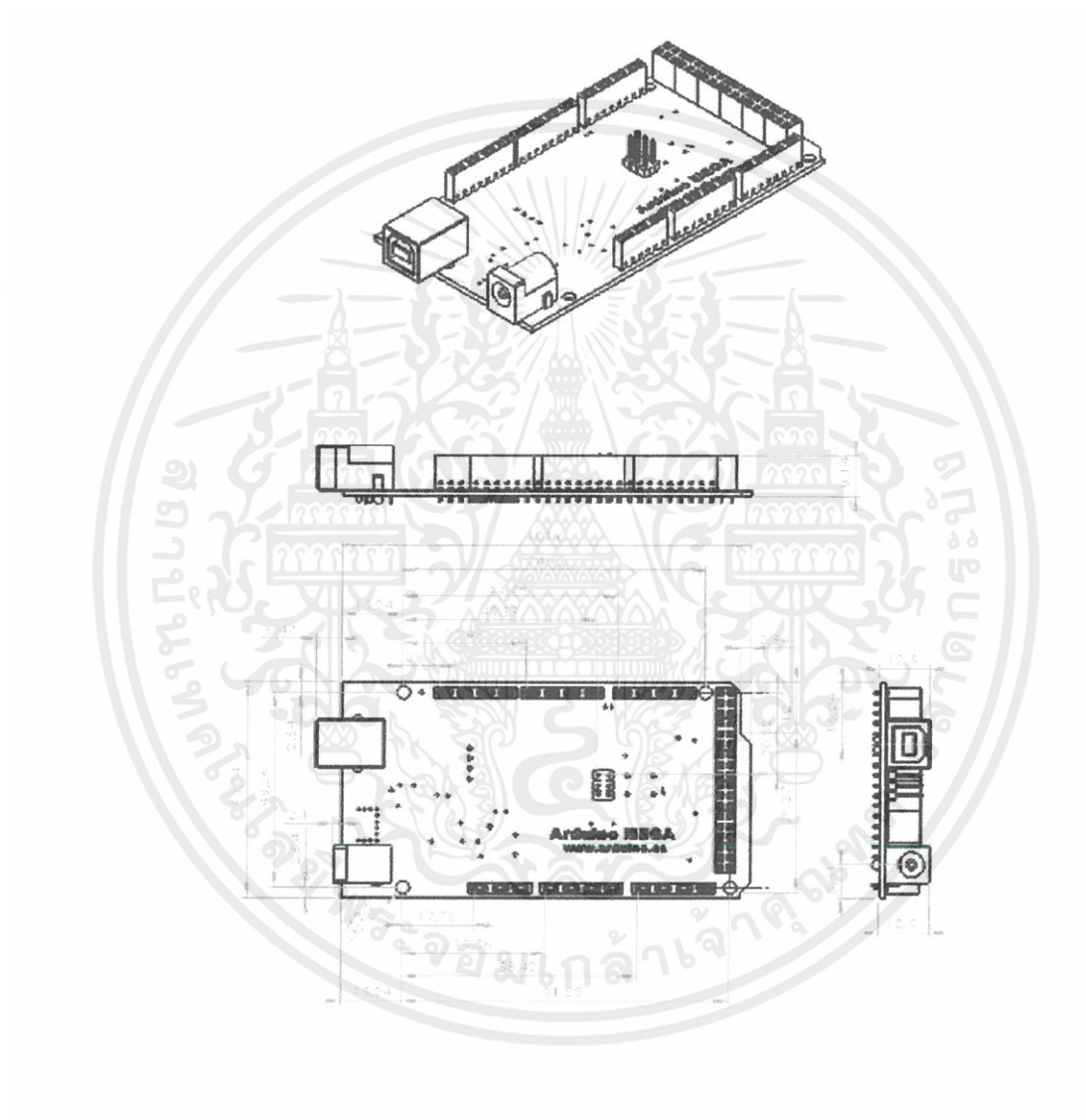


radiospares RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensioned Drawing



radiospares RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

IC



LM1117-N, LM1117I

www.ti.com

SNOS412M - FEBRUARY 2000 - REVISED MARCH 2013

LM1117-N/LM1117I 800mA Low-Dropout Linear Regulator

Check for Samples: LM1117-N, LM1117I

FEATURES

- Available in 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V, 5V, and Adjustable Versions
- Space Saving SOT-223 and WSON Packages
- Current Limiting and Thermal Protection
- Output Current 800mA
- Line Regulation 0.2% (Max)
- Load Regulation 0.4% (Max)
- Temperature Range
 - LM1117-N: 0°C to 125°C
 - LM1117I: -40°C to 125°C

APPLICATIONS

- 2.85V Model for SCSI-2 Active Termination
- Post Regulator for Switching DC/DC Converter
- High Efficiency Linear Regulators
- Battery Charger
- Battery Powered Instrumentation

TYPICAL APPLICATION

Active Terminator for SCSI-2 Bus

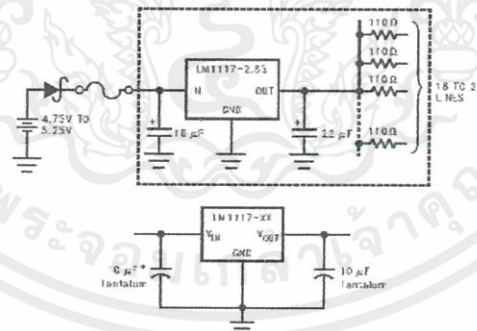
DESCRIPTION

The LM1117-N is a series of low dropout voltage regulators with a dropout of 1.2V at 800mA of load current. It has the same pin-out as Texas Instruments' industry standard LM317.

The LM1117-N is available in an adjustable version, which can set the output voltage from 1.25V to 13.8V with only two external resistors. In addition, it is also available in five fixed voltages, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V, and 5V.

The LM1117-N offers current limiting and thermal shutdown. Its circuit includes a zener trimmed bandgap reference to assure output voltage accuracy to within ±1%.

The LM1117-N series is available in WSON, PFM, SOT-223, TO-220, and TO-263 DDPACK packages. A minimum of 10µF tantalum capacitor is required at the output to improve the transient response and stability.



* Required if the regulator is located far from the power supply filter.

Figure 1. Fixed Output Regulator



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

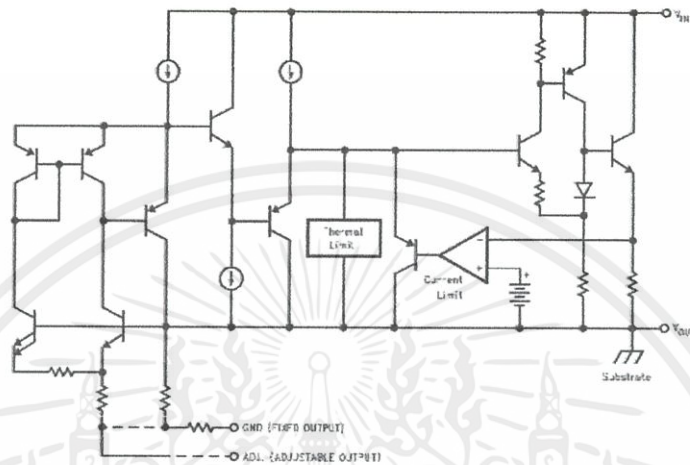
LM1117-N, LM1117I



SNOS412M—FEBRUARY 2000—REVISED MARCH 2013

www.ti.com

Block Diagram



Connection Diagrams

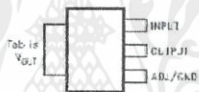


Figure 2. SOT-223 Top View

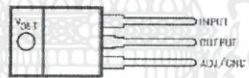


Figure 3. TO-220 Top View

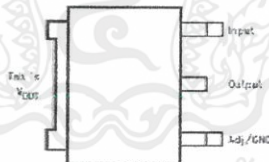


Figure 4. PFM Top View

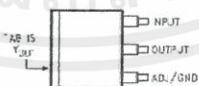
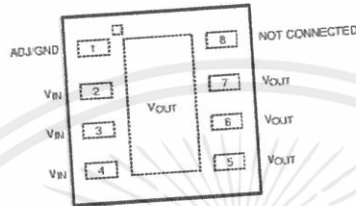


Figure 5. DDPAK/TO-263 Top View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Figure 6. DDPAK/TO-263 Side View



When using the WSON package
Pins 2, 3 & 4 must be connected together and
Pins 5, 6 & 7 must be connected together

Figure 7. WSON Top View

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.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾⁽²⁾

Maximum Input Voltage (V _{IN} to GND)		20V
Power Dissipation ⁽³⁾		Internally Limited
Junction Temperature (T _J) ⁽³⁾		150°C
Storage Temperature Range		-65°C to 150°C
	TO-220 (T) Package	260°C, 10 sec
Lead Temperature	SOT-223 (IMP) Package	260°C, 4 sec
		2000V
ESD Tolerance ⁽⁴⁾		

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not ensured. For ensured specifications and the test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) The maximum power dissipation is a function of T_{J(max)}, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is P_D = (T_{J(max)} - T_A) / θ_{JA}. All numbers apply for packages soldered directly into a PC board.
- (4) For testing purposes, ESD was applied using human body model, 1.5kΩ in series with 100pF.

OPERATING RATINGS⁽¹⁾

Input Voltage (V _{IN} to GND)		15V
Junction Temperature Range (T _J) ⁽²⁾	LM1117-N	0°C to 125°C
	LM1117I	-40°C to 125°C

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not ensured. For ensured specifications and the test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) The maximum power dissipation is a function of T_{J(max)}, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is P_D = (T_{J(max)} - T_A) / θ_{JA}. All numbers apply for packages soldered directly into a PC board.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM1117-N, LM1117I



SNOS412M – FEBRUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

LM1117-N ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Typicals and limits appearing in normal type apply for $T_J = 25^\circ\text{C}$. Limits appearing in **Boldface** type apply over the entire junction temperature range for operation, 0°C to 125°C .

Symbol	Parameter	Conditions	Min ⁽¹⁾	Typ ⁽²⁾	Max ⁽¹⁾	Units
V_{REF}	Reference Voltage	LM1117-N-ADJ $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} - V_{OUT} = 2\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	1.238	1.250	1.262	V
		$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $1.4\text{V} \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 10\text{V}$	1.225	1.250	1.270	V
V_{OUT}	Output Voltage	LM1117-N-1.8 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 3.8\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	1.782	1.800	1.818	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $3.2\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$	1.746	1.800	1.854	V
		LM1117-N-2.5 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 4.5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	2.475	2.500	2.525	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $3.9\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$	2.450	2.500	2.550	V
		LM1117-N-2.85 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 4.85\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	2.820	2.850	2.880	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $4.25\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$	2.790	2.850	2.910	V
LM1117-N-3.3 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $4.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$	3.267	3.300	3.333	V	
		3.235	3.300	3.365	V	
LM1117-N-5.0 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 7\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $6.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 12\text{V}$	4.950	5.000	5.050	V	
		4.900	5.000	5.100	V	
ΔV_{OUT}	Line Regulation ⁽³⁾	LM1117-N-ADJ $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $1.5\text{V} \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 13.75\text{V}$		0.035	0.2	%
		LM1117-N-1.8 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $3.2\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$		1	6	mV
		LM1117-N-2.5 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $3.9\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$		1	6	mV
		LM1117-N-2.85 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $4.25\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$		1	6	mV
		LM1117-N-3.3 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $4.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 15\text{V}$		1	6	mV
		LM1117-N-5.0 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $6.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 15\text{V}$		1	10	mV
ΔV_{OUT}	Load Regulation ⁽³⁾	LM1117-N-ADJ $V_{IN} - V_{OUT} = 3\text{V}$, $10 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		0.2	0.4	%
		LM1117-N-1.8 $V_{IN} = 3.2\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV
		LM1117-N-2.5 $V_{IN} = 3.9\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV
		LM1117-N-2.85 $V_{IN} = 4.25\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV
		LM1117-N-3.3 $V_{IN} = 4.75\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV
		LM1117-N-5.0 $V_{IN} = 6.5\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	15	mV
$V_{IN} - V_{OUT}$	Dropout Voltage ⁽⁴⁾	$I_{OUT} = 100\text{mA}$		1.10	1.20	V
		$I_{OUT} = 500\text{mA}$		1.15	1.25	V
		$I_{OUT} = 800\text{mA}$		1.20	1.30	V

(1) All limits are ensured by testing or statistical analysis.

(2) Typical Values represent the most likely parametric normal.

(3) Load and line regulation are measured at constant junction room temperature.

(4) The dropout voltage is the input/output differential at which the circuit ceases to regulate against further reduction in input voltage. It is measured when the output voltage has dropped 100mV from the nominal value obtained at $V_{IN} = V_{OUT} + 1.5\text{V}$.

4 Submit Documentation Feedback

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

Product Folder Links: LM1117-N LM1117I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM1117-N, LM1117I

www.ti.com

SNOS412M – FEBRUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

LM1117-N ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Typicals and limits appearing in normal type apply for $T_J = 25^\circ\text{C}$. Limits appearing in **Boldface** type apply over the entire junction temperature range for operation, 0°C to 125°C .

Symbol	Parameter	Conditions	Min ⁽¹⁾	Typ ⁽²⁾	Max ⁽¹⁾	Units	
I_{LIMIT}	Current Limit	$V_{IN}-V_{OUT} = 5V$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	800	1200	1500	mA	
	Minimum Load Current ⁽⁵⁾	LM1117-N-ADJ $V_{IN} = 15V$		1.7	5	mA	
	Quiescent Current	LM1117-N-1.8 $V_{IN} \leq 15V$			5	10	mA
		LM1117-N-2.5 $V_{IN} \leq 15V$			5	10	mA
		LM1117-N-2.85 $V_{IN} \leq 10V$			5	10	mA
		LM1117-N-3.3 $V_{IN} \leq 15V$			5	10	mA
		LM1117-N-5.0 $V_{IN} \leq 15V$			5	10	mA
	Thermal Regulation	$T_A = 25^\circ\text{C}$, 30ms Pulse		0.01	0.1	%/W	
	Ripple Regulation	$f_{RIPPLE} = 1\text{ kHz}$, $V_{IN}-V_{OUT} = 3V$, $V_{RIPPLE} = 1V_{PP}$	60	75		dB	
	Adjust Pin Current			60	120	μA	
	Adjust Pin Current Change	$10 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $1.4V \leq V_{IN}-V_{OUT} \leq 10V$		0.2	5	μA	
	Temperature Stability			0.5		%	
	Long Term Stability	$T_A = 125^\circ\text{C}$, 1000Hrs			0.3	%	
RMS Output Noise	(% of V_{OUT}), 10Hz $\leq f \leq 10\text{kHz}$			0.003	%		
Thermal Resistance Junction-to-Case	3-Lead SOT-223			15.0		$^\circ\text{C}/\text{W}$	
	3-Lead TO-220			3.0		$^\circ\text{C}/\text{W}$	
	3-Lead TO-263			10		$^\circ\text{C}/\text{W}$	
Thermal Resistance Junction-to-Ambient (No air flow)	3-Lead SOT-223 (No heat sink)			136		$^\circ\text{C}/\text{W}$	
	3-Lead TO-220 (No heat sink)			79		$^\circ\text{C}/\text{W}$	
	3-Lead TO-263 ⁽⁶⁾ (No heat sink)			92		$^\circ\text{C}/\text{W}$	
	3-Lead PFM			55		$^\circ\text{C}/\text{W}$	
	8-Lead WSON ⁽⁷⁾			40		$^\circ\text{C}/\text{W}$	

(5) The minimum output current required to maintain regulation.

(6) Minimum pad size of 0.038in^2 .

(7) Thermal Performance for the WSON was obtained using JESD51-7 board with six vias and an ambient temperature of 22°C . For information about improved thermal performance and power dissipation for the WSON, refer to Application Note AN-1187 (SNOA401).

LM1117I ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Typicals and limits appearing in normal type apply for $T_J = 25^\circ\text{C}$. Limits appearing in **Boldface** type apply over the entire junction temperature range for operation, -40°C to 125°C .

Symbol	Parameter	Conditions	Min ⁽¹⁾	Typ ⁽²⁾	Max ⁽¹⁾	Units
V_{REF}	Reference Voltage	LM1117I-ADJ $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN}-V_{OUT} = 2V$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	1.238	1.250	1.262	V
		$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $1.4V \leq V_{IN}-V_{OUT} \leq 10V$	1.200	1.250	1.290	V
V_{OUT}	Output Voltage	LM1117I-3.3 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 5V$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	3.267	3.300	3.333	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $4.75V \leq V_{IN} \leq 10V$	3.168	3.300	3.432	V
		LM1117I-5.0 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 7V$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	4.950	5.000	5.050	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $6.5V \leq V_{IN} \leq 12V$	4.800	5.000	5.200	V

(1) All limits are ensured by testing or statistical analysis.

(2) Typical Values represent the most likely parametric normal.

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

Submit Documentation Feedback

5

Product Folder Links: LM1117-N LM1117I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM1117-N, LM1117I



SNOS412M—FEBRUARY 2000—REVISED MARCH 2013

www.ti.com

LM1117I ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Typicals and limits appearing in normal type apply for $T_J = 25^\circ\text{C}$. Limits appearing in **Boldface** type apply over the entire junction temperature range for operation, -40°C to 125°C .

Symbol	Parameter	Conditions	Min ⁽¹⁾	Typ ⁽²⁾	Max ⁽¹⁾	Units
ΔV_{OUT}	Line Regulation ⁽³⁾	LM1117I-ADJ $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $1.5\text{V} \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 13.75\text{V}$		0.035	0.3	%
		LM1117I-3.3 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $4.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 15\text{V}$		1	10	mV
		LM1117I-5.0 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $6.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 15\text{V}$		1	15	mV
ΔV_{OUT}	Load Regulation ⁽³⁾	LM1117I-ADJ $V_{IN} - V_{OUT} = 3\text{V}$, $10 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		0.2	0.5	%
		LM1117I-3.3 $V_{IN} = 4.75\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	15	mV
		LM1117I-5.0 $V_{IN} = 6.5\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	20	mV
$V_{IN} - V_{OUT}$	Dropout Voltage ⁽⁴⁾	$I_{OUT} = 100\text{mA}$		1.10	1.30	V
		$I_{OUT} = 500\text{mA}$		1.15	1.35	V
		$I_{OUT} = 800\text{mA}$		1.20	1.40	V
I_{LIMIT}	Current Limit	$V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	800	1200	1500	mA
	Minimum Load Current ⁽⁵⁾	LM1117I-ADJ $V_{IN} = 15\text{V}$		1.7	5	mA
	Quiescent Current	LM1117I-3.3 $V_{IN} \leq 15\text{V}$		5	15	mA
		LM1117I-5.0 $V_{IN} \leq 15\text{V}$		5	15	mA
	Thermal Regulation	$T_A = 25^\circ\text{C}$, 30ms Pulse		0.01	0.1	%/W
	Ripple Regulation	$f_{RIPPLE} = 1\text{20Hz}$, $V_{IN} - V_{OUT} = 3\text{V}$, $V_{RIPPLE} = 1\text{V}_{PP}$	60	75		dB
	Adjust Pin Current			60	120	μA
	Adjust Pin Current Change	$10 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $1.4\text{V} \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 10\text{V}$		0.2	10	μA
	Temperature Stability			0.5		%
	Long Term Stability	$T_A = 125^\circ\text{C}$, 1000Hrs		0.3		%
	RMS Output Noise	(% of V_{OUT}), $10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$		0.003		%
	Thermal Resistance Junction-to-Case	3-Lead SOT-223			15.0	
3-Lead TO-263				10		$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance Junction-to-Ambient (No air flow)	3-Lead SOT-223 (No heat sink)			136		$^\circ\text{C}/\text{W}$
	3-Lead TO-263 (No heat sink) ⁽⁶⁾			92		$^\circ\text{C}/\text{W}$
	8-Lead WSON ⁽⁷⁾			40		$^\circ\text{C}/\text{W}$

(3) Load and line regulation are measured at constant junction room temperature.

(4) The dropout voltage is the input/output differential at which the circuit ceases to regulate against further reduction in input voltage. It is measured when the output voltage has dropped 100mV from the nominal value obtained at $V_{IN} = V_{OUT} + 1.5\text{V}$.

(5) The minimum output current required to maintain regulation.

(6) Minimum pad size of 0.038in^2 .

(7) Thermal Performance for the WSON was obtained using JESD51-7 board with six vias and an ambient temperature of 22°C . For information about improved thermal performance and power dissipation for the WSON, refer to Application Note AN-1187 (SNOA401).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

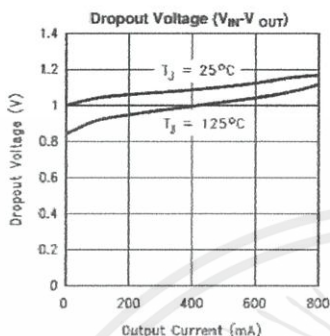


Figure 8.

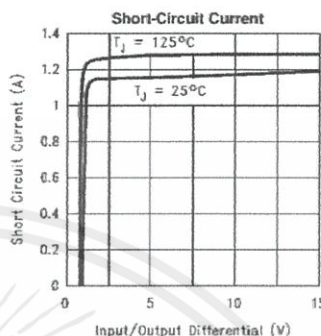


Figure 9.

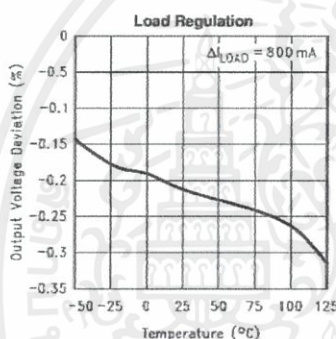


Figure 10.

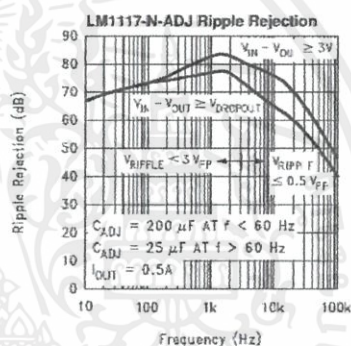


Figure 11.

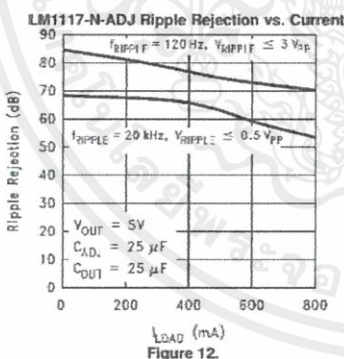


Figure 12.

