

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบสายพานอัตโนมัติ สำหรับชิ้นส่วนน้ำหนักเบา
DEVELOPMENT OF AUTO BELT CONVEYOR SYSTEM
FOR LIGHT WEIGHT PRODUCT

โดย

นาย	เกียรตินิยม	ฉิมพลี	รหัสประจำตัว	48010074
นาย	วสิน	เทียรบุญเลิศรัตน์	รหัสประจำตัว	48010789
นาย	วิศรุต	โกมล	รหัสประจำตัว	48010838
นาย	วิศรุต	ศรีสวัสดิ์	รหัสประจำตัว	48010839

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. สมศักดิ์ ชุมช่วย



๒๖๖.

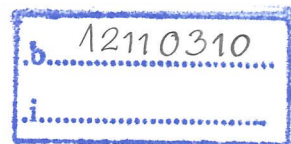
๗ ๘๕๖๗

๒๕๕๑

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....104301

วัน,เดือน,ปี..... - 2 พ.ย. 2552



ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

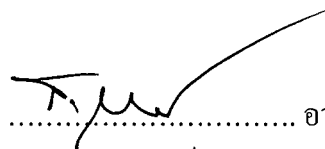
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบสายพานอัตโนมัติ สำหรับชิ้นส่วนน้ำหนักเบา

Development of Auto Belt Conveyor System for light Weight Product

ผู้จัดทำ

1. นาย เกียรตินิยม	ฉิมพลี	รหัสประจำตัว	48010074
2. นาย วศิน	เทียรบุญเลิศรัตน์	รหัสประจำตัว	48010789
3. นาย วิสรุต	โกมล	รหัสประจำตัว	48010838
4. นาย วิสรุต	ศรีสวัสดิ์	รหัสประจำตัว	48010839



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. สมศักดิ์ ชุมช่วย)

การพัฒนาระบบสายพานอัตโนมัติ สำหรับชิ้นส่วนน้ำหนักเบา

นาย	เกียรตินิยม	ฉิมพลี	รหัสประจำตัว	48010074
นาย	วศิน	เทียรบุญเลิศรัตน์	รหัสประจำตัว	48010789
นาย	วิศรุต	โกมล	รหัสประจำตัว	48010838
นาย	วิศรุต	ศรีสวัสดิ์	รหัสประจำตัว	48010839
รศ.ดร. สมศักดิ์ ชุมช่วย อาจารย์ที่ปรึกษา				
ปีการศึกษา 2551				

บทคัดย่อ

แบบเสนอโครงการนี้ จะกล่าวถึงการพัฒนา ระบบสายพานสำหรับโหลดขนาดเบา ประมาณ 1 – 2 กิโลกรัม สามารถปรับความเร็วได้ โดยใช้การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านไปขับเคลื่อนระบบสายพาน โดยสายพานยาวประมาณ 0.8 เมตร กว้าง 0.4 เมตร โดยกำหนดให้ความเร็วสายพานมีค่า 0 – 2.4 เมตร/นาที การควบคุมความเร็วทำโดยกระบวนการมอดูเลตความกว้างของพัลส์และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ในการควบคุม

Development of Auto Conveyor System

For light Weight Product

Mr. Kiatniyom Chimplee ID. 48010074

Mr. Wasin Thienboonlertrat ID. 48010789

Mr. Wisarut Komol ID. 48010838

Mr. Wisarut Srisawat ID. 48010839

Assoc. Prof. Dr. Somsak Choomchuay Advisor

Educational year 2008

Abstract

The system is targeted for 1 – 2 Kg.loaded belt conveyor. The linear speed can be varied from 0- 2.4 m/min. The conveyor system is powered by a BLDC motor. The belt length is 0.8 meters and 0.4 meters in width. PWM speed controller is used in this project. Codes were implemented on both PC and dsPIC.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
สารบัญ	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของการทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 ภาพรวมของระบบและการทำงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 สายพานลำเลียง	3
2.1.1 สายพาน (Belt)	3
2.1.2 สายพานถ่ายทอดกำลัง	4
2.1.3 ลูกกลิ้ง (Idlers)	4
2.1.4 ล้อสายพาน (Pulleys)	4
2.1.5 ชุดขับ (Drive)	4
2.1.6 โครงสร้าง (Structure)	4
2.1.7 การใช้งานและข้อจำกัด	5
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า (MOTOR)	6
2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor)	6
2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	6
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน	7
2.3.1 หลักการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน	7
2.3.2 โครงสร้างและหลักการทำงาน	7
2.3.3 สเตเตอร์	7
2.3.4 โรเตอร์	8
2.3.5 Hall sensors	9

	หน้า
2.3.6 หลักการทำงาน	10
2.3.7 กราฟคุณลักษณะของความเร็วรอบต่อแรงบิด	11
2.3.8 การเปรียบเทียบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน กับมอเตอร์ชนิดอื่น ๆ	12
2.3.9 ลำดับในการคอมมิวเตชัน	15
2.4 PWM	18
2.4.1 สัญญาณ PWM	18
2.4.2 โมดูลที่เกี่ยวข้องในการสร้างสัญญาณ PWM	19
2.4.3 ทำไมถึงใช้ PWM ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์	19
2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010	19
2.5.1 คุณสมบัติของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC	19
2.5.2 คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิทัล	20
2.5.3 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ	20
2.5.4 หน่วยความจำ	21
2.5.5 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต	21
บทที่ 3 การออกแบบ	22
3.1 การออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้า	22
3.2 โพลาร์ซาร์ตการควบคุมมอเตอร์	24
3.3 ส่วนวงจร Driver และ Switch	25
3.4 ส่วนการอินเตอร์เฟส บนคอมพิวเตอร์	28
3.5 ต้นแบบระบบสายพานลำเลียง	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง	36
4.1 ผลการทดลองของสัญญาณ PWM ที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน	36
4.2 ผลการทดลองของสัญญาณ PWM สูงสุดที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถจ่ายได้	37
4.3 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาในการเปลี่ยนลำดับการคอมมิวเตชัน กับความเร็วรอบของมอเตอร์และความเร็วสายพาน	38
4.4 ผลการทดลองสัญญาณที่เข้าสู่มอเตอร์	40
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	42

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 รูปภาพรวมของระบบการทำงาน	2
รูปที่ 2.1 ลักษณะของสายพานแบน	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะการใช้งานของสายพานแบน	4
รูปที่ 2.3 แสดงสเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน	8
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการจัดวางตำแหน่งของแม่เหล็กโรเตอร์แบบต่างๆ	9
รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดด้านข้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน	10
รูปที่ 2.6 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของความเร็วรอบต่อแรงบิด	11
รูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณ Hall sensors, Back EMF, แรงบิดทางเอาต์พุตและกระแสเฟส	16
รูปที่ 2.8 แสดงลำดับของการจ่ายกระแสให้กับขดลวด	16
รูปที่ 2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุม	17
รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม	18
รูปที่ 2.11 แสดงการจัดเรียงขาสัญญาณของ dsPIC30F2010	19
รูปที่ 3.1 รูปเฟืองและพลูเลย์ที่ใช้ในการออกแบบ	22
รูปที่ 3.2 โพล์ซาร์ตการควบคุมมอเตอร์	24
รูปที่ 3.3 แสดงภาพรวมของระบบการควบคุม	25
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรส่วน Driver และ switch	25
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรส่วน Driver และ switch ทั้ง 3 ชุดที่ใช้ในการขับมอเตอร์	26
รูปที่ 3.6 แสดงการป้อนอินพุตเป็นพัลส์เข้าที่ขา Hin และเป็นไฟตรงเข้าที่ขา Lin ตามลำดับการคอมมิวเตชัน	27
รูปที่ 3.7 แสดงกระแสที่ไหลเข้า – ไหลออกมอเตอร์ ตามการป้อนอินพุตที่ป้อนตามลำดับการคอมมิวเตชัน	27
รูปที่ 3.8 แสดง Form ในส่วนของการตั้งค่าการติดต่อไปยังอีก Form หนึ่ง	29
รูปที่ 3.9 แสดง Form ในส่วนของการส่งค่าไปยัง Microcontroller รับค่าที่ได้จากอีก Form หนึ่ง	29
รูปที่ 3.10 แสดงการควบคุมสายพานโดยการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์	30
รูปที่ 3.11 โพล์ซาร์ตการตรวจสอบคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์	33
รูปที่ 3.12 รูปต้นแบบระบบสายพานลำเลียง	34
รูปที่ 3.13 รูปต้นแบบวงจร Drive	35
รูปที่ 3.14 รูปมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนระบบสายพานต้นแบบ	35