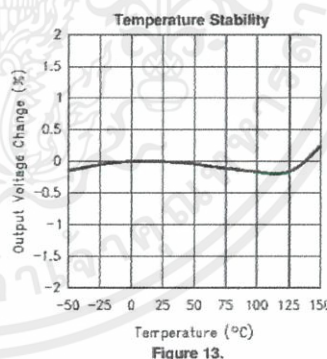


Figure 13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

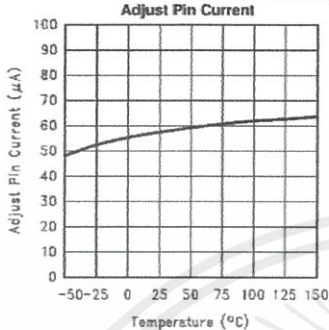


Figure 14.

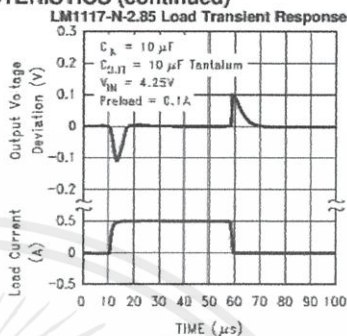


Figure 15.

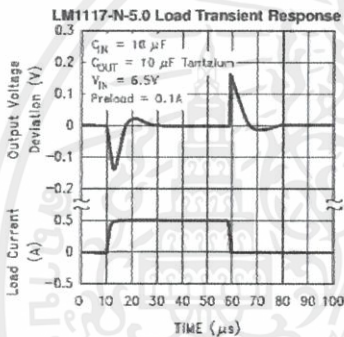


Figure 16.

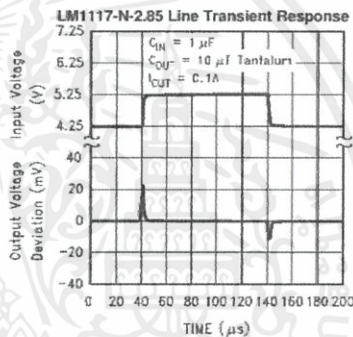


Figure 17.

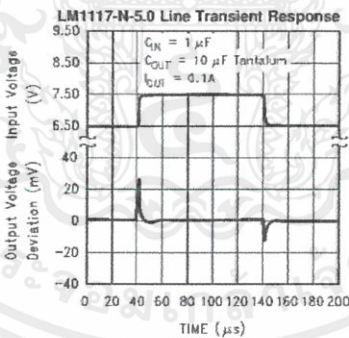


Figure 18.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

EXTERNAL CAPACITORS/STABILITY

Input Bypass Capacitor

An input capacitor is recommended. A 10µF tantalum on the input is a suitable input bypassing for almost all applications.

Adjust Terminal Bypass Capacitor

The adjust terminal can be bypassed to ground with a bypass capacitor (C_{ADJ}) to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. At any ripple frequency, the impedance of the C_{ADJ} should be less than $R1$ to prevent the ripple from being amplified:

$$1/(2\pi \cdot f_{\text{RIPPLE}} \cdot C_{ADJ}) < R1 \quad (1)$$

The $R1$ is the resistor between the output and the adjust pin. Its value is normally in the range of 100-200Ω. For example, with $R1 = 124\Omega$ and $f_{\text{RIPPLE}} = 120\text{Hz}$, the C_{ADJ} should be $> 11\mu\text{F}$.

Output Capacitor

The output capacitor is critical in maintaining regulator stability, and must meet the required conditions for both minimum amount of capacitance and ESR (Equivalent Series Resistance). The minimum output capacitance required by the LM1117-N is 10µF, if a tantalum capacitor is used. Any increase of the output capacitance will merely improve the loop stability and transient response. The ESR of the output capacitor should range between 0.3Ω - 22Ω. In the case of the adjustable regulator, when the C_{ADJ} is used, a larger output capacitance (22µF tantalum) is required.

OUTPUT VOLTAGE

The LM1117-N adjustable version develops a 1.25V reference voltage, V_{REF} , between the output and the adjust terminal. As shown in Figure 19, this voltage is applied across resistor $R1$ to generate a constant current $I1$. The current I_{ADJ} from the adjust terminal could introduce error to the output. But since it is very small (60µA) compared with the $I1$ and very constant with line and load changes, the error can be ignored. The constant current $I1$ then flows through the output set resistor $R2$ and sets the output voltage to the desired level.

For fixed voltage devices, $R1$ and $R2$ are integrated inside the devices.

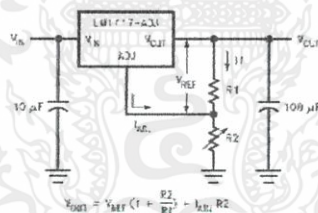


Figure 19. Basic Adjustable Regulator

LOAD REGULATION

The LM1117-N regulates the voltage that appears between its output and ground pins, or between its output and adjust pins. In some cases, line resistances can introduce errors to the voltage across the load. To obtain the best load regulation, a few precautions are needed.

Figure 20, shows a typical application using a fixed output regulator. The $Rt1$ and $Rt2$ are the line resistances. It is obvious that the V_{LOAD} is less than the V_{OUT} by the sum of the voltage drops along the line resistances. In this case, the load regulation seen at the R_{LOAD} would be degraded from the data sheet specification. To improve this, the load should be tied directly to the output terminal on the positive side and directly tied to the ground terminal on the negative side.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM1117-N, LM1117I



SNOS412M—FEBRUARY 2000—REVISED MARCH 2013

www.ti.com

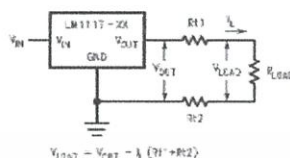


Figure 20. Typical Application using Fixed Output Regulator

When the adjustable regulator is used (Figure 21), the best performance is obtained with the positive side of the resistor R1 tied directly to the output terminal of the regulator rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 5V regulator with 0.05Ω resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of $0.05\Omega \times I_L$. If R1 (=125Ω) is connected near the load, the effective line resistance will be $0.05\Omega (1+R2/R1)$ or in this case, it is 4 times worse. In addition, the ground side of the resistor R2 can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

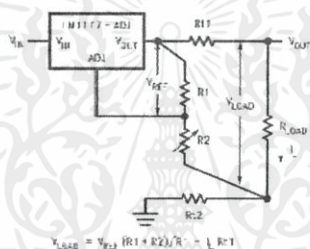


Figure 21. Best Load Regulation using Adjustable Output Regulator

PROTECTION DIODES

Under normal operation, the LM1117-N regulators do not need any protection diode. With the adjustable device, the internal resistance between the adjust and output terminals limits the current. No diode is needed to divert the current around the regulator even with capacitor on the adjust terminal. The adjust pin can take a transient signal of $\pm 25V$ with respect to the output voltage without damaging the device.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted to ground, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and rate of decrease of V_{IN} . In the LM1117-N regulators, the internal diode between the output and input pins can withstand microsecond surge currents of 10A to 20A. With an extremely large output capacitor ($\geq 1000\mu F$), and with input instantaneously shorted to ground, the regulator could be damaged.

In this case, an external diode is recommended between the output and input pins to protect the regulator, as shown in Figure 22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

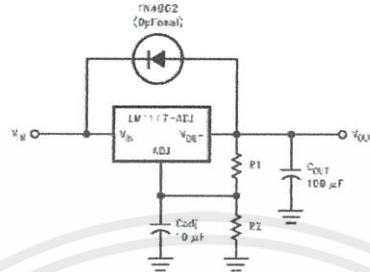
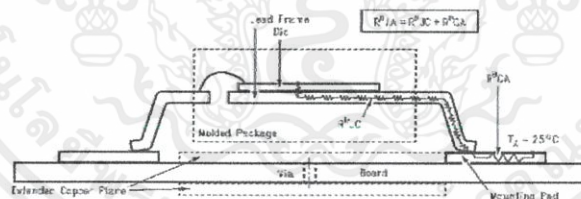


Figure 22. Regulator with Protection Diode

HEATSINK REQUIREMENTS

When an integrated circuit operates with an appreciable current, its junction temperature is elevated. It is important to quantify its thermal limits in order to achieve acceptable performance and reliability. This limit is determined by summing the individual parts consisting of a series of temperature rises from the semiconductor junction to the operating environment. A one-dimensional steady-state model of conduction heat transfer is demonstrated in Figure 23. The heat generated at the device junction flows through the die to the die attach pad, to the printed circuit board, and eventually to the ambient environment. Below is a list of variables that may affect the thermal resistance and in turn the need for a heatsink.

R _{θJC} (Component Variables)	R _{θCA} (Application Variables)
Leadframe Size & Material	Mounting Pad Size, Material, & Location
No. of Conduction Pins	Placement of Mounting Pad
Die Size	PCB Size & Material
Die Attach Material	Traces Length & Width
Molding Compound Size and Material	Adjacent Heat Sources
	Volume of Air
	Ambient Temperature
	Shape of Mounting Pad



The case temperature is measured at the point where the leads contact with the mounting pad surface

Figure 23. Cross-Sectional View of Integrated Circuit Mounted on a Printed Circuit Board

The LM1117-N regulators have internal thermal shutdown to protect the device from over-heating. Under all possible operating conditions, the junction temperature of the LM1117-N must be within the range of 0°C to 125°C. A heatsink may be required depending on the maximum power dissipation and maximum ambient temperature of the application. To determine if a heatsink is needed, the power dissipated by the regulator, P_D, must be calculated:

$$I_M = I_L + I_G \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM1117-N, LM1117I



SNOS412M—FEBRUARY 2000—REVISED MARCH 2013

www.ti.com

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT})I_L + V_{IN}I_G \quad (3)$$

Figure 24 shows the voltages and currents which are present in the circuit.

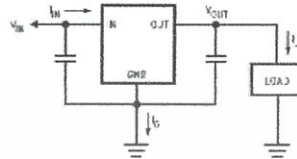


Figure 24. Power Dissipation Diagram

The next parameter which must be calculated is the maximum allowable temperature rise, $T_{R(max)}$:

$$T_{R(max)} = T_J(max) - T_A(max)$$

where

- $T_J(max)$ is the maximum allowable junction temperature (125°C) which will be encountered in the application
- $T_A(max)$ is the maximum ambient temperature which will be encountered in the application

Using the calculated values for $T_{R(max)}$ and P_D , the maximum allowable value for the junction-to-ambient thermal resistance (θ_{JA}) can be calculated:

$$\theta_{JA} = T_{R(max)} / P_D \quad (5)$$

If the maximum allowable value for θ_{JA} is found to be $\geq 136^\circ\text{C/W}$ for PFM package or $\geq 79^\circ\text{C/W}$ for TO-220 package or $\geq 92^\circ\text{C/W}$ for TO-263 package, no heatsink is needed since the package alone will dissipate enough heat to satisfy these requirements. If the calculated value for θ_{JA} falls below these limits, a heatsink is required.

As a design aid, Table 1 shows the value of the θ_{JA} of SOT-223 and PFM for different heatsink area. The copper patterns that we used to measure these θ_{JA} s are shown at the end of APPLICATION INFORMATION. Figure 25 and Figure 26 reflects the same test results as what are in the Table 1

Figure 27 and Figure 28 shows the maximum allowable power dissipation vs. ambient temperature for the SOT-223 and PFM device. Figure 29 and Figure 30 shows the maximum allowable power dissipation vs. copper area (in^2) for the SOT-223 and PFM devices. Please see AN1028 for power enhancement techniques to be used with SOT-223 and PFM packages.

Application Note AN-1187 (SNOA401) discusses improved thermal performance and power dissipation for the WSON.

Table 1. θ_{JA} Different Heatsink Area

Layout	Copper Area		Thermal Resistance	
	Top Side (in^2) ⁽¹⁾	Bottom Side (in^2)	(θ_{JA} , °C/W) SOT-223	(θ_{JA} , °C/W) PFM
1	0.0123	0	136	103
2	0.066	0	123	87
3	0.3	0	84	60
4	0.53	0	75	54
5	0.76	0	69	52
6	1	0	66	47
7	0	0.2	115	84
8	0	0.4	98	70
9	0	0.6	89	63
10	0	0.8	82	57
11	0	1	79	57
12	0.066	0.066	125	89
13	0.175	0.175	93	72

(1) Tab of device attached to topsi copper

12 Submit Documentation Feedback

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

Product Folder Links: LM1117-N LM1117I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. θ_{JA} Different Heatsink Area (continued)

Layout	Copper Area		Thermal Resistance	
14	0.284	0.284	83	61
15	0.392	0.392	75	55
16	0.5	0.5	70	53

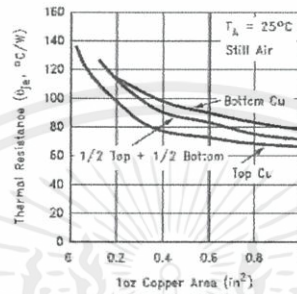
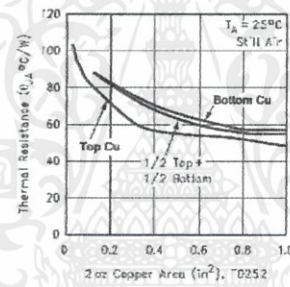
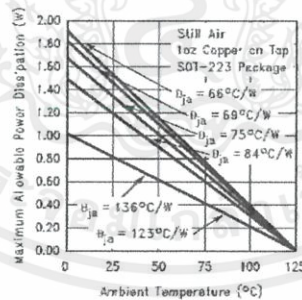
Figure 25. θ_{JA} vs. 1oz Copper Area for SOT-223Figure 26. θ_{JA} vs. 2oz Copper Area for PFM

Figure 27. Maximum Allowable Power Dissipation vs. Ambient Temperature for SOT-223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

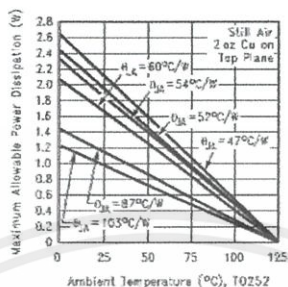


Figure 28. Maximum Allowable Power Dissipation vs. Ambient Temperature for PFM

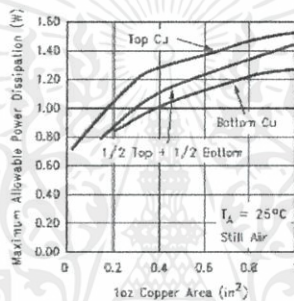


Figure 29. Maximum Allowable Power Dissipation vs. 1oz Copper Area for SOT-223

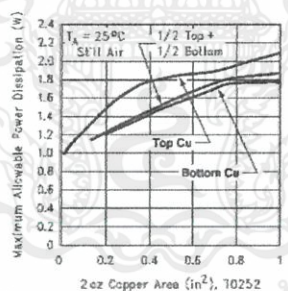


Figure 30. Maximum Allowable Power Dissipation vs. 2oz Copper Area for PFM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

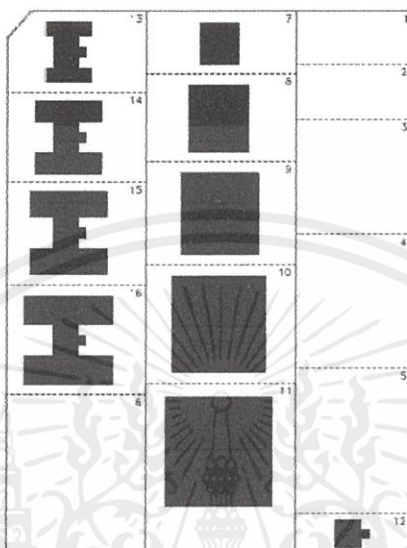


Figure 31. Top View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale

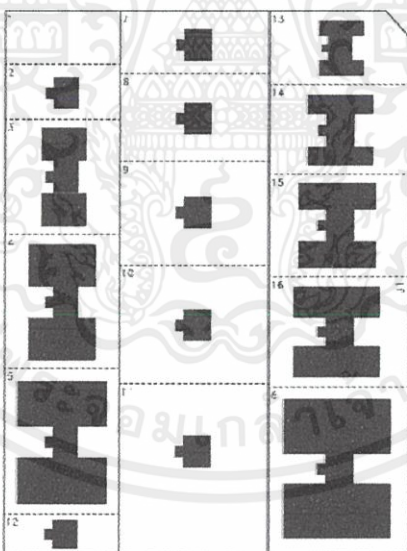


Figure 32. Bottom View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL APPLICATION CIRCUITS

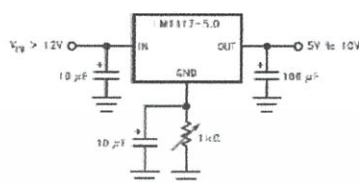


Figure 33. Adjusting Output of Fixed Regulators

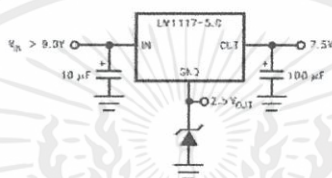


Figure 34. Regulator with Reference

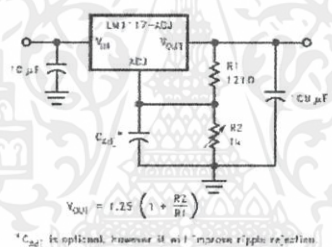


Figure 35. 1.25V to 10V Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

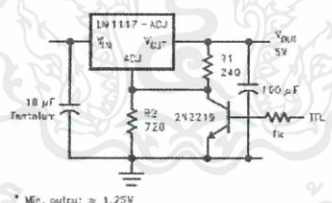


Figure 36. 5V Logic Regulator with Electronic Shutdown*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

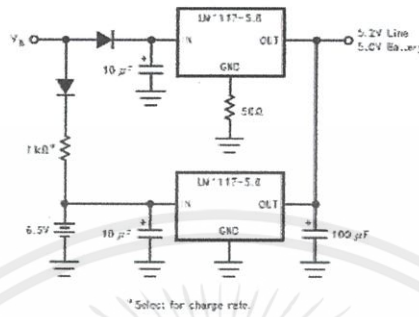


Figure 37. Battery Backed-Up Regulated Supply

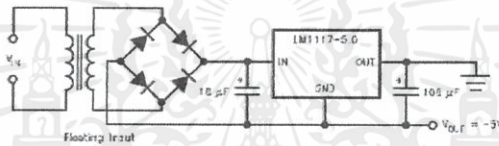


Figure 38. Low Dropout Negative Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator

Check for Samples: [LM2576](#), [LM2576HV](#)

FEATURES

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range, 1.23V to 37V (57V for HV Version) $\pm 4\%$ Max Over Line and Load Conditions
- Specified 3A Output Current
- Wide Input Voltage Range, 40V Up to 60V for HV Version
- Requires Only 4 External Components
- 52 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability, Low Power Standby Mode
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- P+ Product Enhancement Tested

APPLICATIONS

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter (Buck-Boost)

TYPICAL APPLICATION

(Fixed Output Voltage Versions)

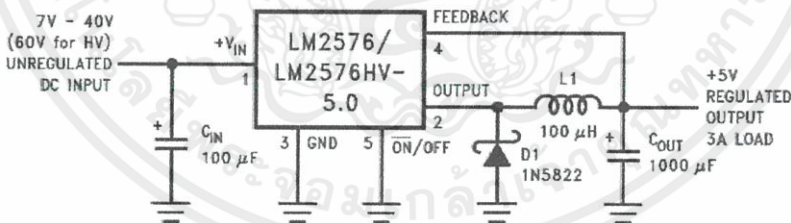


Figure 1.

DESCRIPTION

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a specified $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 10\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50 μA (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

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

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1999–2013, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

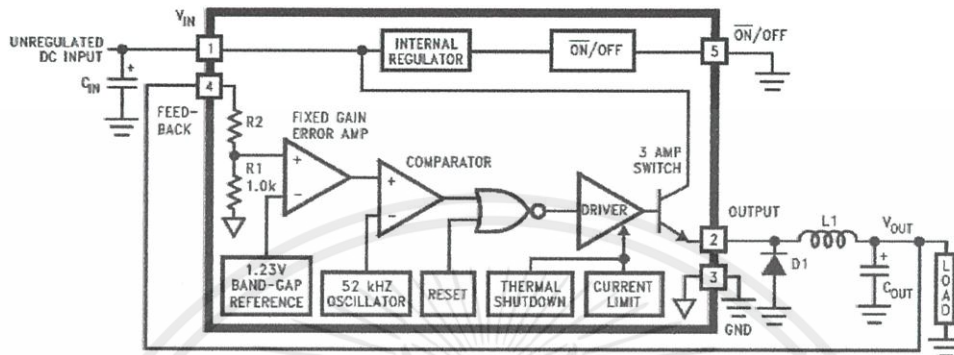
LM2576, LM2576HV



SNVS107C—JUNE 1999—REVISED APRIL 2013

www.ti.com

Block Diagram



3.3V, $R2 = 1.7k$
 5V, $R2 = 3.1k$
 12V, $R2 = 8.84k$
 15V, $R2 = 11.3k$
 For ADJ. Version
 $R1 = \text{Open}$, $R2 = 0\Omega$
 Patent Pending

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM2576, LM2576HV

www.ti.com

SNVS107C–JUNE 1999–REVISED APRIL 2013



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.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾⁽²⁾

Maximum Supply Voltage	LM2576	45V
	LM2576HV	63V
ON/OFF Pin Input Voltage		$-0.3V \leq V \leq +V_{IN}$
Output Voltage to Ground	(Steady State)	-1V
Power Dissipation		Internally Limited
Storage Temperature Range		-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature		150°C
Minimum ESD Rating	(C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)	2 kV
Lead Temperature	(Soldering, 10 Seconds)	260°C

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not ensure specific performance limits. For ensured specifications and test conditions, see ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

OPERATING RATINGS

Temperature Range	LM2576/LM2576HV	$-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$
Supply Voltage	LM2576	40V
	LM2576HV	60V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-3.3, LM2576HV-3.3

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-3.3 LM2576HV-3.3		Units (Limits)
			Typ	Limit ⁽¹⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 21 and Figure 22⁽²⁾					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 12V$, $I_{LOAD} = 0.5A$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	3.3	3.234 3.366	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$6V \leq V_{IN} \leq 40V$, $0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	3.3	3.168/ 3.135 3.432/ 3.465	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$6V \leq V_{IN} \leq 60V$, $0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	3.3	3.168/ 3.135 3.450/ 3.482	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12V$, $I_{LOAD} = 3A$	75		%

- (1) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in Figure 21 and Figure 22, system performance will be as shown in ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576, LM2576HV



SNVS107C—JUNE 1999—REVISED APRIL 2013

www.ti.com

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-5.0, LM2576HV-5.0

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **Figure 21** and **Figure 22** boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-5.0 LM2576HV-5.0		Units (Limits)
			Typ	Limit ⁽¹⁾	
SYSTEM PARAMETERS Figure 21 and Figure 22⁽²⁾					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	5.0	4.900 5.100	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	5.0	4.800/4.750 5.200/5.250	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	5.0	4.800/4.750 5.225/5.275	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	77		%

- (1) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in **Figure 21** and **Figure 22**, system performance will be as shown in **ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS**.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-12, LM2576HV-12

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-12 LM2576HV-12		Units (Limits)
			Typ	Limit ⁽¹⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 21 and Figure 22⁽²⁾					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	12	11.76 12.24	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22 and	12	11.52/11.40 12.48/12.60	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	12	11.52/11.40 12.54/12.66	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 15\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

- (1) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in **Figure 21** and **Figure 22**, system performance will be as shown in **ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM2576, LM2576HV

www.ti.com

SNVS107C – JUNE 1999 – REVISED APRIL 2013

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-15, LM2576HV-15

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-15 LM2576HV-15		Units (Limits)
			Typ	Limit ⁽¹⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 21 and Figure 22 ⁽²⁾					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	15	14.70 15.30	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	15	14.40/14.25 15.60/15.75	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	15	14.40/14.25 15.68/15.83	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 18\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

- (1) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in **Figure 21** and **Figure 22**, system performance will be as shown in **ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS**.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-ADJ LM2576HV-ADJ		Units (Limits)
			Typ	Limit ⁽¹⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 21 and Figure 22 ⁽²⁾					
V_{OUT}	Feedback Voltage	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 21 and Figure 22	1.230	1.217 1.243	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Feedback Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 21 and Figure 22	1.230	1.193/1.180 1.267/1.280	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Feedback Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 21 and Figure 22	1.230	1.193/1.180 1.273/1.285	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$, $V_{OUT} = 5\text{V}$	77		%

- (1) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in **Figure 21** and **Figure 22**, system performance will be as shown in **ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

(Circuit of Figure 21 and Figure 22)

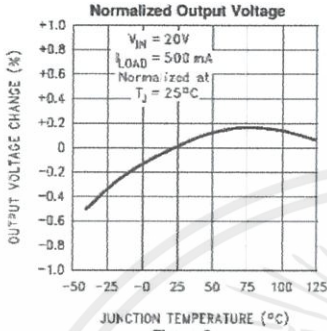


Figure 2.

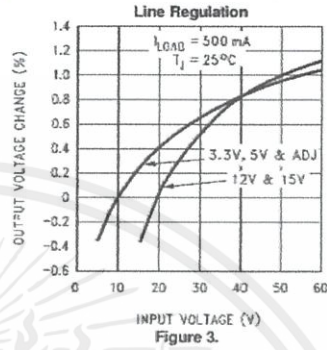


Figure 3.

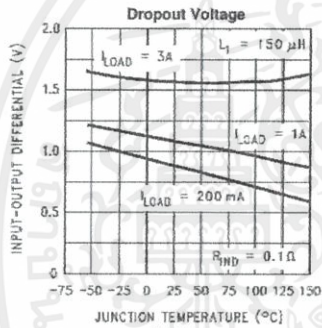


Figure 4.

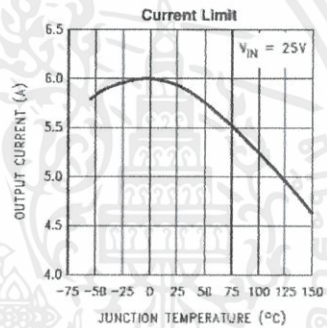


Figure 5.

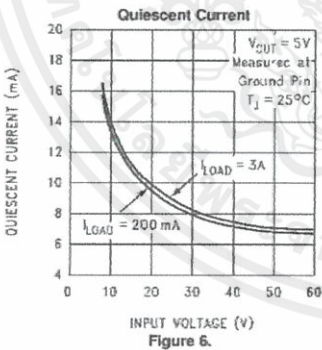


Figure 6.

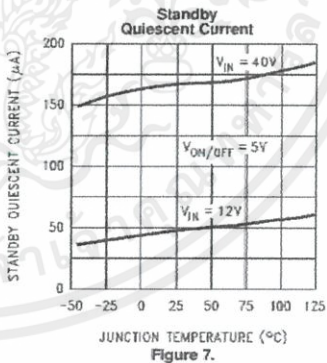


Figure 7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576, LM2576HV



SNVS107C—JUNE 1999—REVISED APRIL 2013

www.ti.com

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

(Circuit of Figure 21 and Figure 22)

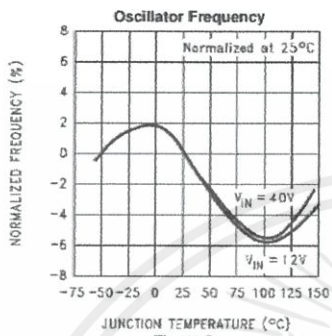


Figure 8.

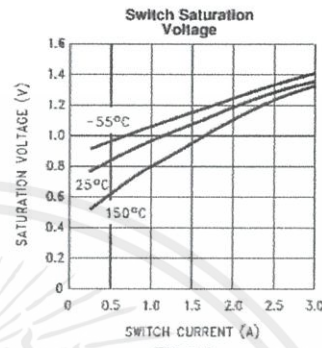


Figure 9.

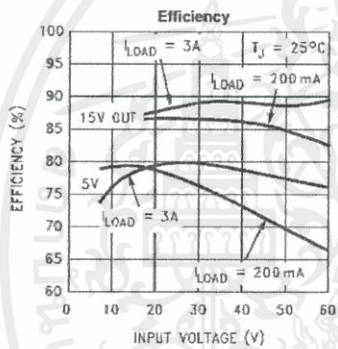


Figure 10.

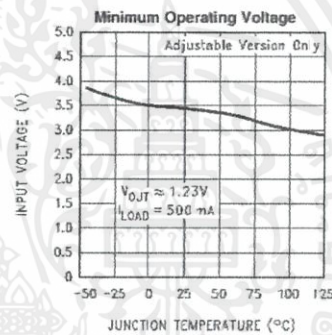


Figure 11.

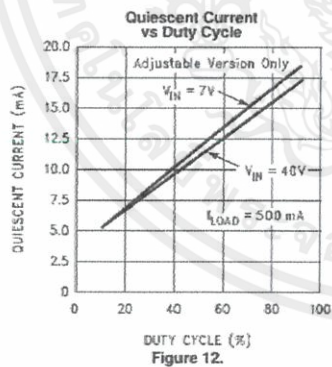


Figure 12.

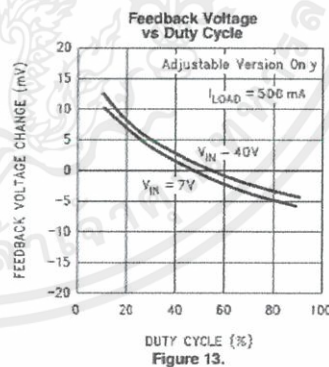
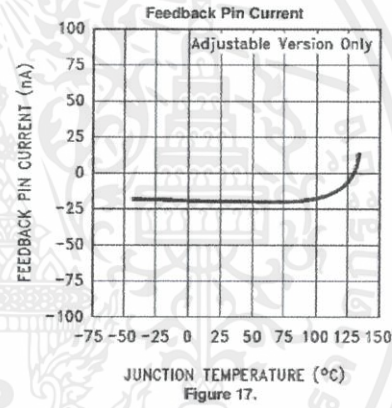
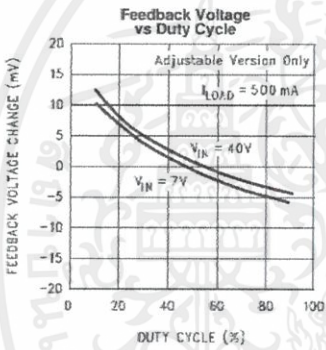
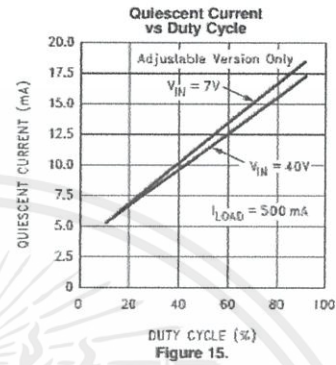
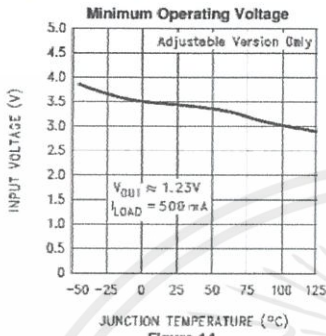


Figure 13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

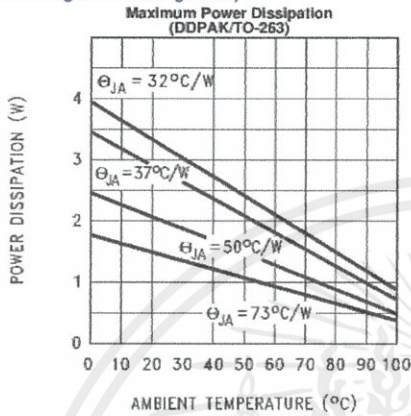
(Circuit of Figure 21 and Figure 22)



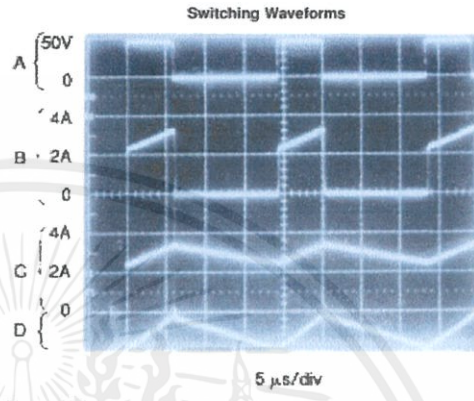
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

(Circuit of Figure 21 and Figure 22)



If the DDPK/TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area, θ_{JA} is 50°C/W, with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37°C/W, and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32°C/W.



$V_{out} = 15V$
 A: Output Pin Voltage, 50V/div
 B: Output Pin Current, 2A/div
 C: Inductor Current, 2A/div
 D: Output Ripple Voltage, 50 mV/div, AC-Coupled
 Horizontal Time Base: 5 µs/div

Figure 18.

Figure 19.

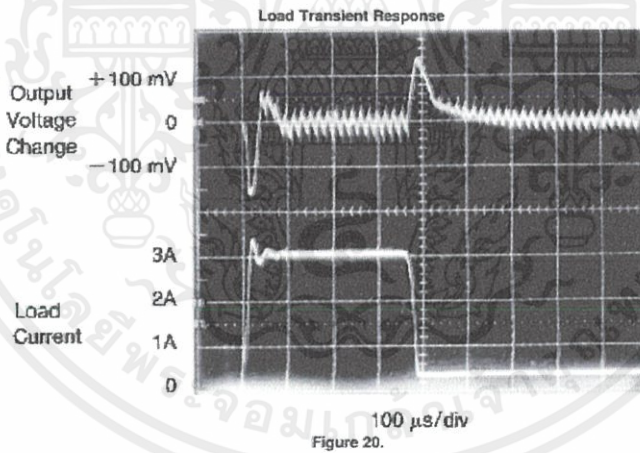
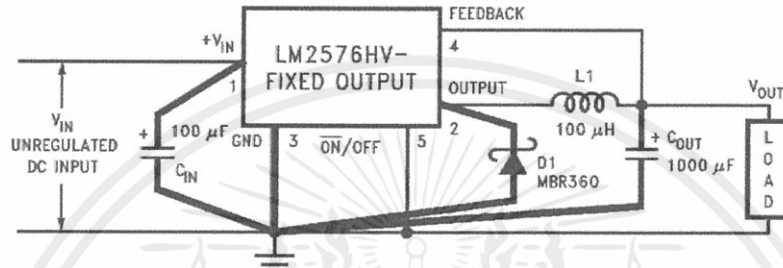


Figure 20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

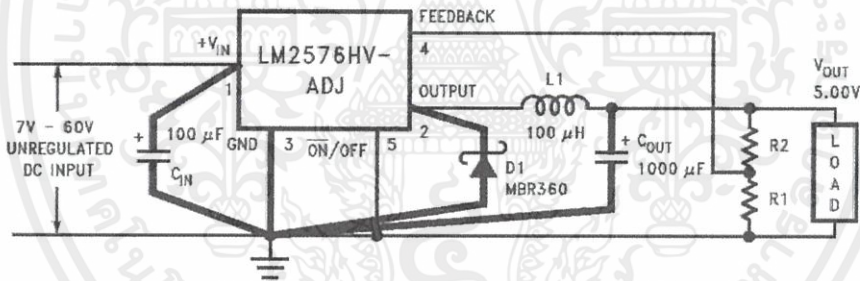
TEST CIRCUIT AND LAYOUT GUIDELINES

As in any switching regulator, layout is very important. Rapidly switching currents associated with wiring inductance generate voltage transients which can cause problems. For minimal inductance and ground loops, the length of the leads indicated by heavy lines should be kept as short as possible. Single-point grounding (as indicated) or ground plane construction should be used for best results. When using the Adjustable version, physically locate the programming resistors near the regulator, to keep the sensitive feedback wiring short.



C_{IN} — 100 μ F, 75V, Aluminum Electrolytic
 C_{OUT} — 1000 μ F, 25V, Aluminum Electrolytic
 D_1 — Schottky, MBR360
 L_1 — 100 μ H, Pulse Eng. PE-92108
 R_1 — 2k, 0.1%
 R_2 — 6.12k, 0.1%

Figure 21. Fixed Output Voltage Versions



$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

where

$V_{REF} = 1.23V$, R_1 between 1k and 5k

Figure 22. Adjustable Output Voltage Version

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576, LM2576HV



SNVS107C—JUNE 1999—REVISED APRIL 2013

www.ti.com

LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure

PROCEDURE (Fixed Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Fixed Output Voltage Versions)
<p>Given: V_{OUT} = Regulated Output Voltage (3.3V, 5V, 12V, or 15V) $V_{IN(Max)}$ = Maximum Input Voltage $I_{LOAD(Max)}$ = Maximum Load Current</p>	<p>Given: V_{OUT} = 5V $V_{IN(Max)}$ = 15V $I_{LOAD(Max)}$ = 3A</p>
<p>1. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Select the correct inductor value selection guide from Figure 23, Figure 24, Figure 25, or Figure 26. (Output voltages of 3.3V, 5V, 12V or 15V respectively). For other output voltages, see the design procedure for the adjustable version.</p> <p>B. From the inductor value selection guide, identify the inductance region intersected by $V_{IN(Max)}$ and $I_{LOAD(Max)}$, and note the inductor code for that region.</p> <p>C. Identify the inductor value from the inductor code, and select an appropriate inductor from the table shown in Figure 23. Part numbers are listed for three inductor manufacturers. The inductor chosen must be rated for operation at the LM2576 switching frequency (52 kHz) and for a current rating of $1.15 \times I_{LOAD}$. For additional inductor information, see INDUCTOR SELECTION.</p>	<p>1. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Use the selection guide shown in Figure 24.</p> <p>B. From the selection guide, the inductance area intersected by the 15V line and 3A line is L100.</p> <p>C. Inductor value required is 100 μH. From the table in Figure 23, Choose AIE 415-0930, Pulse Engineering PE92108, or Renco RL2444.</p>
<p>2. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. The value of the output capacitor together with the inductor defines the dominate pole-pair of the switching regulator loop. For stable operation and an acceptable output ripple voltage, (approximately 1% of the output voltage) a value between 100 μF and 470 μF is recommended.</p> <p>B. The capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 5V regulator, a rating of at least 8V is appropriate, and a 10V or 15V rating is recommended.</p> <p>Higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR numbers, and for this reason it may be necessary to select a capacitor rated for a higher voltage than would normally be needed.</p>	<p>2. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. C_{OUT} = 680 μF to 2000 μF standard aluminum electrolytic.</p> <p>B. Capacitor voltage rating = 20V.</p>
<p>3. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. The catch-diode current rating must be at least 1.2 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2576. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output condition.</p> <p>B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p>	<p>3. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. For this example, a 3A current rating is adequate.</p> <p>B. Use a 20V 1N5823 or SR302 Schottky diode, or any of the suggested fast-recovery diodes shown in Table 1.</p>
<p>4. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>An aluminum or tantalum electrolytic bypass capacitor located close to the regulator is needed for stable operation.</p>	<p>4. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>A 100 μF, 25V aluminum electrolytic capacitor located near the input and ground pins provides sufficient bypassing.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDUCTOR VALUE SELECTION GUIDES

(For Continuous Mode Operation)

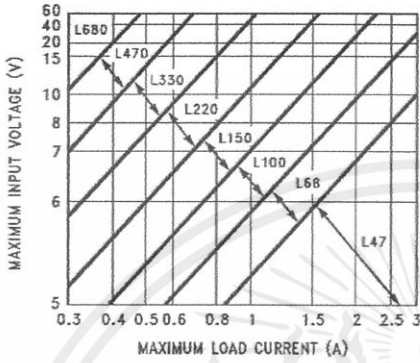


Figure 23. LM2576(HV)-3.3

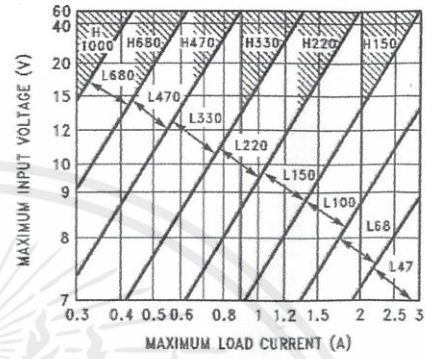


Figure 24. LM2576(HV)-5.0

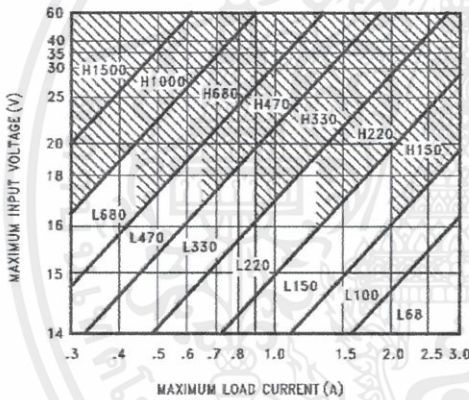


Figure 25. LM2576(HV)-12

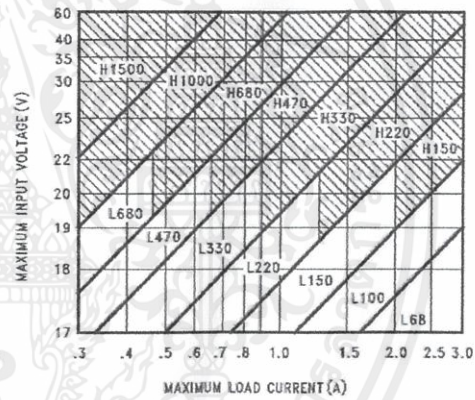


Figure 26. LM2576(HV)-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576, LM2576HV



SNVS107C—JUNE 1999—REVISED APRIL 2013

www.ti.com

(For Continuous Mode Operation)

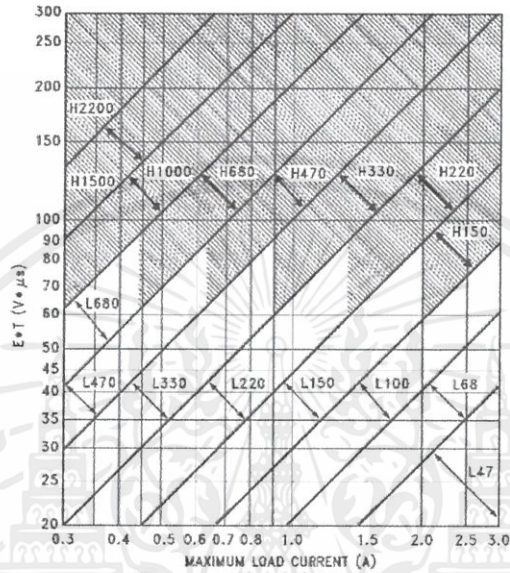


Figure 27. LM2576(HV)-ADJ

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Versions)
<p>Given: V_{OUT} = Regulated Output Voltage $V_{IN(Max)}$ = Maximum Input Voltage $I_{LOAD(Max)}$ = Maximum Load Current F = Switching Frequency (Fixed at 52 kHz)</p>	<p>Given: V_{OUT} = 10V $V_{IN(Max)}$ = 25V $I_{LOAD(Max)}$ = 3A F = 52 kHz</p>
<p>1. Programming Output Voltage (Selecting R_1 and R_2, as shown in Figure 21 and Figure 22) Use the following formula to select the appropriate resistor values.</p> $V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{where } V_{REF} = 1.23V$ <p>R_1 can be between 1k and 5k. (For best temperature coefficient and stability with time, use 1% metal film resistors)</p> $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$	<p>1. Programming Output Voltage (Selecting R_1 and R_2)</p> $V_{OUT} = 1.23 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{Select } R_1 = 1k$ $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left(\frac{10V}{1.23V} - 1 \right)$ <p>$R_2 = 1k (8.13 - 1) = 7.13k$, closest 1% value is 7.15k</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(For Continuous Mode Operation)