	หน้า
รูปที่ 4.1 สัญญาณ PWM ต่ำสุดที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนมีค่า 11.9%	36
รูปที่ 4.2 สัญญาณ PWM สูงสุดที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์สามารถจ่ายได้มีค่า 98.97%	37
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์กับเวลาในการ เปลี่ยนลำดับการคอมมิวเตชัน	39
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสายพานกับเวลาในการ เปลี่ยนลำดับการคอมมิวเตชัน	40
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่เข้าสู่มอเตอร์ ขณะป้อนอินพุตเข้าที่ขา Hin, IRF540N ตัวบนทำงาน เป็น switch (กระแสไหลเข้ามอเตอร์)	40
รูปที่ 4.6 สัญญาณที่เข้าสู่มอเตอร์ ขณะป้อนอินพุตเข้าที่ขา Lin, IRF540N ตัวล่างทำงาน เป็น switch (กระแสไหลออกมอเตอร์)	41
รูปที่ 4.7 สัญญาณที่เข้าสู่มอเตอร์ ขณะไม่มีการป้อนอินพุตเข้าขา Lin และ Hin, IRF540N ตัวล่างและตัวบนไม่ทำงาน	41

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่าง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน	12
ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่าง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน	13
ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่าง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ	14
ตารางที่ 4 แสดงลำดับสำหรับการหมุนมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	17
ตารางที่ 5 แสดงลำดับสำหรับการหมุนมอเตอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	17
ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาในการเปลี่ยนลำดับการคอมมิวเตชัน กับ ความเร็วรอบ ของมอเตอร์และความเร็วสายพาน	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการทำโครงการ

ในปัจจุบัน การคอนโทรลมอเตอร์ BLDC Motor จะพบได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่ส่วนมาก ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Microelectronic) และ ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ทำให้การออกแบบระบบคอนโทรลมอเตอร์และการวิเคราะห์ปัญหาเป็นสิ่งที่น่าสนใจและมีความสำคัญมาก

ซึ่งโครงการนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุม BLDC motor โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 โดยความเร็ว และ ตำแหน่งที่ต้องการจะถูกป้อนเข้าไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม โดยจะใช้โปรแกรมอินเตอร์เฟส (Visual Basic) เป็นตัวติดต่อรับส่งค่า และ ในการควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามความเร็ว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการควบคุมแบบ PWM โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อศึกษาการควบคุมมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เพื่อศึกษาการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมมอเตอร์

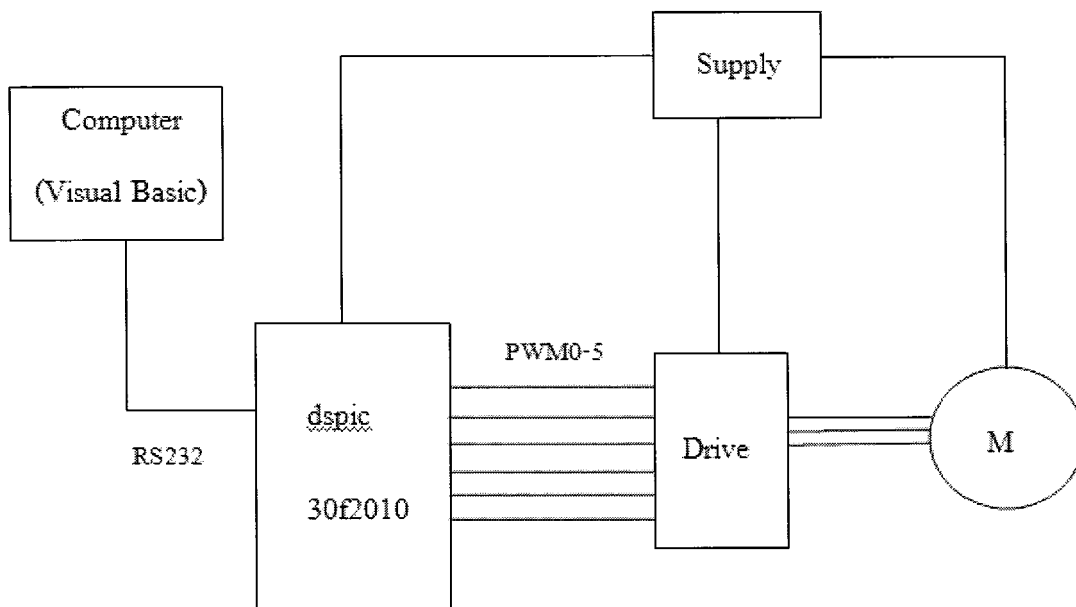
1.3 ขอบเขตของโครงการ

ระบบสายพานสำหรับโหลดขนาดเบาประมาณ 1 – 2 กิโลกรัม สามารถปรับความเร็วได้ตั้งแต่ 0.6 – 1.96 เมตรต่อวินาที โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านไปขับเคลื่อนระบบสายพาน โดยสายพานยาวประมาณ 0.8 เมตร กว้าง 0.4 เมตร

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. วิชาการ ระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับขับเคลื่อนสายพานโหลดเบา
2. อุตสาหกรรม ระบบสายพานขนาดเล็กที่มีความสามารถทำงานได้อย่างเที่ยงตรง

1.5 ภาพรวมของระบบและการทำงาน



รูปที่ 1.1 รูปภาพรวมของระบบการทำงาน

ระบบจะเริ่มจากการสั่งการจากคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมvisual basic ให้ทำงานในโหมดที่เราต้องการ เช่น การสั่งหยุด เดินหน้าหรือถอยหลัง ผ่านทาง port อนุกรม (RS232) เพื่อสั่งการไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ dspic30f2010 ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวควบคุมการปล่อยสัญญาณpwm ตามลำดับการคอมมิวเตชันแล้วส่งต่อไปยังส่วนdrive มอเตอร์เพื่อทำการขับมอเตอร์ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎี

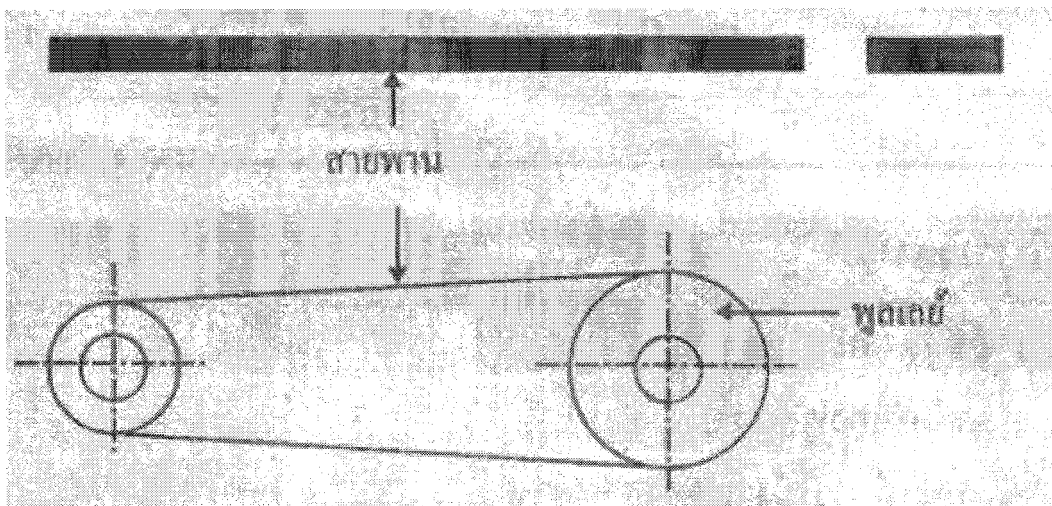
2.1 สายพานลำเลียง

สายพานลำเลียง เป็นสายพานที่เคลื่อนที่ต่อเนื่องตลอดเวลาใช้งาน โดยปลายทั้งสองข้างของสายพานจะต่อชนเข้าด้วยกัน ใช้สำหรับขนถ่ายวัสดุทั้งในแนวราบและแนวลาดเอียง(ขึ้น, ลง) สายพานลำเลียง ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน ได้แก่