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Versions)
<p>2. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant, E • T (V • μs), from the following formula:</p> $E \cdot T = (V_{IN} - V_{OUT}) \frac{V_{OUT}}{F} \frac{1000}{F} (V \cdot \mu s)$ <p>B. Use the E • T value from the previous formula and match it with the E • T number on the vertical axis of the Inductor Value Selection Guide shown in Figure 27.</p> <p>C. On the horizontal axis, select the maximum load current.</p> <p>D. Identify the inductance region intersected by the E • T value and the maximum load current value, and note the inductor code for that region.</p> <p>E. Identify the inductor value from the inductor code, and select an appropriate inductor from the table shown in Table 2. Part numbers are listed for three inductor manufacturers. The inductor chosen must be rated for operation at the LM2576 switching frequency (52 kHz) and for a current rating of $1.15 \times I_{LOAD}$. For additional inductor information, see INDUCTOR SELECTION.</p>	<p>2. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Calculate E • T (V • μs)</p> $E \cdot T = (25 - 10) \cdot \frac{10}{25} \cdot \frac{1000}{52} = 115 V \cdot \mu s$ <p>B. E • T = 115 V • μs</p> <p>C. $I_{LOAD(Max)} = 3A$</p> <p>D. Inductance Region = H150</p> <p>E. Inductor Value = 150 μH Choose from AIE part #415-0936 Pulse Engineering part #PE-531115, or Renco part #RL2445.</p>
<p>3. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. The value of the output capacitor together with the inductor defines the dominant pole-pair of the switching regulator loop. For stable operation, the capacitor must satisfy the following requirement:</p> $C_{OUT} \geq 13,300 \frac{V_{IN(Max)}}{V_{OUT} \cdot L(\mu H)} (\mu F)$ <p>The above formula yields capacitor values between 10 μF and 2200 μF that will satisfy the loop requirements for stable operation. But to achieve an acceptable output ripple voltage, (approximately 1% of the output voltage) and transient response, the output capacitor may need to be several times larger than the above formula yields.</p> <p>B. The capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 10V regulator, a rating of at least 15V or more is recommended. Higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR numbers, and for this reason it may be necessary to select a capacitor rate for a higher voltage than would normally be needed.</p>	<p>3. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> $C_{OUT} > 13,300 \frac{25}{10 \cdot 150} = 22.2 \mu F$ <p>However, for acceptable output ripple voltage select</p> <p>C_{OUT} ≥ 680 μF</p> <p>C_{OUT} = 680 μF electrolytic capacitor</p>
<p>4. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. The catch-diode current rating must be at least 1.2 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2576. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output. See Table 1.</p> <p>B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p>	<p>4. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. For this example, a 3.3A current rating is adequate.</p> <p>B. Use a 30V 31DQ03 Schottky diode, or any of the suggested fast-recovery diodes in Table 1.</p>
<p>5. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>An aluminum or tantalum electrolytic bypass capacitor located close to the regulator is needed for stable operation.</p>	<p>5. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>A 100 μF aluminum electrolytic capacitor located near the input and ground pins provides sufficient bypassing.</p>

To further simplify the buck regulator design procedure, TI is making available computer design software to be used with the **SIMPLE SWITCHER** line of switching regulators. **Switchers Made Simple (Version 3.3)** is available on a (3½") diskette for IBM compatible computers from a TI office in your area.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576, LM2576HV



SNVS107C—JUNE 1999—REVISED APRIL 2013

www.ti.com

Table 1. Diode Selection Guide

V _R	Schottky		Fast Recovery	
	3A	4A–6A	3A	4A–6A
20V	1N5820 MBR320P SR302	1N5823	The following diodes are all rated to 100V 31DF1 HER302	The following diodes are all rated to 100V 50WF10 MUR410 HER602
30V	1N5821 MBR330 31DQ03 SR303	50WQ03 1N5824		
40V	1N5822 MBR340 31DQ04 SR304	MBR340 50WQ04 1N5825		
50V	MBR350 31DQ05 SR305	50WQ05		
60V	MBR360	50WR06		
	DQ06 SR306	50SQ060		

Table 2. Inductor Selection by Manufacturer's Part Number

Inductor Code	Inductor Value	Schott ⁽¹⁾	Pulse Eng. ⁽²⁾	Renco ⁽³⁾
L47	47 µH	671 26980	PE-53112	RL2442
L68	68 µH	671 26990	PE-92114	RL2443
L100	100 µH	671 27000	PE-92108	RL2444
L150	150 µH	671 27010	PE-53113	RL1954
L220	220 µH	671 27020	PE-52626	RL1953
L330	330 µH	671 27030	PE-52627	RL1952
L470	470 µH	671 27040	PE-53114	RL1951
L680	680 µH	671 27050	PE-52629	RL1950
H150	150 µH	671 27060	PE-53115	RL2445
H220	220 µH	671 27070	PE-53116	RL2446
H330	330 µH	671 27080	PE-53117	RL2447
H470	470 µH	671 27090	PE-53118	RL1961
H680	680 µH	671 27100	PE-53119	RL1960
H1000	1000 µH	671 27110	PE-53120	RL1959
H1500	1500 µH	671 27120	PE-53121	RL1958
H2200	2200 µH	671 27130	PE-53122	RL2448

(1) Schott Corporation, (612) 475-1173, 1000 Parkers Lake Road, Wayzata, MN 55391.

(2) Pulse Engineering, (619) 674-8100, P.O. Box 12235, San Diego, CA 92112.

(3) Renco Electronics Incorporated, (516) 586-5566, 60 Jeffry Blvd. East, Deer Park, NY 11729.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576, LM2576HV



SNVS107C—JUNE 1999—REVISED APRIL 2013

www.ti.com

When using a heat sink, the junction temperature rise can be determined by the following:

$$\Delta T_J = (P_D) (\theta_{JC} + \theta_{interface} + \theta_{Heat\ sink}) \quad (6)$$

The operating junction temperature will be:

$$T_J = T_A + \Delta T_J \quad (7)$$

As in Equation 14, if the actual operating junction temperature is greater than the selected safe operating junction temperature, then a larger heat sink is required (one that has a lower thermal resistance).

Included on the **Switcher Made Simple** design software is a more precise (non-linear) thermal model that can be used to determine junction temperature with different input-output parameters or different component values. It can also calculate the heat sink thermal resistance required to maintain the regulators junction temperature below the maximum operating temperature.

Additional Applications

INVERTING REGULATOR

Figure 28 shows a LM2576-12 in a buck-boost configuration to generate a negative 12V output from a positive input voltage. This circuit bootstraps the regulator's ground pin to the negative output voltage, then by grounding the feedback pin, the regulator senses the inverted output voltage and regulates it to -12V.

For an input voltage of 12V or more, the maximum available output current in this configuration is approximately 700 mA. At lighter loads, the minimum input voltage required drops to approximately 4.7V.

The switch currents in this buck-boost configuration are higher than in the standard buck-mode design, thus lowering the available output current. Also, the start-up input current of the buck-boost converter is higher than the standard buck-mode regulator, and this may overload an input power source with a current limit less than 5A. Using a delayed turn-on or an undervoltage lockout circuit (described in **NEGATIVE BOOST REGULATOR**) would allow the input voltage to rise to a high enough level before the switcher would be allowed to turn on.

Because of the structural differences between the buck and the buck-boost regulator topologies, the buck regulator design procedure section can not be used to select the inductor or the output capacitor. The recommended range of inductor values for the buck-boost design is between 68 μ H and 220 μ H, and the output capacitor values must be larger than what is normally required for buck designs. Low input voltages or high output currents require a large value output capacitor (in the thousands of micro Farads).

The peak inductor current, which is the same as the peak switch current, can be calculated from the following formula:

$$I_p = \frac{I_{LOAD} (V_{IN} + |V_O|) + \frac{V_{IN} |V_O|}{V_{IN} + |V_O|} \times \frac{1}{2L_1 f_{osc}}}{1} \quad (8)$$

where

- $f_{osc} = 52 \text{ kHz}$

Under normal continuous inductor current operating conditions, the minimum V_{IN} represents the worst case. Select an inductor that is rated for the peak current anticipated.

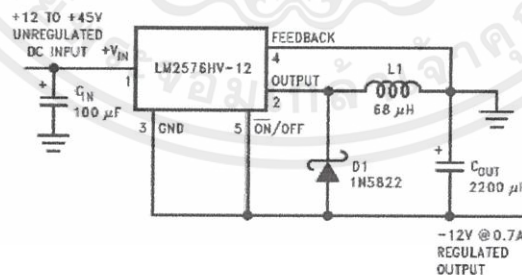


Figure 28. Inverting Buck-Boost Develops -12V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Also, the maximum voltage appearing across the regulator is the absolute sum of the input and output voltage. For a -12V output, the maximum input voltage for the LM2576 is $+28\text{V}$, or $+48\text{V}$ for the LM2576HV.

The *Switchers Made Simple* (version 3.0) design software can be used to determine the feasibility of regulator designs using different topologies, different input-output parameters, different components, and so on.

NEGATIVE BOOST REGULATOR

Another variation on the buck-boost topology is the negative boost configuration. The circuit in Figure 29 accepts an input voltage ranging from -5V to -12V and provides a regulated -12V output. Input voltages greater than -12V will cause the output to rise above -12V , but will not damage the regulator.

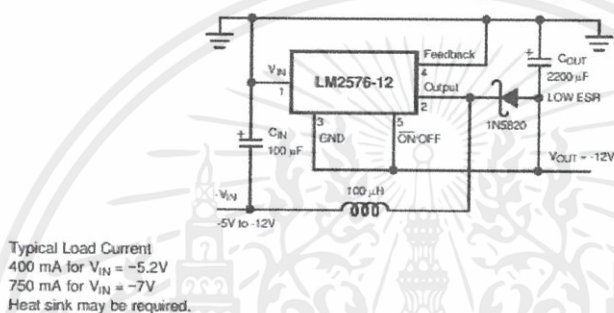


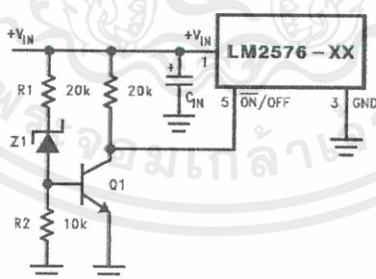
Figure 29. Negative Boost

Because of the boosting function of this type of regulator, the switch current is relatively high, especially at low input voltages. Output load current limitations are a result of the maximum current rating of the switch. Also, boost regulators can not provide current limiting load protection in the event of a shorted load, so some other means (such as a fuse) may be necessary.

UNDERVOLTAGE LOCKOUT

In some applications it is desirable to keep the regulator off until the input voltage reaches a certain threshold. An undervoltage lockout circuit which accomplishes this task is shown in Figure 30, while Figure 31 shows the same circuit applied to a buck-boost configuration. These circuits keep the regulator off until the input voltage reaches a predetermined level.

$$V_{TH} = V_{Z1} + 2V_{BE}(Q1)$$



Complete circuit not shown.

Figure 30. Undervoltage Lockout for Buck Circuit

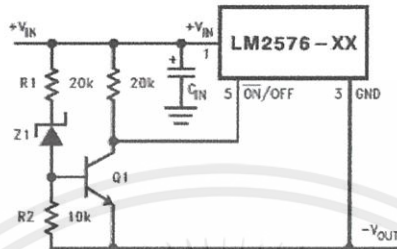
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576, LM2576HV



SNVS107C—JUNE 1999—REVISED APRIL 2013

www.ti.com



Complete circuit not shown (see Figure 28).

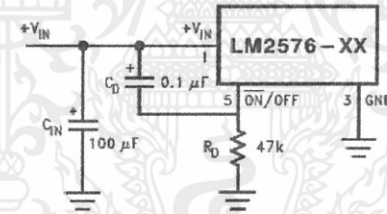
Figure 31. Undervoltage Lockout for Buck-Boost Circuit

DELAYED STARTUP

The $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ pin can be used to provide a delayed startup feature as shown in Figure 32. With an input voltage of 20V and for the part values shown, the circuit provides approximately 10 ms of delay time before the circuit begins switching. Increasing the RC time constant can provide longer delay times. But excessively large RC time constants can cause problems with input voltages that are high in 60 Hz or 120 Hz ripple, by coupling the ripple into the $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ pin.

ADJUSTABLE OUTPUT, LOW-RIPPLE POWER SUPPLY

A 3A power supply that features an adjustable output voltage is shown in Figure 33. An additional L-C filter that reduces the output ripple by a factor of 10 or more is included in this circuit.



Complete circuit not shown.

Figure 32. Delayed Startup

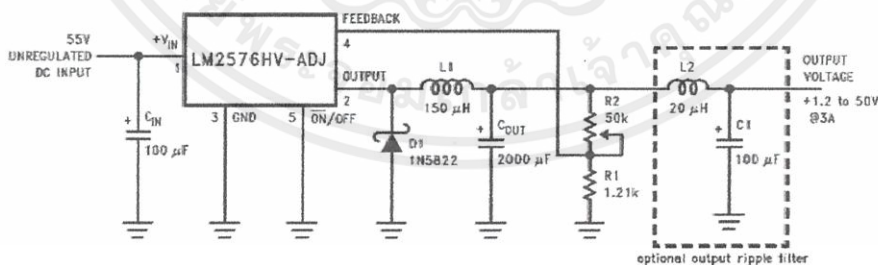


Figure 33. 1.2V to 55V Adjustable 3A Power Supply with Low Output Ripple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEFINITION OF TERMS

BUCK REGULATOR A switching regulator topology in which a higher voltage is converted to a lower voltage. Also known as a step-down switching regulator.

BUCK-BOOST REGULATOR A switching regulator topology in which a positive voltage is converted to a negative voltage without a transformer.

DUTY CYCLE (D) Ratio of the output switch's on-time to the oscillator period.

$$\begin{aligned} \text{for buck regulator} \quad D &= \frac{I_{ON}}{T} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \\ \text{for buck-boost regulator} \quad D &= \frac{I_{ON}}{T} = \frac{|V_{OL}|}{|V_{OL}| + V_{IN}} \end{aligned} \quad (9)$$

CATCH DIODE OR CURRENT STEERING DIODE The diode which provides a return path for the load current when the LM2576 switch is OFF.

EFFICIENCY (η) The proportion of input power actually delivered to the load.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{P_{OUT}}{P_{OUT} + P_{LOSS}} \quad (10)$$

CAPACITOR EQUIVALENT SERIES RESISTANCE (ESR) The purely resistive component of a real capacitor's impedance (see Figure 34). It causes power loss resulting in capacitor heating, which directly affects the capacitor's operating lifetime. When used as a switching regulator output filter, higher ESR values result in higher output ripple voltages.

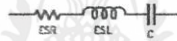


Figure 34. Simple Model of a Real Capacitor

Most standard aluminum electrolytic capacitors in the 100 μF –1000 μF range have 0.5 Ω to 0.1 Ω ESR. Higher-grade capacitors ("low-ESR", "high-frequency", or "low-inductance") in the 100 μF –1000 μF range generally have ESR of less than 0.15 Ω .

EQUIVALENT SERIES INDUCTANCE (ESL) The pure inductance component of a capacitor (see Figure 34). The amount of inductance is determined to a large extent on the capacitor's construction. In a buck regulator, this unwanted inductance causes voltage spikes to appear on the output.

OUTPUT RIPPLE VOLTAGE The AC component of the switching regulator's output voltage. It is usually dominated by the output capacitor's ESR multiplied by the inductor's ripple current (ΔI_{IND}). The peak-to-peak value of this sawtooth ripple current can be determined by reading the **INDUCTOR RIPPLE CURRENT** section.

CAPACITOR RIPPLE CURRENT RMS value of the maximum allowable alternating current at which a capacitor can be operated continuously at a specified temperature.

STANDBY QUIESCENT CURRENT (I_{STBY}) Supply current required by the LM2576 when in the standby mode (ON/OFF pin is driven to TTL-high voltage, thus turning the output switch OFF).

INDUCTOR RIPPLE CURRENT (ΔI_{IND}) The peak-to-peak value of the inductor current waveform, typically a sawtooth waveform when the regulator is operating in the continuous mode (vs. discontinuous mode).

CONTINUOUS/DISCONTINUOUS MODE OPERATION Relates to the inductor current. In the continuous mode, the inductor current is always flowing and never drops to zero, vs. the discontinuous mode, where the inductor current drops to zero for a period of time in the normal switching cycle.

INDUCTOR SATURATION The condition which exists when an inductor cannot hold any more magnetic flux. When an inductor saturates, the inductor appears less inductive and the resistive component dominates. Inductor current is then limited only by the DC resistance of the wire and the available source current.

OPERATING VOLT MICROSECOND CONSTANT ($E \cdot T_{OP}$) The product (in Volt $\cdot\mu\text{s}$) of the voltage applied to the inductor and the time the voltage is applied. This $E \cdot T_{OP}$ constant is a measure of the energy handling capability of an inductor and is dependent upon the type of core, the core area, the number of turns, and the duty cycle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576, LM2576HV



SNVS107C—JUNE 1999—REVISED APRIL 2013

www.ti.com

Connection Diagrams

(XX indicates output voltage option.)

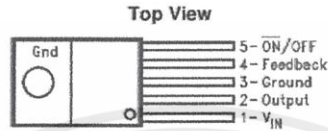


Figure 35. Straight Leads
5-Lead TO-220 (T) Package
LM2576T-XX or LM2576HVT-XX
See Package Number KC0005A

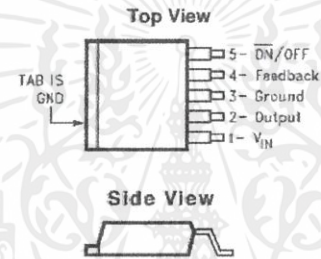


Figure 36. DPAK/TO-263 (S) Package
5-Lead Surface-Mount Package
LM2576S-XX or LM2576HVS-XX
See Package Number KTT0005B
LM2576SX-XX or LM2576HVSX-XX
See Package Number KTT0005B

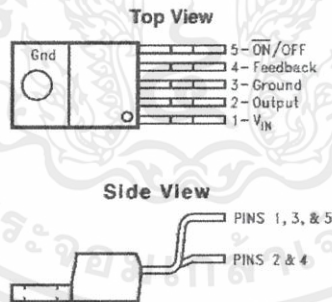


Figure 37. Bent, Staggered Leads
5-Lead TO-220 (T) Package
LM2576T-XX Flow LB03
or LM2576HVT-XX Flow LB03
See Package Number NDH0005D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



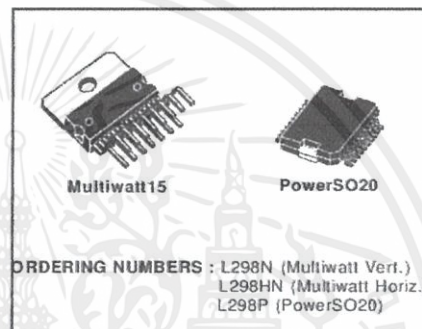
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

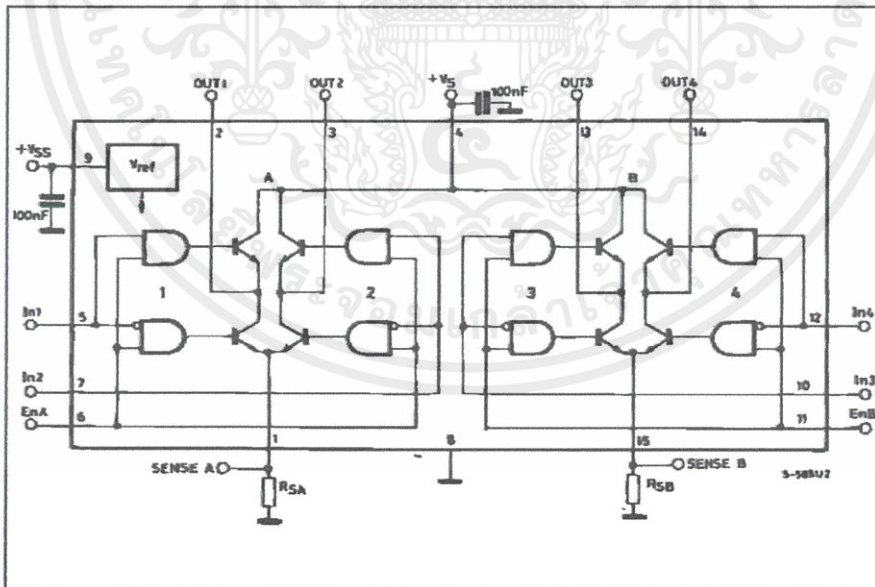
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM



January 2000

1/13

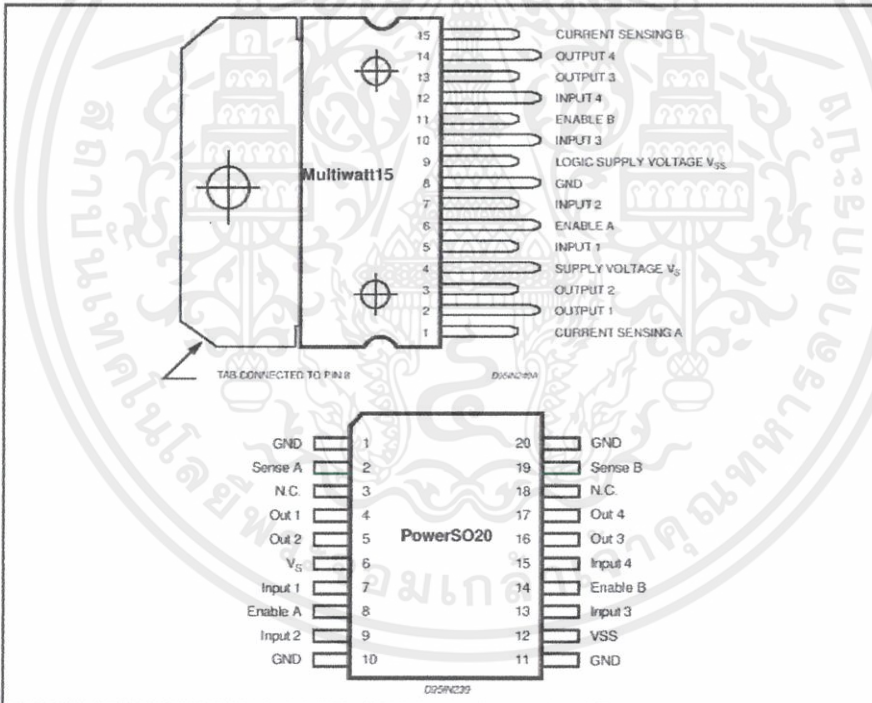
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I, V_{Eff}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	- DC Operation	2	A
V_{Sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_J	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max. —	3	$^\circ C/W$
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _I = L V _I = H		13 50	22 70	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = L V _I = X V _I = H V _I = X			4 12 6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _L	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = L			-10	μA
I _H	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{CEsat(H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V
V _{CEsat(L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V
V _{sense}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$T_1 (V_i)$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		1.5		μs
$T_2 (V_i)$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.2		μs
$T_3 (V_i)$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		2		μs
$T_4 (V_i)$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.7		μs
$T_5 (V_i)$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.7		μs
$T_6 (V_i)$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
$T_7 (V_i)$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		1.6		μs
$T_8 (V_i)$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.2		μs
$f_c (V_i)$	Commutation Frequency	$I_L = 2A$		25	40	KHz
$T_1 (V_{en})$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		3		μs
$T_2 (V_{en})$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		1		μs
$T_3 (V_{en})$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.3		μs
$T_4 (V_{en})$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.4		μs
$T_5 (V_{en})$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		2.2		μs
$T_6 (V_{en})$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.35		μs
$T_7 (V_{en})$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
$T_8 (V_{en})$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.1		μs

- 1) Sensing voltage can be $-1V$ for $t \leq 50 \mu s$; In steady state $V_{sens, min} \geq -0.5V$
 2) See fig. 2
 3) See fig. 4
 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

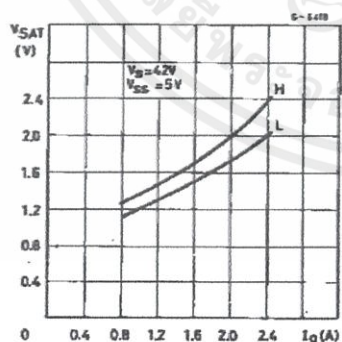
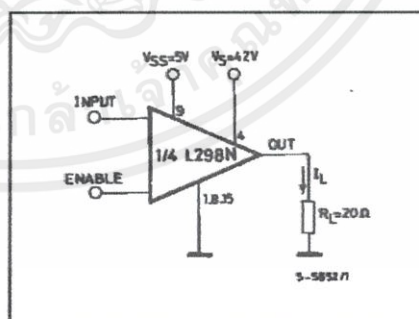


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note: For INPUT Switching, set EN = H
 For ENABLE Switching, set IN = H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

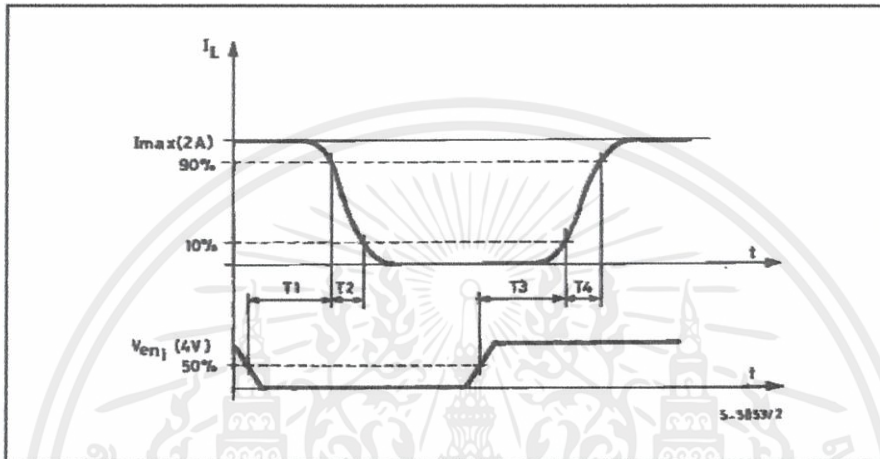
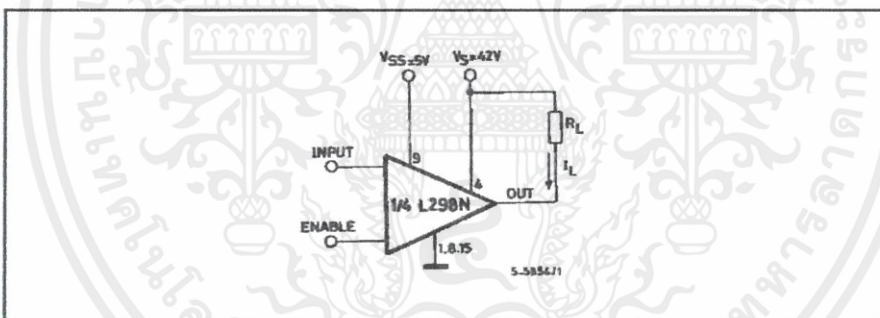


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

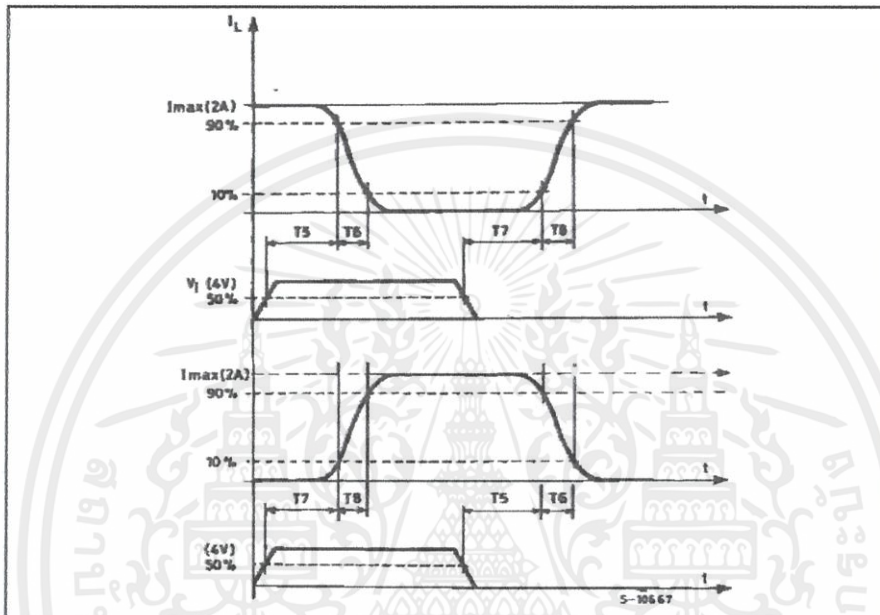
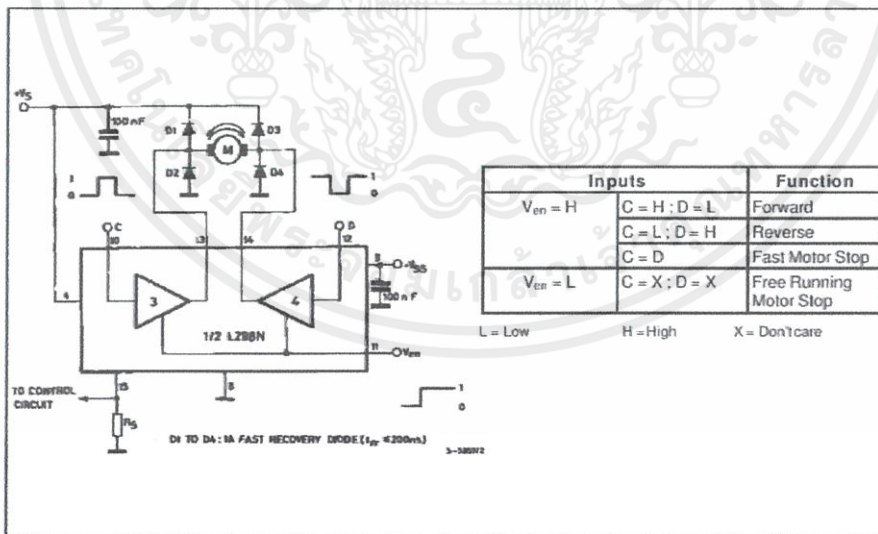


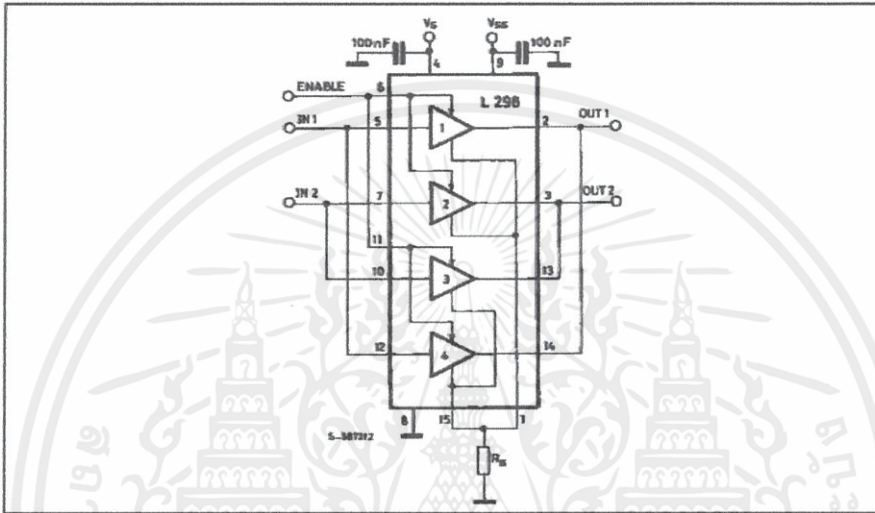
Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are $In1$; $In2$; EnA and $In3$; $In4$; EnB . The In inputs set the bridge state when The En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_s and V_{ss} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_s that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off: Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{rr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a V_F as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

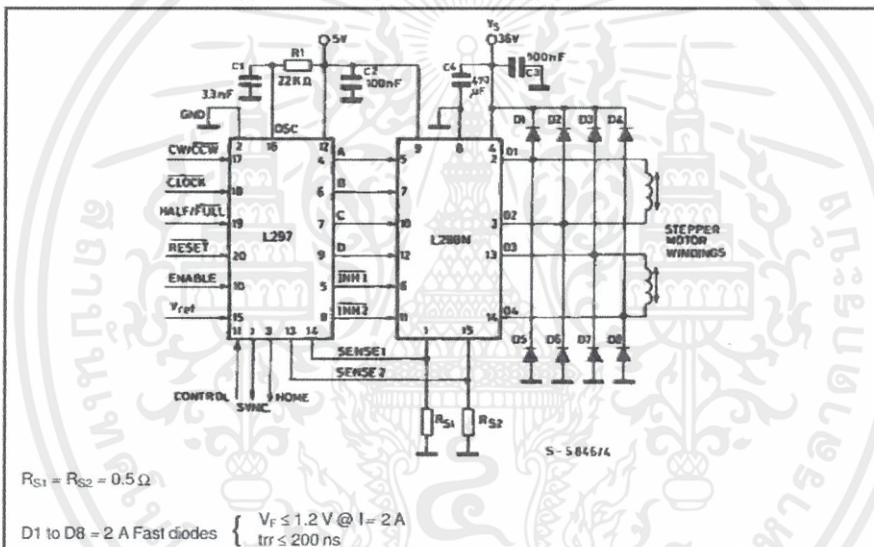


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

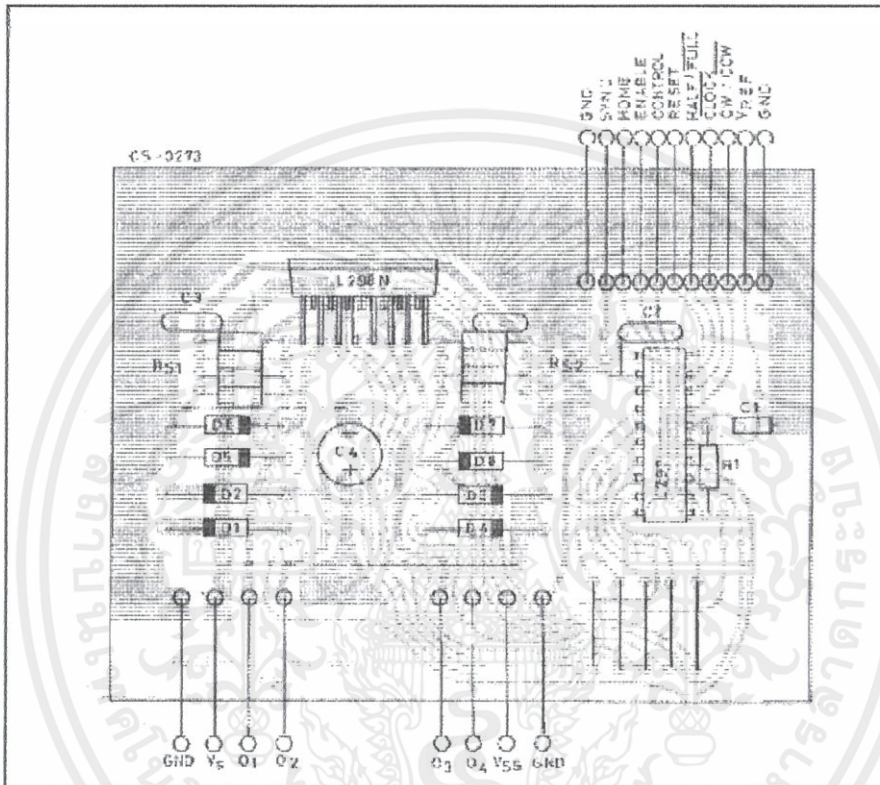
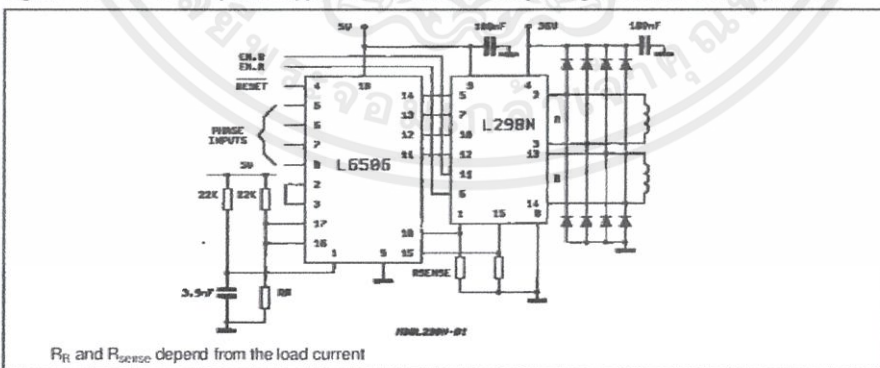


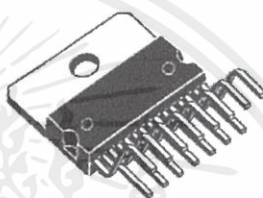
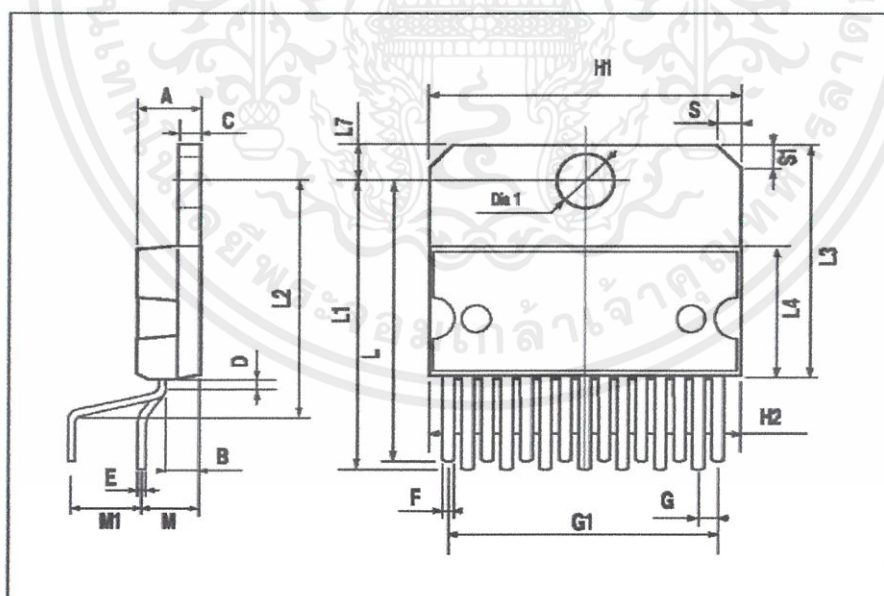
Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

**OUTLINE AND
MECHANICAL DATA**

Multiwatt15 V


10/13

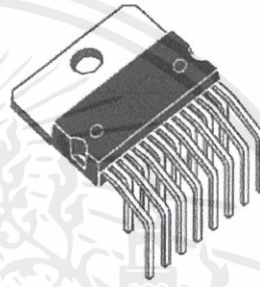


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

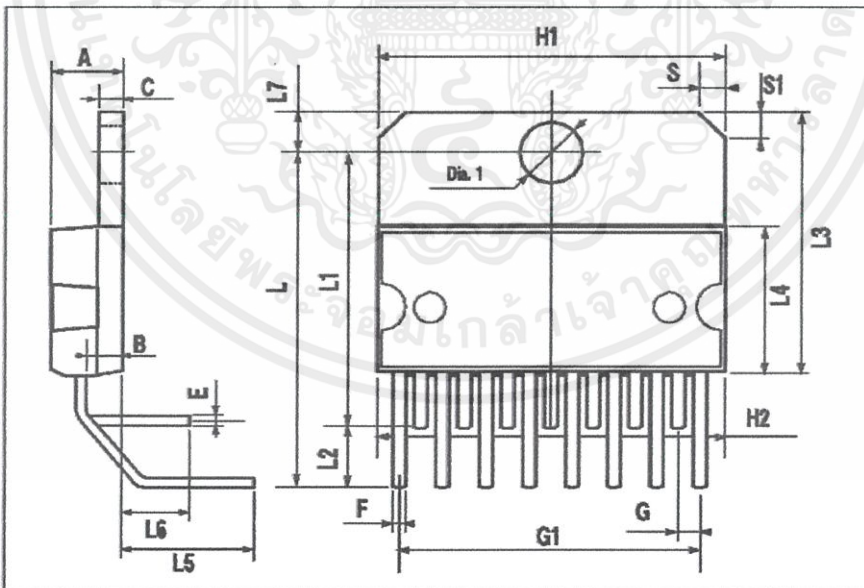
L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 H



11/13

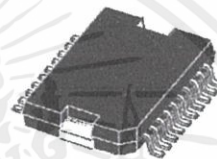
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (f)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (t)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N			10 ² (max.)			
S			8 ² (max.)			
T		10			0.394	

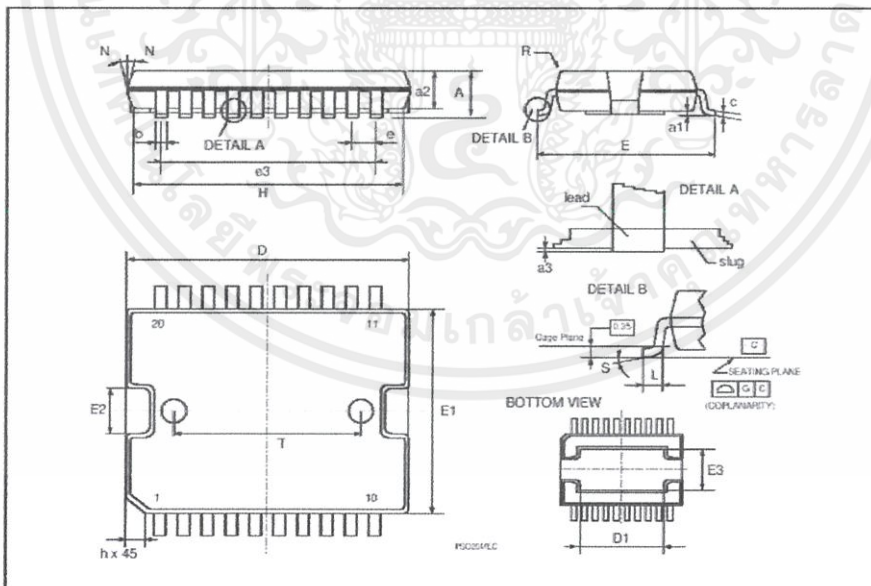
(1) "D" and "E" do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20



12/13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

Board Hx711



HX711

24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of $\pm 20\text{mV}$ or $\pm 40\text{mV}$ respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface initialization.

There is no programming needed for the internal registers. All controls to the HX711 are through the pins.

FEATURES

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator:
 - normal operation $< 1.5\text{mA}$, power down $< 1\mu\text{A}$
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- Operation temperature range: $-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$
- 16 pin SOP-16 package

APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

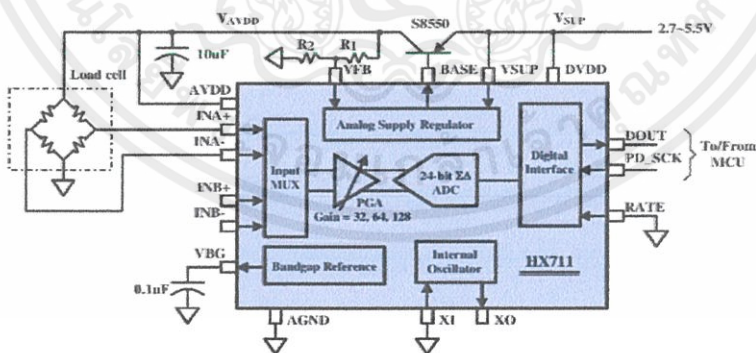


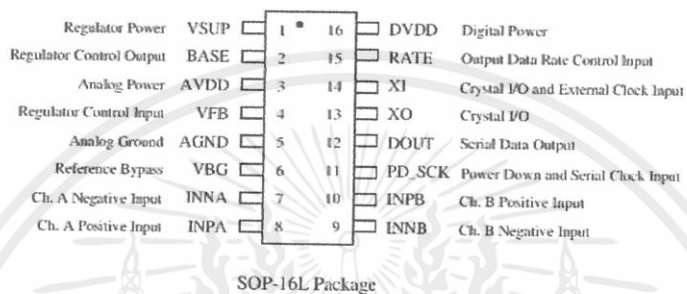
Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

TEL: (592) 252-9530 (P. R. China)
EMAIL: market@aviaic.com

AVIA SEMICONDUCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Description



Pin #	Name	Function	Description
1	VSUP	Power	Regulator supply: 2.7 ~ 5.5V
2	BASE	Analog Output	Regulator control output (NC when not used)
3	AVDD	Power	Analog supply: 2.6 ~ 5.5V
4	VFB	Analog Input	Regulator control input (connect to AGND when not used)
5	AGND	Ground	Analog Ground
6	VBG	Analog Output	Reference bypass output
7	INA-	Analog Input	Channel A negative input
8	INA+	Analog Input	Channel A positive input
9	INB-	Analog Input	Channel B negative input
10	INB+	Analog Input	Channel B positive input
11	PD_SCK	Digital Input	Power down control (high active) and serial clock input
12	DOUT	Digital Output	Serial data output
13	XO	Digital I/O	Crystal I/O (NC when not used)
14	XI	Digital Input	Crystal I/O or external clock input. 0: use on-chip oscillator
15	RATE	Digital Input	Output data rate control. 0: 10Hz; 1: 80Hz
16	DVDD	Power	Digital supply: 2.6 ~ 5.5V

Table 1 Pin Description

KEY ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Parameter	Notes	MIN	TYP	MAX	UNIT
Full scale differential input range	V(inp)-V(inn)	$\pm 0.5(AVDD/GAIN)$			V
Common mode input		AGND+1.2		AVDD-1.3	V
Output data rate	Internal Oscillator, RATE = 0		10		Hz
	Internal Oscillator, RATE = DVDD		80		
	Crystal or external clock, RATE = 0		$f_{clk}/1,105,920$		
	Crystal or external clock, RATE = DVDD		$f_{clk}/138,240$		
Output data coding	2's complement	800000		7FFFFFFF	HEX
Output settling time ⁽¹⁾	RATE = 0		400		ms
	RATE = DVDD		50		
Input offset drift	Gain = 128		0.2		mV
	Gain = 64		0.4		
Input noise	Gain = 128, RATE = 0		50		nV(rms)
	Gain = 128, RATE = DVDD		90		
Temperature drift	Input offset (Gain = 128)		± 6		nV/°C
	Gain (Gain = 128)		± 5		
Input common mode rejection	Gain = 128, RATE = 0		100		dB
Power supply rejection	Gain = 128, RATE = 0		100		dB
Reference bypass (V _{BG})			1.25		V
Crystal or external clock frequency		1	11.0592	20	MHz
Power supply voltage	DVDD	2.6		5.5	V
	AVDD, VSUP	2.6		5.5	
Analog supply current (including regulator)	Normal		1400		μ A
	Power down		0.3		
Digital supply current	Normal		100		μ A
	Power down		0.2		

(1) Settling time refers to the time from power up, reset, input channel change and gain change to valid stable output data.