2.1.1 สายพาน (Belt) เป็นส่วนรองรับวัสดุขนถ่ายและทำให้วัสดุขนถ่ายที่อยู่บนสายพานนั้นเคลื่อนที่ตามสายพานไปด้วย

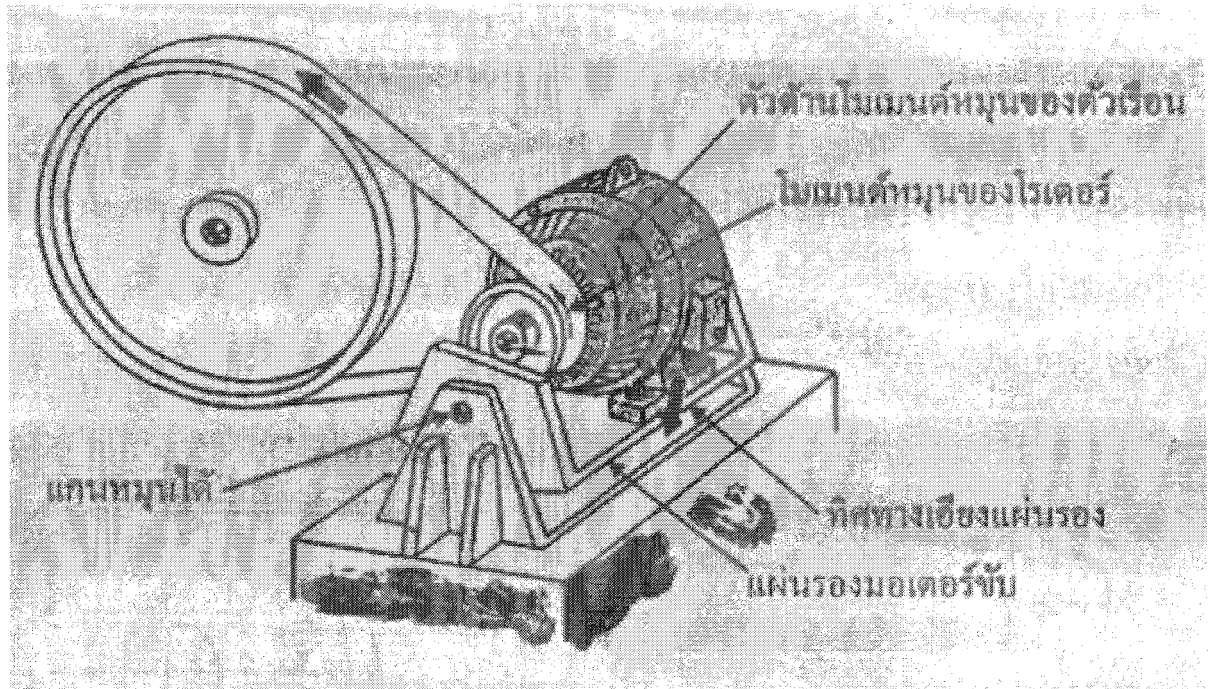
หน้าที่การใช้งานของสายพาน สายพานแต่ละชนิดมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกัน คือ ส่งกำลังจากเพลาดำหนึ่งไปยังเพลาดำอีกตัวหนึ่งด้วยความเร็วตามลักษณะการใช้และความสามารถของสายพานนั้นๆ

ใช้สำหรับถ่ายเทกำลังระหว่างเพลาดำได้ระหว่าง 0.1 กิโลวัตต์ ถึง 4,000 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบของล้อได้สูงถึง 200,000 รอบต่อนาทีและความเร็วแล่นของสายพานได้ถึง 100 เมตรต่อนาที



รูปที่ 2.1 ลักษณะของสายพานแบน

2.1.2 สายพานถ่ายทอดกำลัง สายพานจะได้รับกำลังขับมาจากมอเตอร์ผ่านพูลเลย์ และส่งกำลังต่อไปยังพูลเลย์ตัวต่อไป



รูปที่ 2.2 ลักษณะการใช้งานของสายพานแบน

2.1.3 ลูกกลิ้ง (Idlers) เป็นตัวรองรับสายพานอีกทีหนึ่ง ลูกกลิ้งนี้จะมี 2 ชนิด คือ

1. ลูกกลิ้งด้านลำเดียววัสดุ (Carrying Idlers)
2. ลูกกลิ้งด้านสายพานกลับ (Return Idlers)

2.1.4 ล้อสายพาน (Pulleys) เป็นตัวรองรับ และขับสายพาน และควบคุมแรงดึงในสายพาน

2.1.5 ชุดขับ (Drive) เป็นตัวส่งกำลังขับให้กับล้อสายพาน เพื่อขับสายพานและวัสดุขนถ่ายให้เคลื่อนที่

2.1.6 โครงสร้าง (Structure) เป็นส่วนรองรับและรักษาแนวของลูกกลิ้ง (Idlers) และล้อสายพาน (Pulleys), และรองรับเครื่องขับสายพาน

2.1.7 การใช้งานและข้อจำกัด

สายพานลำเลียงจะมีประโยชน์ในการขนถ่ายวัสดุประเภทผง (Pulverized), เมล็ด (Granular), และวัสดุก้อน (Lumpy) ก็ต่อเมื่อปริมาณวัสดุขนถ่ายมีมากพอถึงจุดคุ้มทุน และเส้นทางในการขนถ่ายอยู่ในแนวระนาบ หรือลาดเอียง (ขึ้น, ลง)

ข้อจำกัดของสายพานลำเลียง ได้แก่

- อุณหภูมิ ต้องไม่สูงนักจนทำให้สายพานไหม้
- ความลาดเอียง ต้องไม่ชันเกินไป จนทำให้วัสดุเลื่อนไหลลง
- ระยะทางของจุดศูนย์กลาง (Center's Distance) ต้องอยู่ภายในช่วงยึดตัวของสายพานที่ใช้

การคิดค้นดัดแปลงสายพานลำเลียงเพื่อใช้สำหรับวัตถุประสงค์พิเศษ และการนำสายพานลำเลียงเข้าใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น จะทำให้สายพานลำเลียงมีประโยชน์กว้างขวางขึ้น ซึ่งเห็นได้ชัดในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมเหมือง หากการออกแบบถูกต้องเหมาะสม และพิจารณาข้อจำกัดแล้วการวางตัวของวัสดุอย่างเหมาะสมบนสายพานลำเลียงจะแตกต่างกันน้อยมาก ไม่ว่าจะเป็นสายพานลำเลียง ในแนวราบ, แนวเอียงขึ้น หรือลาดลง, หรือแบบผสมที่จุดส่งวัสดุออก (Discharge Point) วัสดุจะต้องถูกส่งลงบนอุปกรณ์ลำเลียงชนิดอื่น, ถูกส่งเข้าไปยังอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตบางประเภท, หรือถูกส่งเข้าสถานที่เก็บรักษาอย่างเหมาะสมการออกแบบส่วนประกอบ และการจัดวางของสายพานลำเลียง มีหลักการปฏิบัติที่ค่อนข้างแน่นอน อย่างไรก็ตามการออกแบบ การป้อนวัสดุ การส่งวัสดุออก และการเปลี่ยนการทำงานที่จะประสบความสำเร็จได้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ ความช่างสังเกต และความช่างคิดประดิษฐ์ของผู้ออกแบบถ้าจะให้สายพานลำเลียงทำงานอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว จะต้องให้ตำแหน่งรับน้ำหนักบรรทุกอยู่ที่กลางสายพานและในอัตราที่สม่ำเสมอ เพื่อให้การลำเลียงมีรูปแบบที่ถูกต้องจึงต้องมีเครื่องป้อนวัสดุและการจัดวางเครื่องป้อนวัสดุหลาย ๆ ชนิด โดยส่วนใหญ่แล้ว ระบบสายพานลำเลียงจะมีจุดรับวัสดุตายตัว ซึ่งจะรับวัสดุมาจากอุปกรณ์ขนถ่ายชนิดอื่น เช่น รถบรรทุก (Trucks) หรือรถไฟ (Trains) อุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นตัวเชื่อมต่อการขนส่งระหว่างแหล่งวัสดุกับระบบสายพานลำเลียง เมื่อการส่งวัสดุไปยังสายพานลำเลียงเป็นแบบไม่ต่อเนื่องจึงจำเป็นต้องจัดหาถังเก็บ (Surge hopper) และเครื่องป้อน วัสดุบางชนิดไว้เพื่อให้การส่งวัสดุไปยังสายพานลำเลียงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และมีอัตราความเร็วสม่ำเสมอ ปัญหาที่ยากที่สุดที่ผู้ออกแบบระบบสายพานลำเลียงประสบ คือการ

ออกแบบจุดส่งถ่าย (Transfer points) ที่เหมาะสม การออกแบบนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขมากมาย ได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุ, ความเร็วสายพาน, ทิศทางของการขนถ่าย และอัตราการขนถ่าย โดยทั่วไป จะมีชุดสายพานหลักอยู่ 1 ชุด ส่งวัสดุออกไปยังสายพานลำเลียงชุดอื่น ๆ ซึ่งจะมีผลต่อการ กระจายตัวของวัสดุในระหว่างที่วัสดุตกลงบนสายพานชุดต่อ ๆ ไป ดังนั้นสายพานที่รับวัสดุมาจากชุดสายพานหลักจะต้องมีขนาดที่สัมพันธ์กับวัสดุที่ส่งออกจากชุดสายพานหลักด้วย เมื่อวัสดุถูกส่งมาถึงจุดหมายปลายทาง มันจะถูกส่ง ไปเก็บในคลังสินค้าหรือส่ง ไปยังอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต โดยตรงหรือส่งไปยังเรือขนส่งสินค้าได้อย่างง่ายดาย

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า (MOTOR)

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล มอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ มอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) หมายถึง มอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือขดลวดในสเตเตอร์และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงาน ไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบ ๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรปิดหรือขดลวดกรงกระรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดจะพลังงานกลสามารถนำไปใช้ปฏิบัติการที่ต้องการหมุนได้

2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส และสนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางหมุนได้

2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน

2.3.1 หลักการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน เป็นมอเตอร์ชนิดหนึ่งที่มีความนิยมนำมาใช้งานในปัจจุบัน การใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านในงานอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์และเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

จากข้อแสดงให้เห็นว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านนั้นไม่มีแปรงถ่านสำหรับการคอมมิวเตชัน แต่จะให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการคอมมิวเตชัน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านมีข้อดีกว่ามอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน และมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำคือ

- คุณลักษณะของกราฟความเร็วเทียบกับแรงบิดดีกว่า DC Motor
- การตอบสนองทางไดนามิกดีกว่า
- มีอายุการใช้งานนาน
- มีความเร็วสูงกว่า

อีกอย่างหนึ่งอัตราส่วนของแรงบิดเมื่อเทียบกับขนาดของมอเตอร์มีค่าสูงกว่า ทำให้เป็นประโยชน์ในการนำไปใช้งานในที่ที่มีการจำกัดพื้นที่และน้ำหนัก

2.3.2 โครงสร้างและหลักการทำงาน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน เป็นมอเตอร์ชนิดซิงโครนัสมอเตอร์คือ โรเตอร์จะหมุนไปพร้อมกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ที่ความถี่เดียวกัน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน จะไม่มีค่าสลลิปเหมือนในมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ

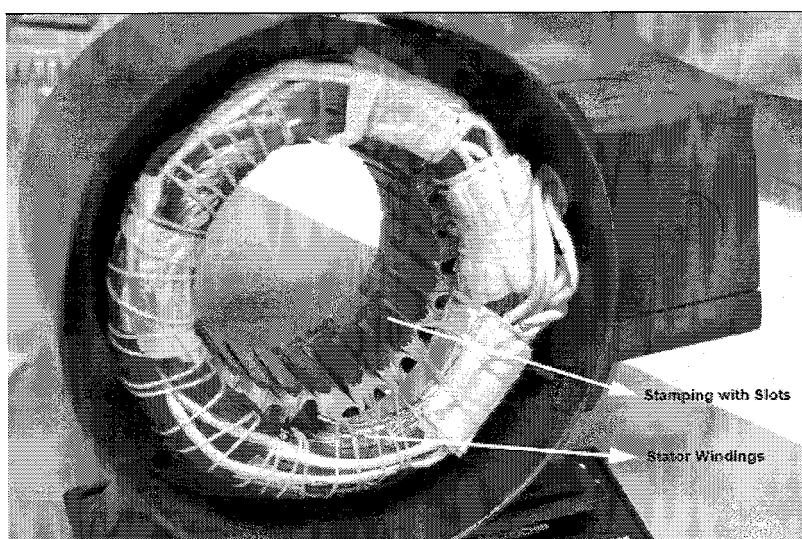
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน มีทั้งแบบ 1 เฟส 2 เฟส และ 3 เฟส ตามประเภทของมันซึ่งมีจำนวนของขดลวดที่สเตเตอร์จะสอดคล้องกับจำนวนของเฟส ซึ่งชนิด 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง

2.3.3 สเตเตอร์

สเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน ประกอบด้วยแผ่นเหล็กอ่อนอัดกันเป็นชั้นๆ มีขดลวดภายในสล็อต ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้ ซึ่งคล้ายกับสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แต่จะมีการพันขดลวดที่แตกต่างกันไป Brushless DC Motor ส่วนใหญ่จะมีขดลวดสเตเตอร์ 3 ขด ต่อกันแบบสตาร์ ขดลวดแต่ละขดมาจากการนำเส้นลวดจำนวนมากมารวมกันเป็นหนึ่งขด ขดลวด

หนึ่งขดหรือมากกว่าถูกวางในสล็อตและต่อกันเป็นวงจร และขดลวดเหล่านี้จะถูกแผ่ออกไปตามเส้นรอบวงของสเตเตอร์เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กเป็นจำนวนคู่

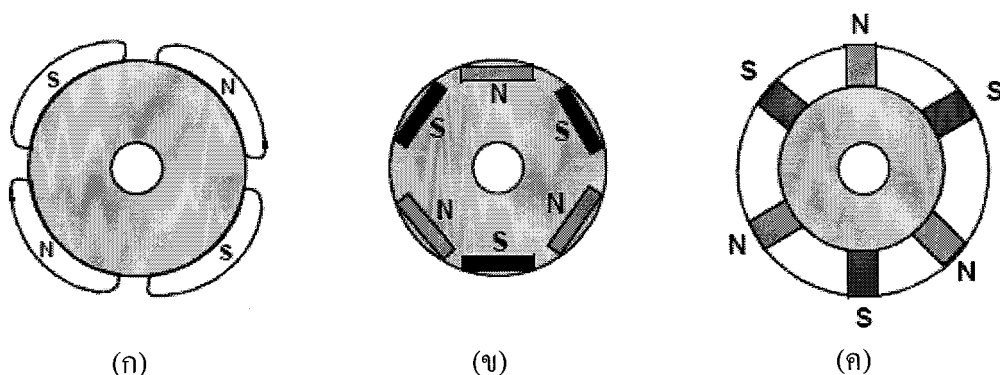
การควบคุมแหล่งจ่ายของระดับแรงดันมอเตอร์ที่ถูกต้องสำหรับสเตเตอร์สามารถเลือก 48 โวลต์ หรือน้อยกว่านั้นมอเตอร์จะถูกนำไปใช้งานเกี่ยวกับเครื่องจักรกล หุ่นยนต์ แขนกล งานที่ต้องใช้ในการเคลื่อนที่ และอื่นๆ ที่แรงดัน 100 โวลต์ หรือสูงกว่านั้น มอเตอร์จะถูกนำไปใช้งานเกี่ยวกับเครื่องอัตโนมัติและนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.3 แสดงสเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน

2.3.4 โรเตอร์

โรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวรที่มีได้แต่สองขั้วถึงแปดขั้วสลับกันระหว่างขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) ความต้องการความหนาแน่นสนามแม่เหล็กในโรเตอร์ วัสดุแม่เหล็กเหมาะสมที่จะถูกเลือกใช้ทำโรเตอร์คือ แม่เหล็ก เฟอร์ไรต์ นิยมนำมาใช้สร้างแม่เหล็กถาวรตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยี แม่เหล็กอัลลอยด์ซึ่งหายากกำลังได้รับความนิยม แม่เหล็กเฟอร์ไรต์ มีราคาไม่แพงแต่มีข้อเสียคือให้ปริมาณความหนาแน่นฟลักซ์ต่ำ ความแตกต่างของวัสดุอัลลอยด์คือ มีความหนาแน่นแม่เหล็กต่อปริมาตรสูง และทำให้โรเตอร์สามารถบีบอัดได้มากขึ้น แม่เหล็กอัลลอยด์ได้มีการปรับปรุงอัตราส่วนขนาดต่อน้ำหนัก และมีแรงบิดสูงกว่ามอเตอร์ที่มีขนาดเดียวกันที่ใช้แม่เหล็กเฟอร์ไรต์