Table 2 Key Electrical Characteristics

Analog Inputs

Channel A differential input is designed to interface directly with a bridge sensor's differential output. It can be programmed with a gain of 128 or 64. The large gains are needed to accommodate the small output signal from the sensor. When 5V supply is used at the AVDD pin, these gains correspond to a full-scale differential input voltage of $\pm 20\text{mV}$ or $\pm 40\text{mV}$ respectively.

Channel B differential input has a fixed gain of 32. The full-scale input voltage range is $\pm 80\text{mV}$, when 5V supply is used at the AVDD pin.

Power Supply Options

Digital power supply (DVDD) should be the same power supply as the MCU power supply.

When using internal analog supply regulator, the dropout voltage of the regulator depends on the external transistor used. The output voltage is equal to $V_{AVDD} = V_{BG} \cdot (R1+R2) / R1$ (Fig. 1). This voltage should be designed with a minimum of 100mV below VSUP voltage.

If the on-chip analog supply regulator is not used, the VSUP pin should be connected to either AVDD or DVDD, depending on which voltage is higher. Pin VFB should be connected to Ground and pin BASE becomes NC. The external 0.1uF bypass capacitor shown on Fig. 1 at the VBG output pin is then not needed.

Clock Source Options

By connecting pin XI to Ground, the on-chip oscillator is activated. The nominal output data rate when using the internal oscillator is 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

If accurate output data rate is needed, crystal or external reference clock can be used. A crystal can be directly connected across XI and XO pins. An external clock can be connected to XI pin, through a 20pF ac coupled capacitor. This external clock is not required to be a square wave. It can come directly from the crystal output pin of the MCU chip, with amplitude as low as 150 mV.

When using a crystal or an external clock, the internal oscillator is automatically powered down.

Output Data Rate and Format

When using the on-chip oscillator, output data rate is typically 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

When using external clock or crystal, output data rate is directly proportional to the clock or crystal frequency. Using 11.0592MHz clock or crystal results in an accurate 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1) output data rate.

The output 24 bits of data is in 2's complement format. When input differential signal goes out of the 24 bit range, the output data will be saturated at 800000h (MIN) or 7FFFFFFh (MAX), until the input signal comes back to the input range.

Serial Interface

Pin PD_SCK and DOUT are used for data retrieval, input selection, gain selection and power down controls.

When output data is not ready for retrieval, digital output pin DOUT is high. Serial clock input PD_SCK should be low. When DOUT goes to low, it indicates data is ready for retrieval. By applying 25~27 positive clock pulses at the PD_SCK pin, data is shifted out from the DOUT output pin. Each PD_SCK pulse shifts out one bit, starting with the MSB bit first, until all 24 bits are shifted out. The 25th pulse at PD_SCK input will pull DOUT pin back to high (Fig.2).

Input and gain selection is controlled by the number of the input PD_SCK pulses (Table 3). PD_SCK clock pulses should not be less than 25 or more than 27 within one conversion period, to avoid causing serial communication error.

PD_SCK Pulses	Input channel	Gain
25	A	128
26	B	32
27	A	64

Table 3 Input Channel and Gain Selection

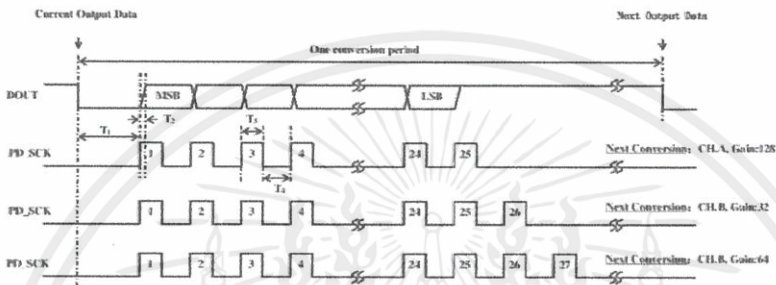


Fig.2 Data output, input and gain selection timing and control

Symbol	Note	MIN	TYP	MAX	Unit
T ₁	DOUT falling edge to PD_SCK rising edge	0.1			μs
T ₂	PD_SCK rising edge to DOUT data ready			0.1	μs
T ₃	PD_SCK high time	0.2	1	50	μs
T ₄	PD_SCK low time	0.2	1		μs

Reset and Power-Down

When chip is powered up, on-chip power on reset circuitry will reset the chip.

Pin PD_SCK input is used to power down the HX711. When PD_SCK Input is low, chip is in normal working mode.

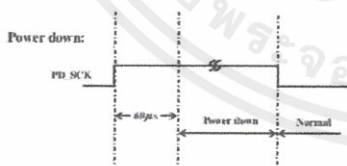


Fig.3 Power down control

When PD_SCK pin changes from low to high and stays at high for longer than 60μs, HX711 enters power down mode (Fig.3). When internal regulator is used for HX711 and the external transducer, both HX711 and the transducer will be

powered down. When PD_SCK returns to low, chip will reset and enter normal operation mode.

After a reset or power-down event, input selection is default to Channel A with a gain of 128.

Application Example

Fig.1 is a typical weigh scale application using HX711. It uses on-chip oscillator (XI=0), 10Hz output data rate (RATE=0). A Single power supply (2.7~5.5V) comes directly from MCU power supply. Channel B can be used for battery level detection. The related circuitry is not shown on Fig. 1.

Reference PCB Board (Single Layer)

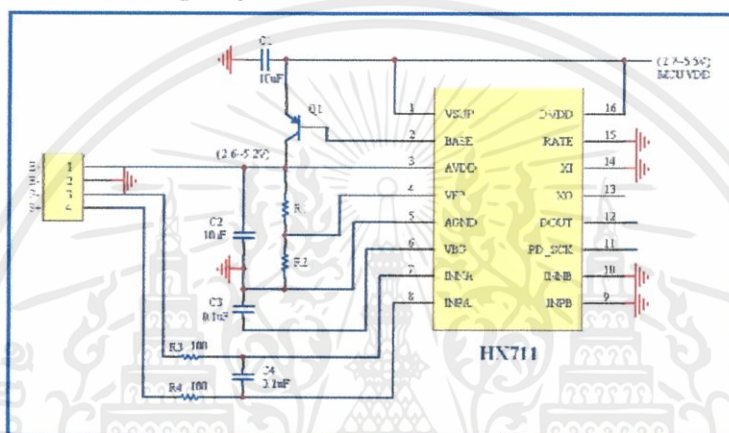


Fig.4 Reference PCB board schematic

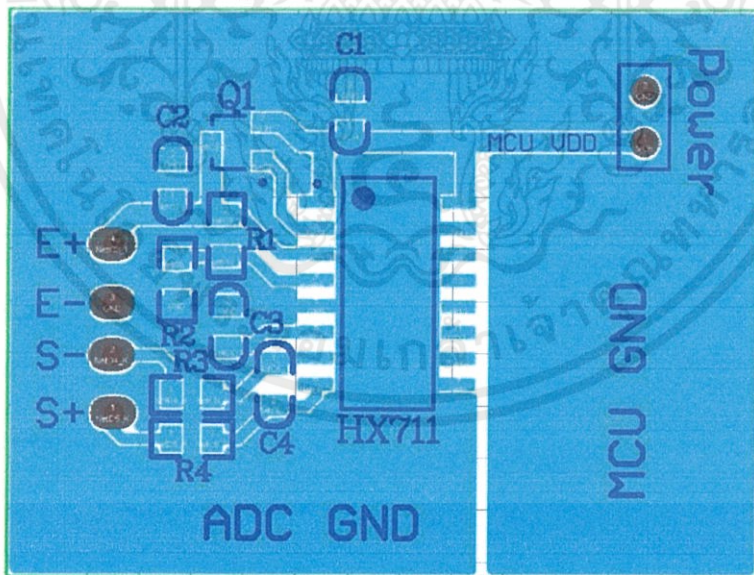


Fig.5 Reference PCB board layout

Reference Driver (Assembly)

```

/*
Call from ASM:      LOCAL ReadAD
Call from C:      extern unsigned long ReadAD(void);
.
.
.
unsigned long data;
data=ReadAD();
.
.
PUBLIC      ReadAD
HX711ROM   segment code
rseg       HX711ROM
sbit       ADD0 = P1.5;
sbit       ADSK = P0.0;
/*
OUT:      R4, R5, R6, R7      R7->LSB
.
ReadAD:
CLR       ADSK                //AD Enable (PD_SCK set low)
SETB     ADD0                //Enable 51CPU I/O
JB       ADD0, $              //AD conversion completed?
MOV      R4, #24
ShiftOut:
SETB     ADSK                //PD_SCK set high (positive pulse)
NOP
CLR       ADSK                //PD_SCK set low
MOV      C, ADD0              //read on bit
XCH      A, R7                //move data
RLC      A
XCH      A, R7
XCH      A, R6
RLC      A
XCH      A, R6
XCH      A, R5
RLC      A
XCH      A, R5
DJNZ    R4, ShiftOut          //moved 24BIT?
SETB     ADSK
NOP
CLR       ADSK
RET
END

```

ภาคผนวก จ

Can Transceiver



SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232

www.ti.com

SLOS346K—MARCH 2001—REVISED FEBRUARY 2011

3.3-V CAN TRANSCEIVERS

Check for Samples: SN65HVD230, SN65HVD231, SN65HVD232

FEATURES

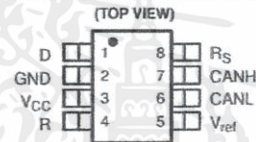
- Operates With a 3.3-V Supply
- Low Power Replacement for the PCA82C250 Footprint
- Bus/Pin ESD Protection Exceeds 16 kV HBM
- High Input Impedance Allows for 120 Nodes on a Bus
- Controlled Driver Output Transition Times for Improved Signal Quality on the SN65HVD230 and SN65HVD231
- Unpowered Node Does Not Disturb the Bus
- Compatible With the Requirements of the ISO 11898 Standard
- Low-Current SN65HVD230 Standby Mode 370 μ A Typical
- Low-Current SN65HVD231 Sleep Mode 40 nA Typical
- Designed for Signaling Rates⁽¹⁾ up to 1 Megabit/Second (Mbps)
- Thermal Shutdown Protection
- Open-Circuit Fail-Safe Design
- Glitch-Free Power-Up and Power-Down Protection for Hot-Plugging Applications

⁽¹⁾ The signaling rate of a line is the number of voltage transitions that are made per second expressed in the units bps (bits per second).

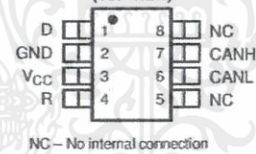
APPLICATIONS

- Motor Control
- Industrial Automation
- Basestation Control and Status
- Robotics
- Automotive
- UPS Control

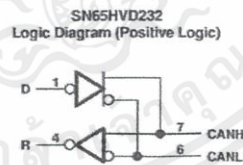
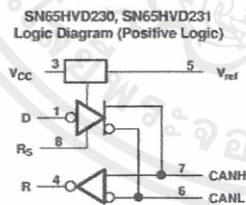
SN65HVD230D (Marked as VP230)
SN65HVD231D (Marked as VP231)



SN65HVD232D (Marked as VP232)



LOGIC DIAGRAM (POSITIVE LOGIC)



⚠ Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

TMS320Lx240x is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

© 2001–2011, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reference Driver (C)