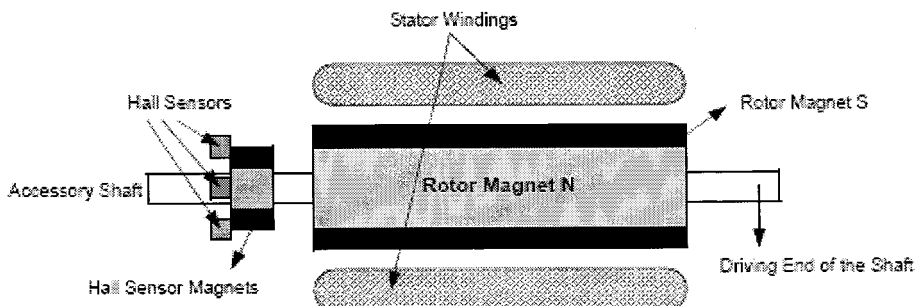


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการจัดวางตำแหน่งของแม่เหล็กโรเตอร์แบบต่างๆ

(ก) แบบแกนเป็นวงกลมกับแม่เหล็กบนเส้นรอบวง (ข) แบบแกนเป็นวงกลมกับแม่เหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากติดในโรเตอร์ (ค) แกนเป็นวงกลมกับแม่เหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากแทรกในแกนโรเตอร์

2.3.5 Hall sensors

การคอมมิวเตชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่านนั้นไม่เหมือนกับการคอมมิวเตชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านจะถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อที่จะหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน ขดลวดสเตเตอร์นั้นจะถูกกระตุ้นตามลำดับอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องรู้ตำแหน่งของโรเตอร์ โรเตอร์จะถูกกระตุ้นตามลำดับของการกระตุ้น ตำแหน่งของโรเตอร์จับได้โดยใช้ Hall Effect Sensors ที่ติดอยู่ที่สเตเตอร์ซึ่งส่วนใหญ่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านจะมี Hall sensors สามตัวติดตั้งอยู่ด้านของเพลลาที่ไม่ใช่การขับ เมื่อใดที่โรเตอร์ผ่านเข้าใกล้ Hall sensors จะให้สัญญาณออกมาเป็น High หรือ Low เป็นการแสดงว่าขั้ว N หรือขั้ว S กำลังผ่านเข้าใกล้ เซนเซอร์ใช้หลักการรวมกันของสามสัญญาณ Hall sensors ความแม่นยำของลำดับการคอมมิวเตชันสามารถกำหนดได้



รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดด้านข้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน

รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดด้านข้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านแสดงโรเตอร์ และแม่เหล็ก ตัว Hall Sensors ถูกติดตั้งอยู่กับส่วนที่อยู่กับมอเตอร์ การจัดเรียง Hall Sensors เป็นขั้นตอนที่ซับซ้อนเพราะถ้าเกิดการจัดเรียงตัวใดตัวหนึ่งผิด จะทำให้เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งโรเตอร์ เพื่อให้การติดตั้ง Hall Sensors นั้นง่ายขึ้น มอเตอร์บางตัวอาจมีแม่เหล็ก Hall Sensors อยู่ที่โรเตอร์ Hall Sensors จะถูกติดตั้งบนแผ่นวงจรและฝาปิดด้านท้าย ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถปรับแต่งชิ้นส่วนของ Hall Sensors ได้เต็มที่เพื่อให้เป็นแนวเดียวกันกับแม่เหล็กโรเตอร์ เพื่อให้ได้การทำงานที่ดีที่สุด สัญญาณเอาต์พุตของ Hall Sensors มีอยู่ 2 แบบคือ มีมุมต่างเฟส 60 องศา และ 120 องศา

Hall sensors ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันอยู่ในช่วง 4 โวลต์ ถึง 24 โวลต์ ต้องการกระแส ในช่วง 5 ถึง 15 มิลลิแอมป์ ขณะที่ออกแบบระบบควบคุมให้คำนึงถึงคุณสมบัติของมอเตอร์แรงดัน และระดับกระแสที่แน่นอนของ Hall sensors ที่จะใช้ โดยทั่วไปเอาต์พุตของ Hall sensors จะเป็นแบบ Open Collector

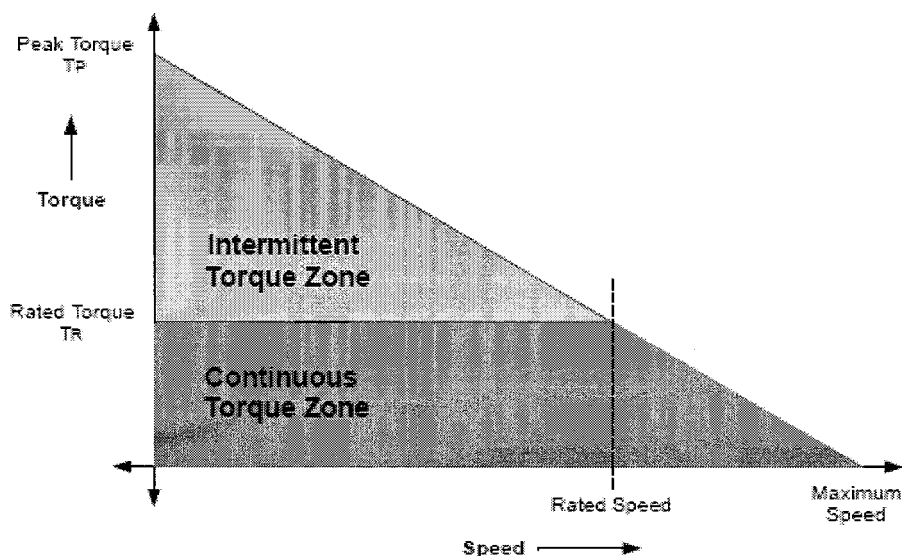
2.3.6 หลักการทำงาน

ในแต่ละลำดับของคอมมิวเตชัน มีหนึ่งขดที่จ่ายพลังงานเป็นบวก (กระแสไหลเข้าขดลวด) ขดที่สองเป็นลบ (กระแสไหลออกจากขดลวด) และขดที่สามไม่มีการกระตุ้น เกิดแรงบิด เพราะมีการตัดกันระหว่างสนามแม่เหล็กจากขดลวดสเตเตอร์กับแม่เหล็กถาวร แรงบิดสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อสนามทั้งสองอยู่ที่ 90 องศาซึ่งกันและกัน และตกลงมาเมื่อสนามเคลื่อนที่ไปพร้อมกันเพื่อจะให้มอเตอร์หมุนอย่างต่อเนื่อง สนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างโดยขดลวด จะต้องเลื่อนตำแหน่งของโรเตอร์ให้หมุนตามให้ทันสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ ในการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดมีอยู่ 6 ขั้นตอน ดูลำดับของการคอมมิวเตชัน รายละเอียดและตัวอย่างใน หกขั้นตอนการคอมมิวเตชัน

เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ กำหนดให้มีขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ 1 ขั้ว รูป แสดงการทำงานวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน ซึ่งมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ (Hall Sensors) โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจาก Hall Sensors มาประมวลผลเพื่อควบคุมอุปกรณ์กำลัง เพื่อให้เกิดพัลส์แม่เหล็กที่สเตเตอร์ตัดกับพัลส์แม่เหล็กที่โรเตอร์ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ใช้กับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน คือชุดอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

2.3.7 กราฟคุณลักษณะของความเร็วรอบต่อแรงบิด

รูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะของความเร็วรอบต่อแรงบิด มีอยู่ 2 ตัวแปรที่จะใช้อธิบายมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน คือแรงบิดสูงสุด (TP) และอัตราของแรงบิด (TR) ในระหว่างที่มอเตอร์ทำงานอยู่สามารถเพิ่มโหลดถึงพิกัดของแรงบิดสูงสุดในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน แรงบิดยังมีค่าคงที่ สำหรับช่วงเร่งความเร็วที่เพิ่มขึ้นถึงอัตราของความเร็วระดับหนึ่ง มอเตอร์สามารถหมุนถึงความเร็วสูงสุด ซึ่งสามารถหมุนได้ถึง 150% ของอัตราเร็ว แต่แรงบิดตอนสตาร์ทนั้นจะลดลง



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของความเร็วรอบต่อแรงบิด

ในการใช้งานที่มีการหมุนการหยุด และการกลับทางหมุนของมอเตอร์บ่อยๆ ในขณะที่มอเตอร์มีโหลด จะต้องการแรงบิดที่มากกว่าอัตราของแรงบิดนี้ มีความต้องการในระยะเวลาสั้น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนจากที่หยุดนิ่ง ในระหว่างระยะเวลาการเร่งนี้ แรงบิดที่ต้องการที่จะชนะแรงเฉื่อยของโหลดและของของตัวโรเตอร์เอง มอเตอร์สามารถให้แรงบิดที่สูง

มากขึ้นถึงแรงบิดสูงสุด ดังแสดงในกราฟแสดงความเร็วต่อแรงบิด ในการเลือกมอเตอร์ไปใช้ให้เหมาะสมกับงาน จะต้องรู้ถึงวิธีการเลือกตัวแปรเหล่านี้สำหรับการนำไปใช้

2.3.8 การเปรียบเทียบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านกับมอเตอร์ชนิดอื่น ๆ

การเปรียบเทียบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านมีข้อดีหลายอย่างและมีข้อเสียเพียงเล็กน้อย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน ต้องการการบำรุงรักษาน้อย และมีอายุการใช้งานมากกว่า เมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน ผลิตพลังงานเอาท์พุทเมื่อเทียบกับขนาดได้มากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่านและมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพราะโรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวรทำให้มีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อย เมื่อเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นๆ ทำให้การเร่งดีขึ้น ลักษณะเฉพาะที่ทำให้ความเร็วรอบลดลง กราฟคุณลักษณะของความเร็วต่อแรงบิดเป็นเชิงเส้น สามารถควบคุมความเร็วได้คงที่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน แปรงถ่านได้ถูกตัดออกไป เพราะในการนำไปใช้งานจะต้องมีการบำรุงรักษาซึ่งยุ่งยาก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน มีการทำงานที่เงียบมากกว่ามอเตอร์ที่มีแปรงถ่าน ลดการรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI)

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่าง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน

คุณลักษณะ	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน
การคอมมิวเตชัน	ใช้อิเล็กทรอนิกส์ในการคอมมิวเตชัน โดยใช้เซนเซอร์บอกตำแหน่ง	ใช้แปรงถ่านในการคอมมิวเตชัน
การบำรุงรักษา	ต้องการการบำรุงรักษาน้อย เพราะไม่มีแปรงถ่าน	ต้องการการบำรุงรักษาเป็นระยะๆ
อายุการใช้งาน	นาน	สั้น

คุณลักษณะของกราฟความเร็ว ต่อแรงบิด	เป็นเชิงเส้นทำให้สามารถ ทำงานได้ทุกความเร็วขณะมี โหลด	เป็นเชิงเส้นเล็กน้อยที่ความเร็ว สูงกว่า การเสียดสีของแปรงถ่าน เพิ่มขึ้นทำให้แรงบิดลดลง
กำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต/ขนาด เฟรม	สูง-ลดขนาดลงเนื่องจาก คุณลักษณะทางความร้อนสูง เพราะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบไม่มีแปรงถ่านมีขดลวดอยู่ กับสเตเตอร์ซึ่งถูกต่ออยู่กับ ตัวถังระบายความร้อนได้ดีกว่า	ต่ำ – ความร้อนเกิดอาร์เมเจอร์ กระจายในช่องว่างอากาศ ดังนั้นเป็นการเพิ่มอุณหภูมิใน ช่องว่างอากาศและการ กำจัดสเปคของกำลังไฟฟ้าด้าน เอาต์พุต/ขนาดเฟรม
ความเฉื่อยของโรเตอร์	ต่ำ-เพราะมีแม่เหล็กที่อยู่บนโร เตอร์เป็นการทำให้ผลการ ตอบสนองไดนามิกดีขึ้น	ความเฉื่อยของโรเตอร์สูงซึ่ง จำกัดคุณลักษณะทางไดนามิก

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่าง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน
กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน

คุณลักษณะ	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ไม่มีแปรงถ่าน	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ มีแปรงถ่าน
ขอบเขตความเร็ว	สูง-ไม่มีข้อจำกัดในทางกลที่ กำหนดโดยแปรงถ่าน และ คอมมิวเตเตอร์	ต่ำ-มีข้อจำกัดโดยทางกลโดย แปรงถ่าน
การกำเนิดสัญญาณรบกวน	ต่ำ	การอาร์คที่แปรงถ่านสร้าง สัญญาณรบกวน EMI เข้า อุปกรณ์ใกล้เคียง

ราคา	แพง-เนื่องจากแม่เหล็กถาวรให้ ราคาสูง	ถูก
การควบคุม	มีความซับซ้อนและราคาแพง	ง่ายและราคาไม่แพง
ความต้องการในการควบคุม	ตัวควบคุมจะต้องทำให้ มอเตอร์หมุน ตลอดตัวคุมตัว เดียวกัน สามารถใช้สำหรับ ควบคุมความเร็วได้	ไม่มีตัวควบคุมสำหรับกำหนด ความเร็ว ต้องการตัวควบคุม ยกเว้นถ้าต้องการความเร็วที่ เปลี่ยนแปลงได้

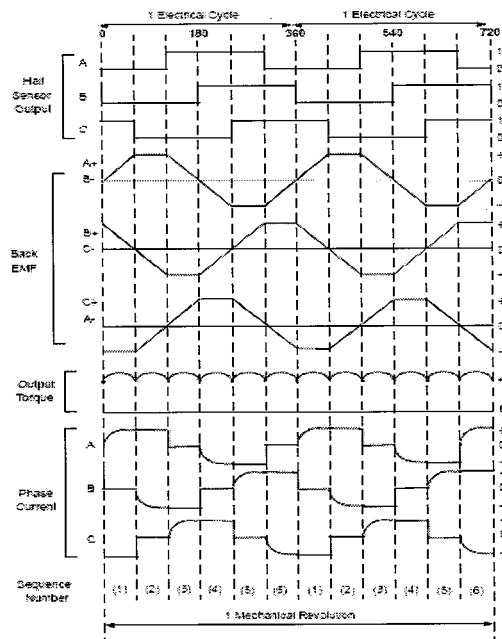
ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่าง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน
กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ

คุณลักษณะ	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ไม่มีแปรงถ่าน	มอเตอร์เหนี่ยวนำ
คุณลักษณะของกราฟความเร็ว ต่อแรงบิด	เป็นเชิงเส้น-ทำให้สามารถ ทำงานได้ทุกความเร็วขณะมี โหลด	ไม่เป็นเชิงเส้น-แรงบิดต่ำที่ ความเร็วต่ำ
กำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต/ขนาด เฟรม	สูง-เนื่องจากมีแม่เหล็กถาวรที่ โรเตอร์ขนาดเล็กสามารถทำให้ เกิดกำลังเอาต์พุตได้	ปานกลาง-เนื่องจากที่สเตเตอร์ กับ โรเตอร์มีขดลวดพันอยู่ทำ ให้เกิดกำลังด้านเอาต์พุตต่ำกว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ไม่มีแปรงถ่าน
ความเฉื่อยของโรเตอร์	ต่ำ-คุณลักษณะทางไดนามิก ดีกว่า	สูง-คุณลักษณะทางไดนามิก ไม่ดี
กระแสสตาร์ท	Rate-ไม่ต้องการวงจรพิเศษใน การสตาร์ท	ประมาณเจ็ดเท่าของ Rate- Starterขนาดของวงจรควรเลือก อย่างรอบคอบโดยทั่วไปให้ สตาร์ท-เดลต้าในการสตาร์ท