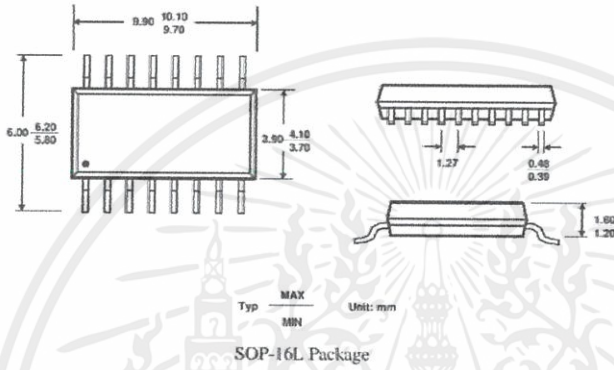
```

//
sbit ADD0 = P1^5;
sbit ADSK = P0^0;
unsigned long ReadCount(void){
    unsigned long Count;
    unsigned char i;
    ADD0=1;
    ADSK=0;
    Count=0;
    while(ADD0);
    for (i=0;i<21;i++){
        ADSK=1;
        Count=Count<<1;
        ADSK=0;
        if(ADD0) Count++;
    }
    ADSK=1;
    Count=Count^0x800000;
    ADSK=0;
    return(Count);
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232



SLOS346K—MARCH 2001—REVISED FEBRUARY 2011

www.ti.com



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.

DESCRIPTION

The SN65HVD230, SN65HVD231, and SN65HVD232 controller area network (CAN) transceivers are designed for use with the Texas Instruments TMS320Lx240x™ ; 3.3-V DSPs with CAN controllers, or with equivalent devices. They are intended for use in applications employing the CAN serial communication physical layer in accordance with the ISO 11898 standard. Each CAN transceiver is designed to provide differential transmit capability to the bus and differential receive capability to a CAN controller at speeds up to 1 Mbps.

Designed for operation in especially-harsh environments, these devices feature cross-wire protection, loss-of-ground and overvoltage protection, overtemperature protection, as well as wide common-mode range.

The transceiver interfaces the single-ended CAN controller with the differential CAN bus found in industrial, building automation, and automotive applications. It operates over a -2-V to 7-V common-mode range on the bus, and it can withstand common-mode transients of ± 25 V.

On the SN65HVD230 and SN65HVD231, pin 8 provides three different modes of operation: high-speed, slope control, and low-power modes. The high-speed mode of operation is selected by connecting pin 8 to ground, allowing the transmitter output transistors to switch on and off as fast as possible with no limitation on the rise and fall slopes. The rise and fall slopes can be adjusted by connecting a resistor to ground at pin 8, since the slope is proportional to the pin's output current. This slope control is implemented with external resistor values of 10 k Ω , to achieve a 15-V/ μ s slew rate, to 100 k Ω , to achieve a 2-V/ μ s slew rate. See the *Application Information* section of this data sheet.

The circuit of the SN65HVD230 enters a low-current standby mode during which the driver is switched off and the receiver remains active if a high logic level is applied to pin 8. The DSP controller reverses this low-current standby mode when a dominant state (bus differential voltage > 900 mV typical) occurs on the bus.

The unique difference between the SN65HVD230 and the SN65HVD231 is that both the driver and the receiver are switched off in the SN65HVD231 when a high logic level is applied to pin 8 and remain in this sleep mode until the circuit is reactivated by a low logic level on pin 8.

The V_{ref} pin 5 on the SN65HVD230 and SN65HVD231 is available as a $V_{CC}/2$ voltage reference.

The SN65HVD232 is a basic CAN transceiver with no added options; pins 5 and 8 are NC, no connection.

Table 1. AVAILABLE OPTIONS⁽¹⁾

PART NUMBER	LOW POWER MODE	INTEGRATED SLOPE CONTROL	V_{ref} PIN	T_A	MARKED AS:
SN65HVD230	Standby mode	Yes	Yes	40°C to 85°C	VP230
SN65HVD231	Sleep mode	Yes	Yes		VP231
SN65HVD232	No standby or sleep mode	No	No		VP232

(1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

FUNCTION TABLES

DRIVER (SN65HVD230, SN65HVD231) ⁽¹⁾				
INPUT D	R_S	OUTPUTS		BUS STATE
		CANH	CANL	
L	$V_{(RS)} < 1.2$ V	H	L	Dominant
H		Z	Z	Recessive
Open	X	Z	Z	Recessive
X	$V_{(RS)} > 0.75 V_{CC}$	Z	Z	Recessive

(1) H = high level; L = low level; X = irrelevant; ? = indeterminate; Z = high impedance

2 Submit Documentation Feedback

© 2001–2011, Texas Instruments Incorporated

Product Folder Link(s): [SN65HVD230](#) [SN65HVD231](#) [SN65HVD232](#)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232

www.ti.com

SLOS346K – MARCH 2001 – REVISED FEBRUARY 2011

Table 2.

DRIVER (SN65HVD232) ⁽¹⁾			
INPUT D	OUTPUTS		BUS STATE
	CANH	CANL	
L	H	L	Dominant
H	Z	Z	Recessive
Open	Z	Z	Recessive

(1) H = high level; L = low level; Z = high impedance

Table 3.

RECEIVER (SN65HVD230) ⁽¹⁾		
DIFFERENTIAL INPUTS	R _S	OUTPUT R
V _{ID} ≥ 0.9 V	X	L
0.5 V < V _{ID} < 0.9 V	X	?
V _{ID} ≤ 0.5 V	X	H
Open	X	H

(1) H = high level; L = low level; X = irrelevant; ? = indeterminate

Table 4.

RECEIVER (SN65HVD231) ⁽¹⁾		
DIFFERENTIAL INPUTS	R _S	OUTPUT R
V _{ID} ≥ 0.9 V	V _(RS) < 1.2 V	L
0.5 V < V _{ID} < 0.9 V		?
V _{ID} ≤ 0.5 V	V _(RS) > 0.75 V _{CC}	H
X		H
X	1.2 V < V _(RS) < 0.75 V _{CC}	?
Open	X	H

(1) H = high level; L = low level; X = irrelevant; ? = indeterminate

Table 5.

RECEIVER (SN65HVD232) ⁽¹⁾	
DIFFERENTIAL INPUTS	OUTPUT R
V _{ID} ≥ 0.9 V	L
0.5 V < V _{ID} < 0.9 V	?
V _{ID} ≤ 0.5 V	H
Open	H

(1) H = high level; L = low level; X = irrelevant; ? = indeterminate

Table 6.

TRANSCIEVER MODES (SN65HVD230, SN65HVD231)	
V _(RS)	OPERATING MODE
V _(RS) > 0.75 V _{CC}	Standby
10 kΩ to 100 kΩ to ground	Slope control
V _(RS) < 1 V	High speed (no slope control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232



SLOS346K – MARCH 2001 – REVISED FEBRUARY 2011

www.ti.com

TERMINAL FUNCTIONS

TERMINAL		DESCRIPTION
NAME	NO.	
SN65HVD230, SN65HVD231		
CANL	6	Low bus output
CANH	7	High bus output
D	1	Driver input
GND	2	Ground
R	4	Receiver output
P_S	8	Standby/slope control
V_{CC}	3	Supply voltage
V_{ref}	5	Reference output
SN65HVD232		
CANL	6	Low bus output
CANH	7	High bus output
D	1	Driver input
GND	2	Ground
NC	5, 8	No connection
R	4	Receiver output
V_{CC}	3	Supply voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

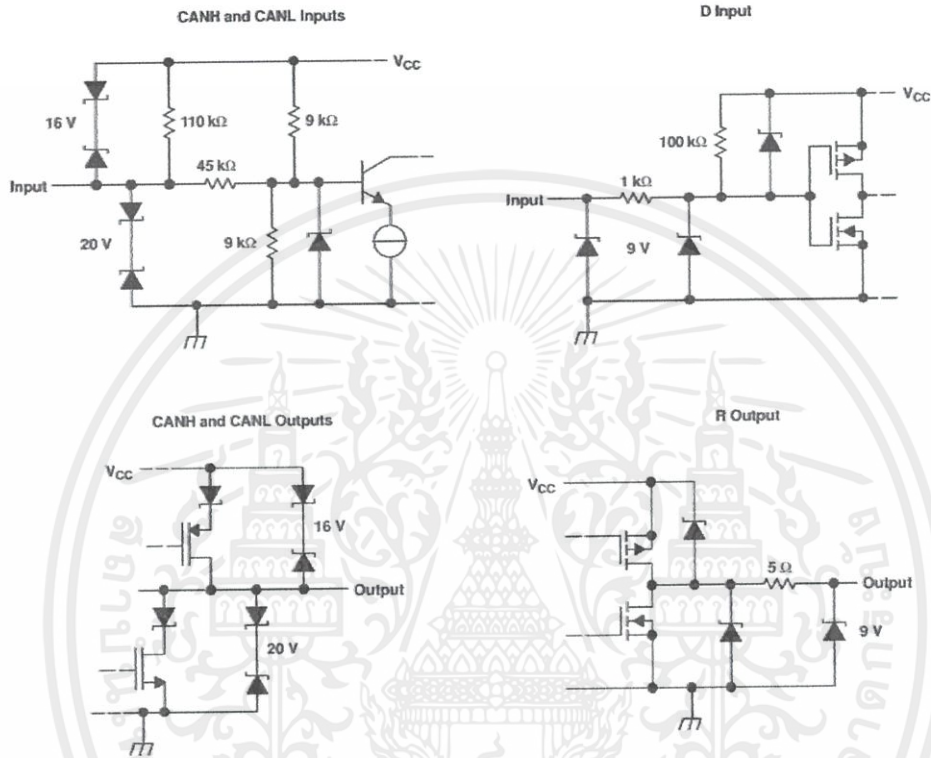


SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232

www.ti.com

SLOS346K – MARCH 2001 – REVISED FEBRUARY 2011

EQUIVALENT INPUT AND OUTPUT SCHEMATIC DIAGRAMS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232



www.ti.com

SLOS346K – MARCH 2001 – REVISED FEBRUARY 2011

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)^{(1) (2)}

		UNIT	
Supply voltage range, V_{CC}		-0.3 V to 6 V	
Voltage range at any bus terminal (CANH or CANL)		-4 V to 16 V	
Voltage input range, transient pulse, CANH and CANL, through 100 Ω (see Figure 7)		-25 V to 25 V	
Input voltage range, V_I (D or R)		-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V	
Receiver output current, I_O		± 11 mA	
Electrostatic discharge	Human body model ⁽³⁾	CANH, CANL and GND	16 kV
		All Pins	4 kV
	Charged-device model ⁽⁴⁾	All pins	1 kV
Continuous total power dissipation		See the Thermal Information Table	

- (1) Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values, except differential I/O bus voltages, are with respect to network ground terminal.
- (3) Tested in accordance with JEDEC Standard 22, Test Method A114-A.
- (4) Tested in accordance with JEDEC Standard 22, Test Method C101.

THERMAL INFORMATION

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		SN65HVD230	SN65HVD231	SN65HVD232	UNITS
		D (8 Pins)	D (8 Pins)	D (8 Pins)	
θ_{JA}	Junction-to-ambient thermal resistance	76.8	101.5	101.5	°C/W
$\theta_{Jc(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	33.4	43.3	43.3	
θ_{JB}	Junction-to-board thermal resistance	15.3	42.2	42.4	
Ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter	1.4	4.8	4.8	
Ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter	14.9	41.8	41.8	
$\theta_{Jc(bot)}$	Junction-to-case (bottom) thermal resistance	n/a	n/a	n/a	

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

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

		MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}			3	3.6	V
Voltage at any bus terminal (common mode) V_{IC}		-2 ⁽¹⁾		7	V
Voltage at any bus terminal (separately) V_I		-2.5		7.5	V
High-level input voltage, V_{IH}			D, R	2	V
Low-level input voltage, V_{IL}			D, R	0.8	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Figure 5)		-6		6	V
Input voltage, $V_{I(RS)}$		0		V_{CC}	V
Input voltage for standby or sleep, $V_{I(RS)}$		0.75 V_{CC}		V_{CC}	V
Wave-shaping resistance, R_S		0		100	k Ω
High-level output current, I_{OH}		Driver		-40	mA
		Receiver		-8	
Low-level output current, I_{OL}		Driver		48	mA
		Receiver		8	
Operating free-air temperature, T_A		-40		85	°C

- (1) The algebraic convention, in which the least positive (most negative) limit is designated as minimum is used in this data sheet.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232

SLOS346K – MARCH 2001 – REVISED FEBRUARY 2011

www.ti.com

DRIVER ELECTRICAL CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT		
V _{OH}	Bus output voltage	Dominant	V _I = 0 V, See Figure 1 and Figure 3	CANH	2.45	V _{CC}	V		
			CANL	0.5	1.25				
V _{OL}	Bus output voltage	Recessive	V _I = 3 V, See Figure 1 and Figure 3	CANH		2.3	V		
				CANL		2.3			
V _{OD(D)}	Differential output voltage	Dominant	V _I = 0 V, See Figure 1		1.5	2	3	V	
			V _I = 0 V, See Figure 2		1.2	2	3		
V _{OD(R)}	Differential output voltage	Recessive	V _I = 3 V, See Figure 1		-120	0	12	mV	
				V _I = 3 V, No load		-0.5	-0.2		0.05
I _{IH}	High-level input current		V _I = 2 V		-30		μA		
I _{IL}	Low-level input current		V _I = 0.8 V		-30		μA		
I _{OS}	Short-circuit output current		V _{CANH} = -2 V		-250	250	mA		
			V _{CANL} = 7 V		-250	250			
C _O	Output capacitance	See receiver							
I _{CC}	Supply current	Standby	SN65HVD230	V _{REF} = V _{CC}		370	600	μA	
		Sleep	SN65HVD231	V _{REF} = V _{CC} , D at V _{CC}		0.04	1		
		All devices	Recessive	Dominant	V _I = 0 V, No load		10	17	mA
				Recessive	V _I = V _{CC} , No load		10	17	

(1) All typical values are at 25°C and with a 3.3-V supply.

DRIVER SWITCHING CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
SN65HVD230 AND SN65HVD231							
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{REF} = 0 V		35	85	ns	
		R _S with 10 kΩ to ground		70	125		
		R _S with 100 kΩ to ground		500	870		
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	V _{REF} = 0 V		70	120	ns	
		R _S with 10 kΩ to ground		130	180		
		R _S with 100 kΩ to ground		870	1200		
t _{sk(p)}	Pulse skew (t _{PHL} - t _{PLH})	V _{REF} = 0 V	C _L = 50 pF, See Figure 4		35	ns	
		R _S with 10 kΩ to ground			60		
		R _S with 100 kΩ to ground			370		
t _r	Differential output signal rise time	V _{REF} = 0 V		25	50	100	ns
t _f	Differential output signal fall time	V _{REF} = 0 V		40	55	80	ns
t _r	Differential output signal rise time	R _S with 10 kΩ to ground		80	120	160	ns
t _f	Differential output signal fall time	R _S with 10 kΩ to ground		80	125	150	ns
t _r	Differential output signal rise time	R _S with 100 kΩ to ground		600	800	1200	ns
t _f	Differential output signal fall time	R _S with 100 kΩ to ground		600	825	1000	ns
SN65HVD232							
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	C _L = 50 pF, See Figure 4		35	85	ns	
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output			70	120		
t _{sk(p)}	Pulse skew (t _{PHL} - t _{PLH})			35			
t _r	Differential output signal rise time			25	50		100
t _f	Differential output signal fall time			40	55		80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232



www.ti.com

SLOS346K – MARCH 2001 – REVISED FEBRUARY 2011

RECEIVER ELECTRICAL CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
V_{IT+} Positive-going input threshold voltage	See Table 7		750	900	mV
V_{IT-} Negative-going input threshold voltage		500	650		
V_{HYS} Hysteresis voltage ($V_{IT+} - V_{IT-}$)			100		
V_{OH} High-level output voltage	$-6\text{ V} \leq V_{IO} \leq 500\text{ mV}$, $I_O = -8\text{ mA}$, See Figure 5		2.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$900\text{ mV} \leq V_{IO} \leq 6\text{ V}$, $I_O = 8\text{ mA}$, See Figure 5			0.4	
I_I Bus input current	$V_{IH} = 7\text{ V}$		100	250	μA
	$V_{IH} = 7\text{ V}$, $V_{CC} = 0\text{ V}$	Other input at 0 V, D = 3 V	100	350	
	$V_{IH} = -2\text{ V}$		-200	-30	μA
	$V_{IH} = -2\text{ V}$, $V_{CC} = 0\text{ V}$		-100	-20	
C_i CANH, CANL input capacitance	Pin-to-ground, $V_I = 0.4 \sin(4E6\pi t) + 0.5\text{ V}$, $V_{(D)} = 3\text{ V}$		32		pF
C_{diff} Differential input capacitance	Pin-to-pin, $V_I = 0.4 \sin(4E6\pi t) + 0.5\text{ V}$, $V_{(D)} = 3\text{ V}$		16		pF
R_{diff} Differential input resistance	Pin-to-pin, $V_{(D)} = 3\text{ V}$	40	70	100	k Ω
R_i CANH, CANL input resistance		20	35	50	k Ω
I_{CC} Supply current	See driver				

(1) All typical values are at 25°C and with a 3.3-V supply.

RECEIVER SWITCHING CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	See Figure 6		35	50	ns
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output			35	50	ns
$t_{sk(p)}$ Pulse skew ($ t_{PHL} - t_{PLH} $)				10	
t_r Output signal rise time	See Figure 6		1.5		ns
t_f Output signal fall time			1.5		ns

DEVICE SWITCHING CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{(LOOP1)}$ Total loop delay, driver input to receiver output, recessive to dominant	$V_{(RS)} = 0\text{ V}$, See Figure 9		70	115	ns
	R_S with 10 k Ω to ground, See Figure 9		105	175	
	R_S with 100 k Ω to ground, See Figure 9		535	920	
$t_{(LOOP2)}$ Total loop delay, driver input to receiver output, dominant to recessive	$V_{(RS)} = 0\text{ V}$, See Figure 9		100	135	ns
	R_S with 10 k Ω to ground, See Figure 9		155	185	
	R_S with 100 k Ω to ground, See Figure 9		830	990	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVICE CONTROL-PIN CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
I _(WAKE)	SN65HVD230 wake-up time from standby mode with R _G	See Figure 8		0.55	1.5	μs
	SN65HVD231 wake-up time from sleep mode with R _S			3	5	μs
V _{ref}	Reference output voltage	-5 μA < I _(Vref) < 5 μA	0.45 V _{CC}		0.55 V _{CC}	V
		-50 μA < I _(Vref) < 50 μA	0.4 V _{CC}		0.6 V _{CC}	
I _(RS)	Input current for high-speed	V _(RS) < 1 V	-450		0	μA

(1) All typical values are at 25°C and with a 3.3-V supply.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

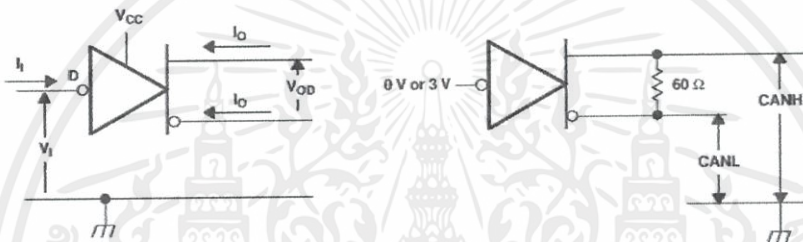


Figure 1. Driver Voltage and Current Definitions

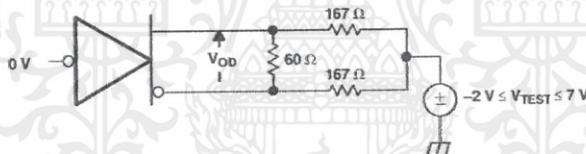


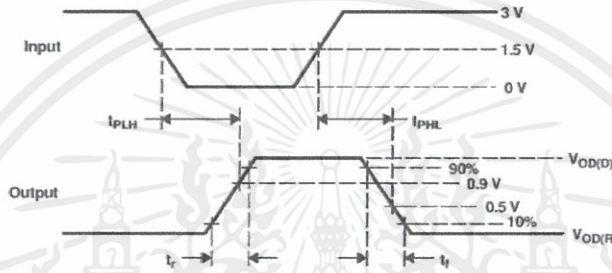
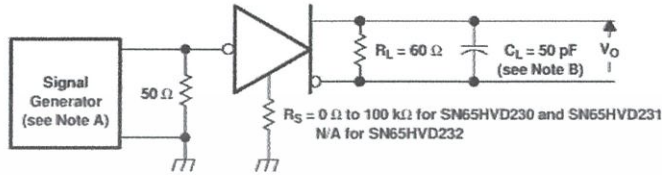
Figure 2. Driver V_{OD}



Figure 3. Driver Output Voltage Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION (continued)



- A. The input pulse is supplied by a generator having the following characteristics: PRR ≤ 500 kHz, 50% duty cycle, $t_r \leq 6$ ns, $t_f \leq 6$ ns, $Z_o = 50 \Omega$.
- B. C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Driver Test Circuit and Voltage Waveforms

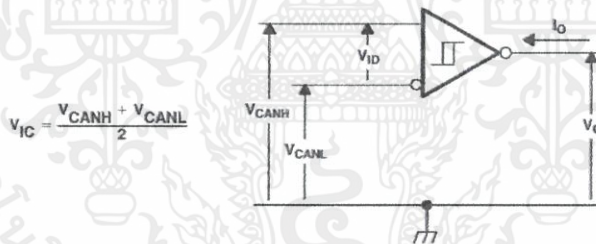
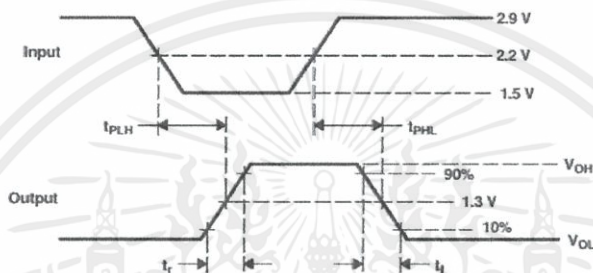
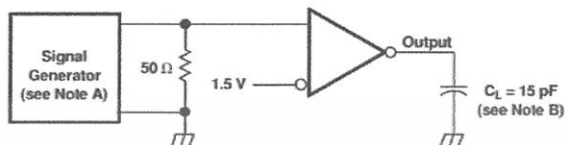


Figure 5. Receiver Voltage and Current Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION (continued)



- A. The input pulse is supplied by a generator having the following characteristics: PRR ≤ 500 kHz, 50% duty cycle, $t_r \leq 6$ ns, $t_f \leq 6$ ns, $Z_0 = 50 \Omega$.
- B. C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 6. Receiver Test Circuit and Voltage Waveforms

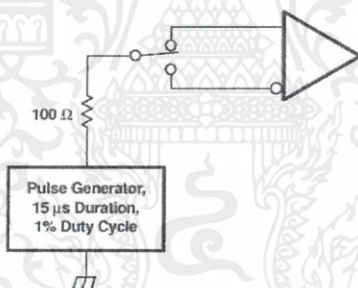


Figure 7. Overvoltage Protection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232

SLOS346K – MARCH 2001 – REVISED FEBRUARY 2011



www.ti.com

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION (continued)
Table 7. Receiver Characteristics Over Common Mode With $V_{(RS)} = 1.2\text{ V}$

V_{IC}	V_{ID}	V_{CAMH}	V_{CANL}	R OUTPUT
-2 V	900 mV	-1.55 V	-2.45 V	L
7 V	900 mV	8.45 V	6.55 V	L
1 V	6 V	4 V	-2 V	L
4 V	6 V	7 V	1 V	L
-2 V	500 mV	-1.75 V	-2.25 V	H
7 V	500 mV	7.25 V	6.75 V	H
1 V	-6 V	-2 V	4 V	H
4 V	-6 V	1 V	7 V	H
X	X	Open	Open	H

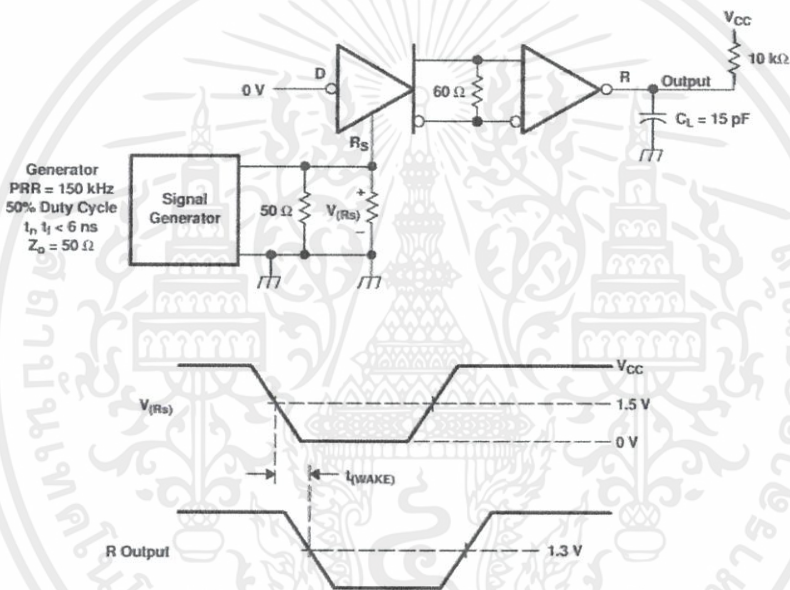
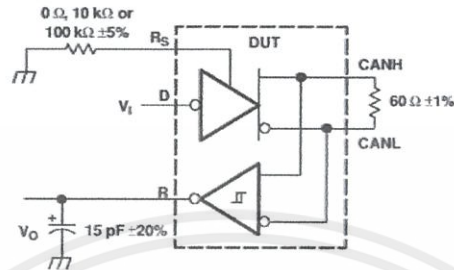


Figure 8. $t_{(WAKE)}$ Test Circuit and Voltage Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- A. All V_i input pulses are supplied by a generator having the following characteristics: t_r or $t_f \leq 6$ ns, Pulse Repetition Rate (PRR) = 125 kHz, 50% duty cycle.

Figure 9. $t_{(LOOP)}$ Test Circuit and Voltage Waveforms

TYPICAL CHARACTERISTICS

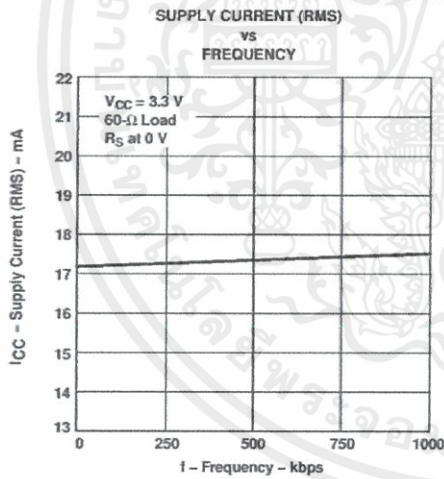


Figure 10.

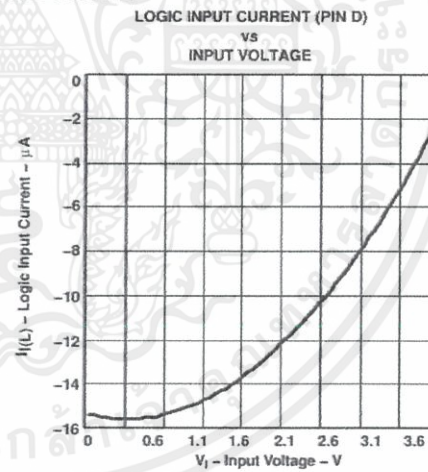


Figure 11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

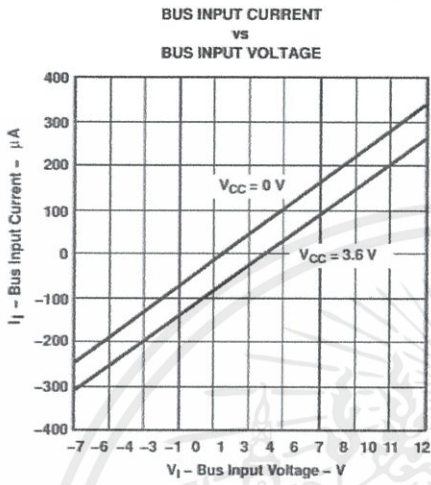


Figure 12.

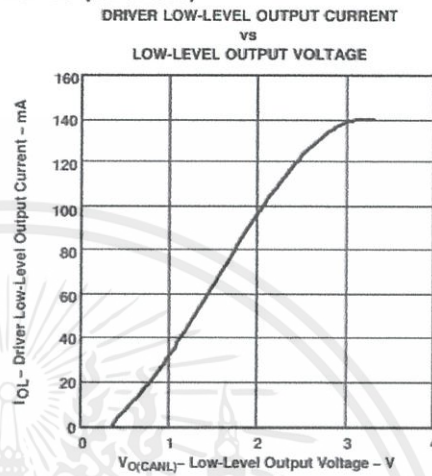


Figure 13.

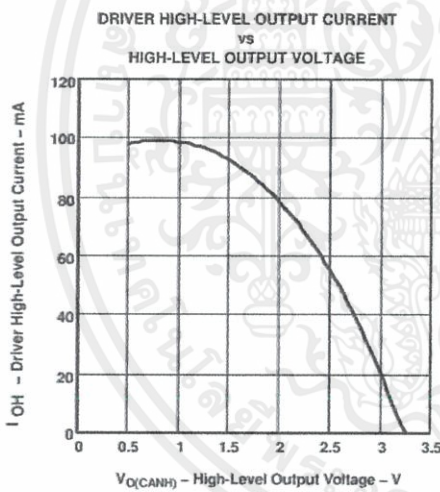


Figure 14.

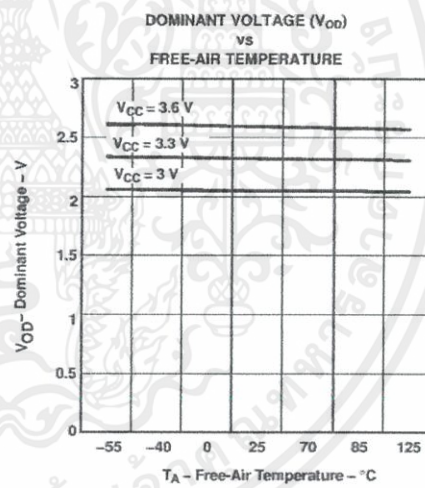
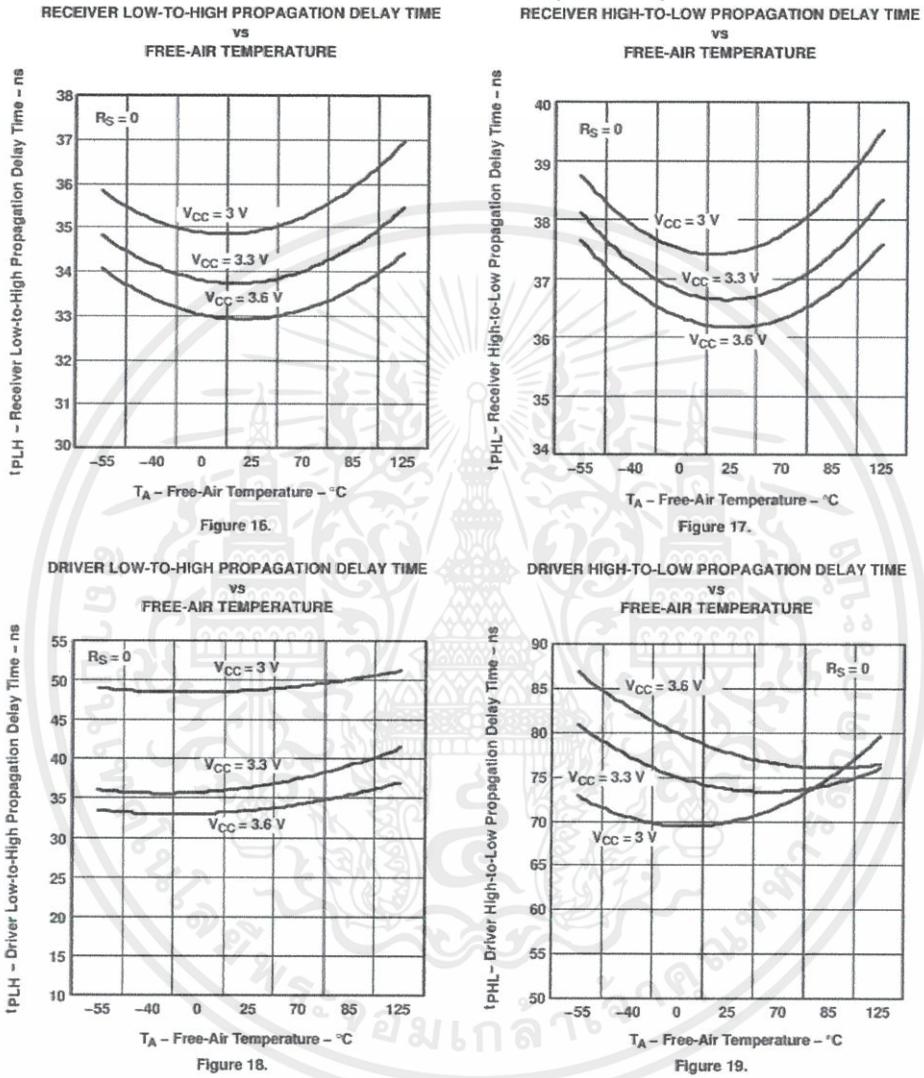


Figure 15.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN65HVD230
SN65HVD231
SN65HVD232

SL0S346K – MARCH 2001 – REVISED FEBRUARY 2011



www.ti.com

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

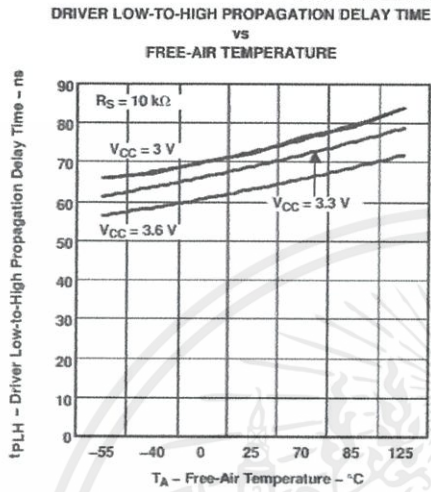


Figure 20.

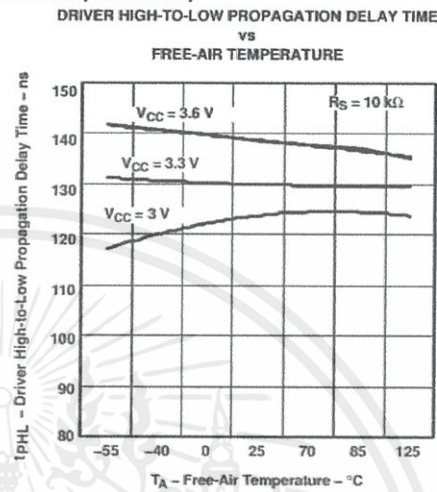


Figure 21.

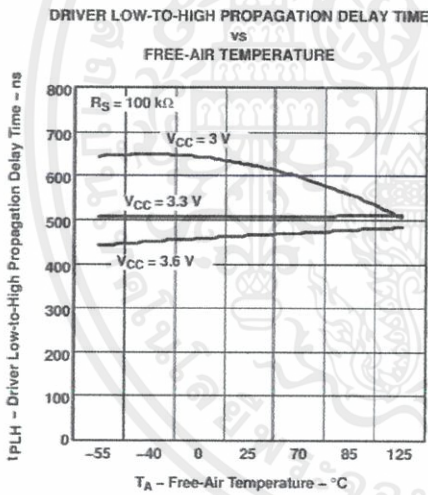


Figure 22.

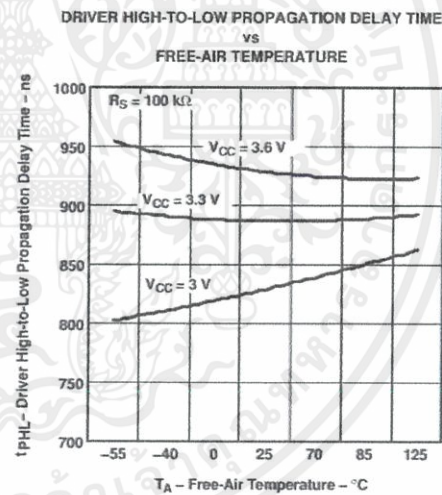


Figure 23.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

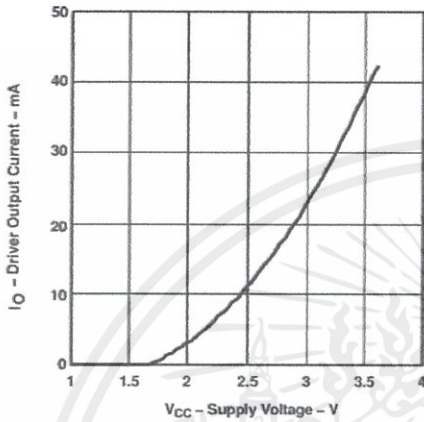
TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)
**DRIVER OUTPUT CURRENT
vs
SUPPLY VOLTAGE**


Figure 24.

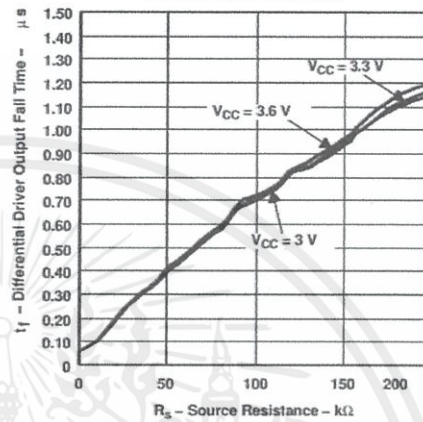
**DIFFERENTIAL DRIVER OUTPUT FALL TIME
vs
SOURCE RESISTANCE (R_s)**


Figure 25.

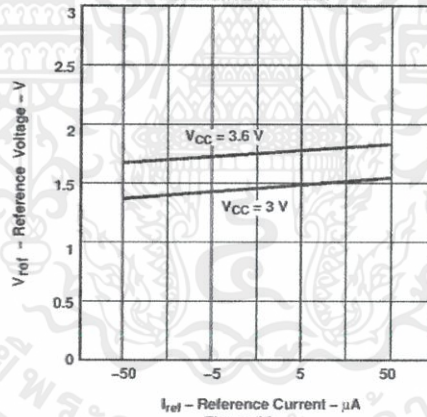
**REFERENCE VOLTAGE
vs
REFERENCE CURRENT**


Figure 26.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

Can Bus Shield Adrino



MCP2515

Stand-Alone CAN Controller With SPI™ Interface

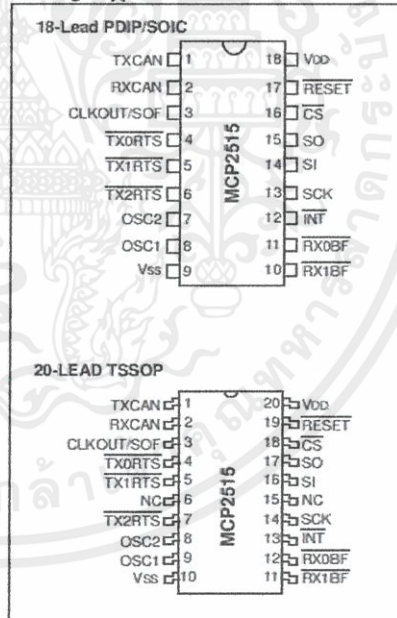
Features

- Implements CAN V2.0B at 1 Mb/s:
 - 0 – 8 byte length in the data field
 - Standard and extended data and remote frames
- Receive buffers, masks and filters:
 - Two receive buffers with prioritized message storage
 - Six 29-bit filters
 - Two 29-bit masks
- Data byte filtering on the first two data bytes (applies to standard data frames)
- Three transmit buffers with prioritization and abort features
- High-speed SPI™ Interface (10 MHz):
 - SPI modes 0, 0 and 1, 1
- One-shot mode ensures message transmission is attempted only one time
- Clock out pin with programmable prescaler:
 - Can be used as a clock source for other device(s)
- Start-of-Frame (SOF) signal is available for monitoring the SOF signal:
 - Can be used for time-slot-based protocols and/or bus diagnostics to detect early bus degradation
- Interrupt output pin with selectable enables
- Buffer Full output pins configurable as:
 - Interrupt output for each receive buffer
 - General purpose output
- Request-to-Send (RTS) input pins individually configurable as:
 - Control pins to request transmission for each transmit buffer
 - General purpose inputs
- Low-power CMOS technology:
 - Operates from 2.7V – 5.5V
 - 5 mA active current (typical)
 - 1 µA standby current (typical) (Sleep mode)
- Temperature ranges supported:
 - Industrial (I): -40°C to +85°C
 - Extended (E): -40°C to +125°C

Description

Microchip Technology's MCP2515 is a stand-alone Controller Area Network (CAN) controller that implements the CAN specification, version 2.0B. It is capable of transmitting and receiving both standard and extended data and remote frames. The MCP2515 has two acceptance masks and six acceptance filters that are used to filter out unwanted messages, thereby reducing the host MCUs overhead. The MCP2515 interfaces with microcontrollers (MCUs) via an industry standard Serial Peripheral Interface (SPI).

Package Types



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP2515

1.0 DEVICE OVERVIEW

The MCP2515 is a stand-alone CAN controller developed to simplify applications that require interfacing with a CAN bus. A simple block diagram of the MCP2515 is shown in Figure 1-1. The device consists of three main blocks:

1. The CAN module, which includes the CAN protocol engine, masks, filters, transmit and receive buffers.
2. The control logic and registers that are used to configure the device and its operation.
3. The SPI protocol block.

An example system implementation using the device is shown in Figure 1-2.

1.1 CAN Module

The CAN module handles all functions for receiving and transmitting messages on the CAN bus. Messages are transmitted by first loading the appropriate message buffer and control registers. Transmission is initiated by using control register bits via the SPI interface or by using the transmit enable pins. Status and errors can be checked by reading the appropriate registers. Any message detected on the CAN bus is checked for errors and then matched against the user-defined filters to see if it should be moved into one of the two receive buffers.

1.2 Control Logic

The control logic block controls the setup and operation of the MCP2515 by interfacing to the other blocks in order to pass information and control.

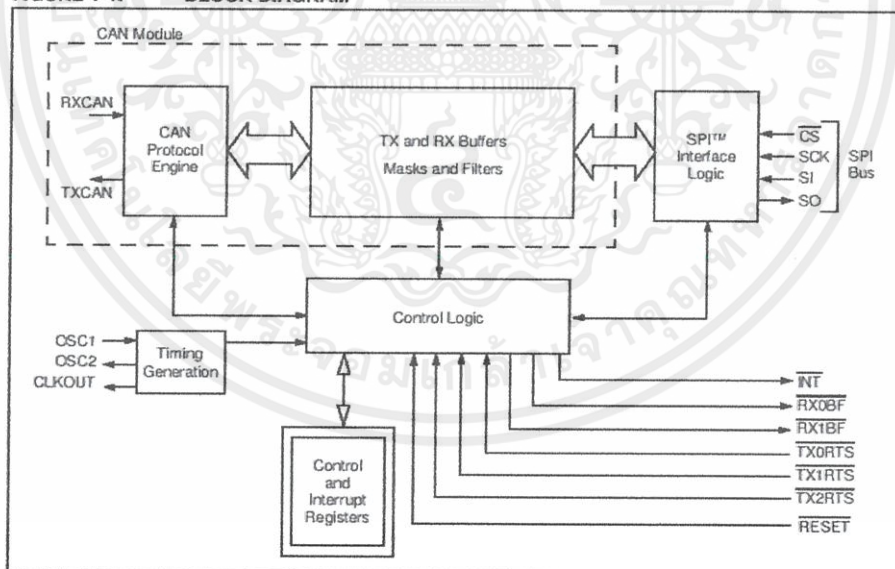
Interrupt pins are provided to allow greater system flexibility. There is one multi-purpose interrupt pin (as well as specific interrupt pins) for each of the receive registers that can be used to indicate a valid message has been received and loaded into one of the receive buffers. Use of the specific interrupt pins is optional. The general purpose interrupt pin, as well as status registers (accessed via the SPI interface), can also be used to determine when a valid message has been received.

Additionally, there are three pins available to initiate immediate transmission of a message that has been loaded into one of the three transmit registers. Use of these pins is optional, as initiating message transmissions can also be accomplished by utilizing control registers, accessed via the SPI interface.

1.3 SPI Protocol Block

The MCU interfaces to the device via the SPI interface. Writing to, and reading from, all registers is accomplished using standard SPI read and write commands, in addition to specialized SPI commands.

FIGURE 1-1: BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP2515

FIGURE 1-2: EXAMPLE SYSTEM IMPLEMENTATION

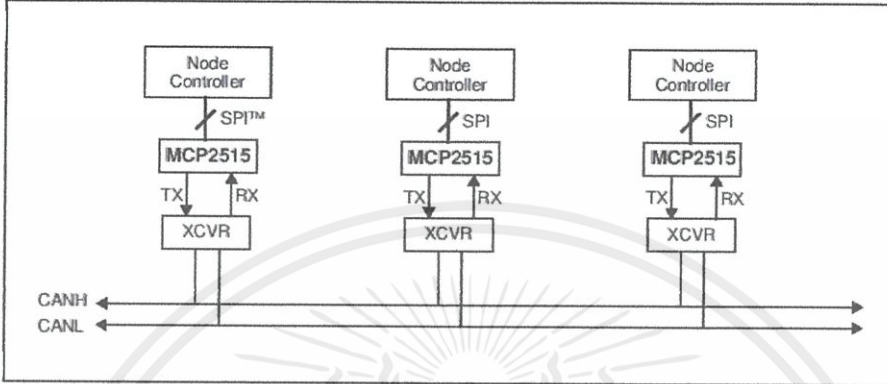


TABLE 1-1: PINOUT DESCRIPTION

Name	PDIP/SOIC Pin #	TSSOP Pin #	I/O/P Type	Description	Alternate Pin Function
TXCAN	1	1	O	Transmit output pin to CAN bus	—
RXCAN	2	2	I	Receive input pin from CAN bus	—
CLKOUT	3	3	O	Clock output pin with programmable prescaler	Start-of-Frame signal
$\overline{\text{TX0RTS}}$	4	4	I	Transmit buffer TXB0 request-to-send. 100 k Ω internal pull-up to V _{DD}	General purpose digital input. 100 k Ω internal pull-up to V _{DD}
$\overline{\text{TX1RTS}}$	5	5	I	Transmit buffer TXB1 request-to-send. 100 k Ω internal pull-up to V _{DD}	General purpose digital input. 100 k Ω internal pull-up to V _{DD}
$\overline{\text{TX2RTS}}$	6	7	I	Transmit buffer TXB2 request-to-send. 100 k Ω internal pull-up to V _{DD}	General purpose digital input. 100 k Ω internal pull-up to V _{DD}
OSC2	7	8	O	Oscillator output	—
OSC1	8	9	I	Oscillator input	External clock input
V _{SS}	9	10	P	Ground reference for logic and I/O pins	—
$\overline{\text{RX1BF}}$	10	11	O	Receive buffer RXB1 interrupt pin or general purpose digital output	General purpose digital output
$\overline{\text{RX0BF}}$	11	12	O	Receive buffer RXB0 interrupt pin or general purpose digital output	General purpose digital output
$\overline{\text{INT}}$	12	13	O	Interrupt output pin	—
SCK	13	14	I	Clock input pin for SPI™ interface	—
SI	14	16	I	Data input pin for SPI interface	—
SO	15	17	O	Data output pin for SPI interface	—
$\overline{\text{CS}}$	16	18	I	Chip select input pin for SPI interface	—
$\overline{\text{RESET}}$	17	19	I	Active low device reset input	—
V _{DD}	18	20	P	Positive supply for logic and I/O pins	—
NC	—	6,15	—	No internal connection	—

Note: Type Identification: I = Input; O = Output; P = Power

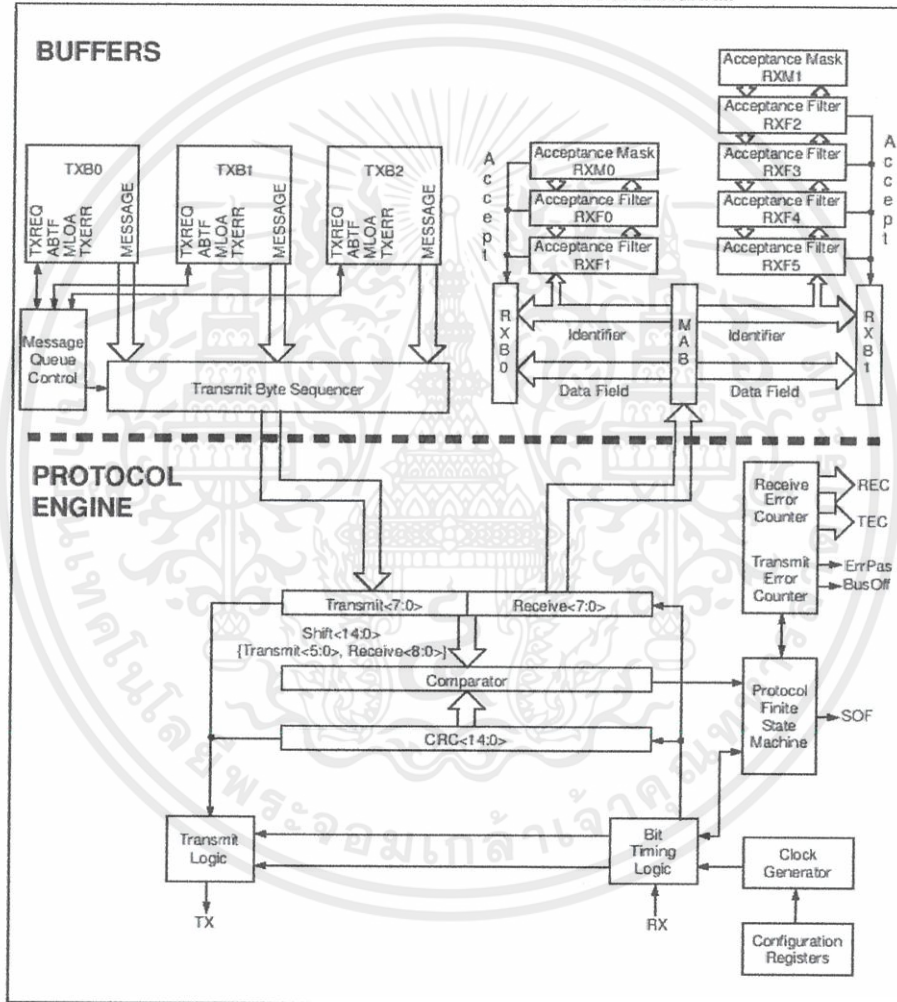
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP2515

1.4 Transmit/Receive Buffers/Masks/Filters

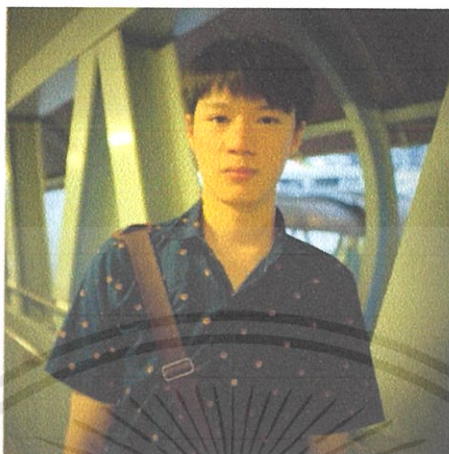
The MCP2515 has three transmit and two receive buffers, two acceptance masks (one for each receive buffer) and a total of six acceptance filters. Figure 1-3 shows a block diagram of these buffers and their connection to the protocol engine.

FIGURE 1-3: CAN BUFFERS AND PROTOCOL ENGINE BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย ชยุดม์ นรารุจา

เกิดวันที่ : 20 ธันวาคม พ.ศ. 2535

ที่อยู่ : บ้านเลขที่ 1 ถนน เจริญเขต ซอย 3 ต.สุโหงโโก-ลก อ.สุโหงโโก-ลก จ.นราธิวาส 96120

โทรศัพท์ : 081-959-3238

อีเมล : blackwars_view@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

2550 - 2553

โรงเรียนแสงทองวิทยา จังหวัดสงขลา

สายการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

2554 – 2557

สาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การฝึกงาน : Electronic Science and Technology University (UESTC) China เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
พฤษภาคม 2556

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นางสาว ศุภาพิชญ์ สินสมบูรณ์ชัย

เกิดวันที่ : 18 มิถุนายน พ.ศ. 2535

ที่อยู่ : บ้านเลขที่ 25/47 ซอย.เพชรบ้านสวน 19 หมู่.2 ตำบล.บ้านสวน อำเภอ.เมืองชลบุรี จังหวัด
ชลบุรี 20000

โทรศัพท์ : 085-089-7773

อีเมล : nssupapit@outlook.com

ประวัติการศึกษา

- 2550 – 2553 โรงเรียนชลราษฎรอำรุง จังหวัดชลบุรี
สายการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์
- 2554 – 2557 สาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การฝึกงาน : Sendai National College of Technology, Hirose, Ayashi-Chuo, Sendai-shi,
Miyagi, Japan (April-May 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย เฉลิมพร พวงบุบผา

เกิดวันที่ : 22 ตุลาคม พ.ศ.2535

ที่อยู่ : 4/1110 ซ.เสรีไทย57 ถ.เสรีไทย คลองกุ่ม บึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10240

โทรศัพท์ : 080-924-2729

อีเมล : ohmdanzbasemuscle002@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

2551-2553 โรงเรียนสุขุมวิทพณิชยการ กรุงเทพมหานคร
สายการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

2554-2557 สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การฝึกงาน : Mitsubishi Heavy Industries - Mahajak Air Conditioners Co., LTD.
เดือน เมษายน-พฤษภาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้