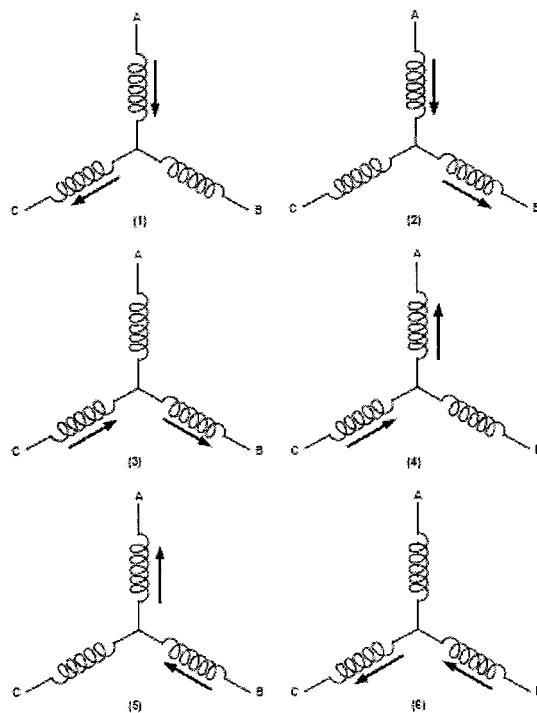
ความต้องการในการควบคุม	ตัวควบคุมจะต้องทำให้มอเตอร์หมุนตลอด ตัวเดียวกันสามารถใช้สำหรับควบคุมความเร็วได้	ไม่มีตัวควบคุมสำหรับกำหนดความเร็ว ต้องการตัวควบคุมยกเว้นถ้าต้องการความเร็วที่เปลี่ยนแปลงได้
ค่าสลิป	ไม่มีค่าสลิปเกิดขึ้นในช่วงความถี่ของสเตเตอร์กับโรเตอร์	โรเตอร์หมุนที่ความถี่ต่ำกว่าสเตเตอร์โดยความถี่สลิปและค่าสลิปทำให้เพิ่มขึ้นโดยโหลดของมอเตอร์

2.3.9 ลำดับในการคอมมิวเตชัน

รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของสัญญาณ Hall sensors กับ Back EMF และกระแสเฟส รูปที่แสดงลำดับการสวิตช์ที่สัมพันธ์กับ Hall sensors รูปที่สอดคล้องกับรูปที่ ในการหมุนทุกๆ 60 องศา ไฟฟ้า หนึ่งใน Hall sensors จะเปลี่ยนสถานะ จะต้องทำหกขั้นตอนจึงครบหนึ่งรอบทางไฟฟ้าในเวลาเดียวกัน ทุกๆ 60 องศาทางไฟฟ้าการสวิตช์กระแสเฟสจะต้องเปลี่ยนไปเรื่อยๆ อย่างไรก็ตาม หนึ่งรอบทางไฟฟ้า อาจจะไม่เหมือนหนึ่งรอบในทางกลของโรเตอร์ จำนวนรอบทางไฟฟ้าจะวนซ้ำจนครบการหมุนทางกล กำหนดโดยคู่ขั้วโรเตอร์ สำหรับในแต่ละคู่ขั้วของโรเตอร์หนึ่งรอบทางไฟฟ้าจึงครบ ดังนั้นจำนวนรอบทางไฟฟ้าต่อการหมุนเท่ากับคู่ขั้วโรเตอร์



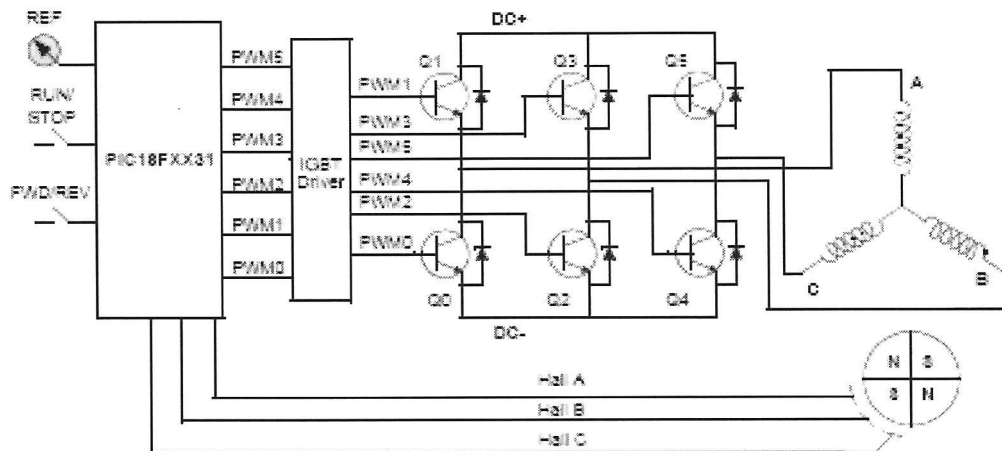
รูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณ Hall sensors, Back EMF, แรงบิดทางเอาท์พุทและกระแสเฟส



รูปที่ 2.8 แสดงลำดับของการจ่ายกระแสให้กับขดลวด

รูปที่ 2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุม ที่ใช้ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน ทรานซิสเตอร์ Q0 ถึง Q5 เป็นอุปกรณ์สวิตช์กำลังควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอุปกรณ์ในการสวิตช์สามารถใช้ MOSFETs, IGBTs หรือ Bipolar Transistors

ตัวนำกอสมูลกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุม

ตารางที่ 4 แสดงลำดับสำหรับการหมุนมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

Sequence #	Hall Sensor Input			Active PWMs		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	0	0	1	PWM1(Q1)	PWM4(Q4)	DC+	Off	DC-
2	0	0	0	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	DC-	DC-	Off
3	1	0	0	PWM5(Q5)	PWM2(Q2)	Off	DC-	DC+
4	1	1	0	PWM5(Q5)	PWM0(Q0)	DC-	Off	DC+
5	1	1	1	PWM3(Q3)	PWM0(Q0)	DC-	DC+	Off
6	0	1	1	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	Off	DC+	DC-

ตารางที่ 5 แสดงลำดับสำหรับการหมุนมอเตอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

Sequence #	Hall Sensor Input			Active PWMs		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	0	1	1	PWM5(Q5)	PWM2(Q2)	Off	DC-	DC+
2	1	1	1	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	DC-	DC-	Off
3	1	1	0	PWM1(Q1)	PWM4(Q4)	DC-	Off	DC-
4	1	0	0	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	Off	DC+	DC-
5	0	0	0	PWM3(Q3)	PWM0(Q0)	DC-	DC+	Off
6	0	0	1	PWM5(Q5)	PWM0(Q0)	DC-	Off	DC+

จากตารางที่ 4 สำหรับการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา และตารางที่ 5 สำหรับการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา นี่เป็นตัวอย่างของสัญญาณ Hall Sensors ที่มุมต่างเฟส 60 องศา อย่างที่เคยได้กล่าวไว้ในตอนแรกในส่วนของ Hall Sensors ซึ่งอาจมีมุมต่างเฟส 60 องศา หรือ 120 องศาแล้วแต่นิด

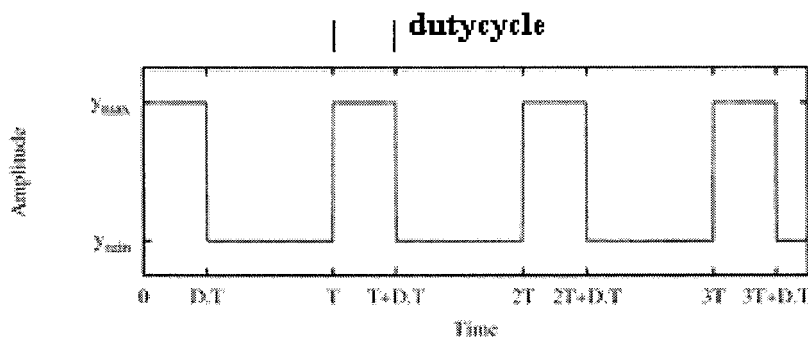
จากรูปที่ 2.9 ถ้าสัญญาณถูกกำหนด โดย PWMx สวิตช์ปิดและเปิดอย่างต่อเนื่อง มอเตอร์ที่จะหมุนที่ระดับความเร็วที่กำหนด สมมติว่าแรงดัน DC Bus เท่ากับระดับแรงดันของมอเตอร์บวกกับค่าสูญเสียในสวิตช์ การเปลี่ยนแปลงความเร็วควรจะเป็นสัญญาณ PWM ที่ความถี่สูงกว่าความถี่

ของมอเตอร์ ในการคำนวณแบบหยาบๆ ความถี่ PWM อย่างน้อยที่สุดควรเป็น 10 ครั้งของความถี่สูงสุดของมอเตอร์ เมื่อ-duty cycle ของ PWM เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายให้สเตเตอร์ลดลง ดังนั้นการลดความเร็วเป็นประโยชน์อีกอย่างที่ได้จาก PWM ถ้าแรงดัน DC Bus สูงมากกว่าขนาดของแรงดันของมอเตอร์ มอเตอร์สามารถควบคุมได้โดยกำหนดอัตราส่วนร้อยละของ PWM Duty Cycle ให้มีลักษณะเดียวกันกับขนาดของแรงดันมอเตอร์เพื่อเพิ่มการยืดหยุ่นต่อการควบคุม เพื่อใช้กับมอเตอร์ที่ขนาดแรงดันแตกต่างกันและปรับแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยโดยตัวควบคุม ต่อขนาดแรงดันมอเตอร์ โดยการควบคุม PWM Duty Cycle ถ้าสัญญาณ PWM กำหนดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตซ์ด้านสูงสามารถเปิด ในคาบเวลาที่มีลำดับตรงกัน และเช่นเดียวกัน สวิตซ์ด้านต่ำสามารถควบคุมโดยใช้ Duty Cycle จาก PWM

2.4 PWM

2.4.1 สัญญาณ PWM

สัญญาณ PWM ย่อมาจาก Pulse Width Modulation เป็นสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่เรียกว่า duty cycle (duty Cycle) เนื่องจากการปรับค่า duty cycle นั้นจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้อุปกรณ์ โดยในที่นี้คือมอเตอร์



รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม

จากตารางที่ 4 และที่ 5 เวลาในการจ่าย PWM ตามลำดับการคอมมิวเตชัน สามารถกำหนดได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.2 โมดูลที่เกี่ยวข้องในการสร้างสัญญาณ PWM

Dspic30f2010 สามารถสร้างสัญญาณ PWM ได้จากโมดูลพิเศษ 2 โมดูลคือ

1. โมดูลเปรียบเทียบข้อมูล (Output compare: oc)
2. โมดูล MCPWM (motor control PWM)

โดยโมดูลที่ใช้ในการทดลองคือ โมดูล MCPWM

2.4.3 ทำไมถึงใช้ PWM ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

มีหลายเหตุผลว่าทำไม PWM ถึงถูกเลือกใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เช่น

- PWM ง่ายในการอินเตอร์เฟสกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ใช้เพียงแค่อำนาจสัญญาณเดียวในการควบคุมความเร็ว
- PWM มีประสิทธิภาพ คือ Power Supply จะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF (FULL ON and FULL OFF)
- PWM ทำให้ได้ค่า ทอร์ค และ ความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ เป็นเพราะ Power Supply จะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF (FULL ON and FULL OFF)

2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

MCLR	1	28	AVDD
EMUD3/AN0/VREF+/CN2/RB0	2	27	AVSS
EMUC3/AN1/VREF-/CN3/RB1	3	26	PWM1L/RE0
AN2/SS1/CN4/RB2	4	25	PWM1H/RE1
AN3/INDX/CN5/RB3	5	24	PWM2L/RE2
AN4/QEA/IC7/CN6/RB4	6	23	PWM2H/RE3
AN5/QEB/IC8/CN7/RB5	7	22	PWM3L/RE4
VSS	8	21	PWM3H/RE5
OSC1/CLKI	9	20	VDD
OSC2/CLKO/RC15	10	19	VSS
EMUD1/SOSCI/T2CK/U1ATX/CN1//RC13	11	18	PGC/EMUC/U1RX/SDI1/SDA/RF2
EMUC1/SOSCO/T1CK/U1ARX/CN0/RC14	12	17	PGD/EMUD/U1TX/SDO1/SCL/RF3
VDD	13	16	FLTA/INT0/SCK1/OCFA/RE8
EMUD2/OC2/IC2/INT2/RD1	14	15	EMUC2/OC1/IC1/INT1/RD0

รูปที่ 2.11 แสดงการจัดเรียงขาสัญญาณของ dsPIC30F2010

dsPIC30F2010 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

2.5.1 คุณสมบัติของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

- มี 84 คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐาน รองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูแบบ RISC
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที

- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
 - มีหน่วยความจำเป็นแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง
- สามารถ ป้องกันการอ่านได้ และสามารถโปรแกรมตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีพรอมที่สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
 - มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์จำนวนมาก จึงรองรับการตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ดี
 - มีวงจรจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
 - มีเพาเวอร์-อนรีเซต, เพาเวอร์-อัปเดตไทมเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สแตต-อัปเดตไทมเมอร์
 - มีวอตช์ดีด็อกไทมเมอร์แบบโปรแกรมได้
 - มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
 - รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICS : In-Circuit Serial Programming)
 - สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้

2.5.2 คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิทัล

- มีแอกคูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับรองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี
- อย่างดี
- มีหน่วยประมวลผลการคูณและการหารเลข 17 บิต ในรูปของฮาร์ดแวร์จึงทำให้สามารถคูณและการเลขได้อย่างรวดเร็ว
 - ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไซเคิล
 - มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนบิตมากๆ สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว
 - มีวงจรเพตซ์ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

2.5.3 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบกระแสซิงก์และซอร์ส
- ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต ไม่น้อยกว่า 3 ตัวต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทมเมอร์ 32 บิต
- มีโมดูลตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัล
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้งแบบ SPI และผ่านระบบบัส I2C
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO

- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล ความละเอียด 10 หรือ 12 บิต
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดตราเจอร์

2.5.4 หน่วยความจำ

dsPIC30F2010 มีหน่วยความจำโปรแกรม 4 กิโลไบต์ แอดเดรสอยู่ในช่วง 0x000100 ถึง 0x001FFE สามารถโปรแกรมหรือเขียนข้อมูลลงได้ 2 วิธีคือ

1. โดยใช้การโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรมหรือ ICSP ผ่านทางขา PGD และ PGC (ขาที่ 17 และ 18) แล้วป้อนสัญญาณพัลส์แรงดันสูงสำหรับโปรแกรมผ่านเข้ามาทางขา MCLR

2. โปรแกรมตัวเองในขณะที่ทำงานหรือ RTSP (Run Time Self-Programming) ส่วนหน่วยความจำข้อมูลแรมนั้น dsPIC30F2010 ได้จัดสรรเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลแรม X และ Y แต่ละส่วนมีขนาด 16 บิต ความจุ 256 ไบต์ รวมเป็น 512 ไบต์ โดยในแต่ละส่วนจะมีตัวกำหนดแอดเดรสแยกออกจากกัน เรียกว่า AGU (Address Generation Unit)

ในขณะที่หน่วยความจำข้อมูลอีพีรอม dsPIC30F2010 จัดสรรไว้ที่แอดเดรส 0x7FFC00 ถึง 0x7FFFFE มีความจุ 1 กิโลไบต์

2.5.5 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต

dsPIC30F2010 มีพอร์ตให้ใช้งานมากถึง 5 พอร์ตรวม 20 ขาดังนี้

พอร์ต B มี 6 ขาคือ RB0-RB5 โดยทุกขาสามารถกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตหรือ เอาต์พุตได้ และยังสามารถขับกระแสทั้งแบบซิงก์และซอร์สได้สูงถึง 25 mA

พอร์ต C มี 3 ขาคือ RC13-RC15

พอร์ต D มี 2 ขาคือ RD0 และ RD1

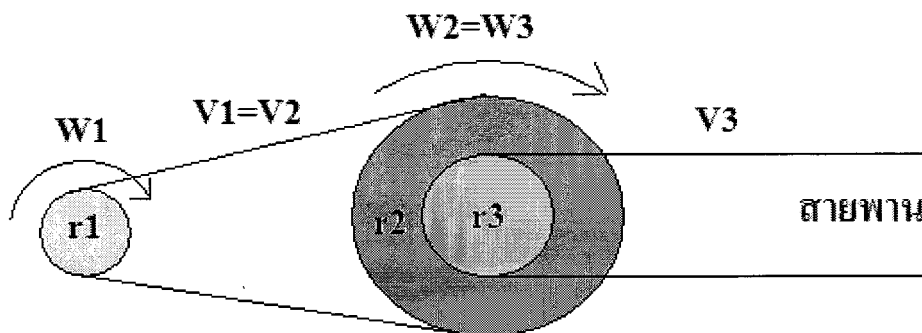
พอร์ต E มี 7 ขาคือ RE0-RE5 และ RE8

พอร์ต F มี 2 ขาคือ RF2 และ RF3

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 การออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 รูปเฟืองและพูลเลย์ที่ใช้ในการออกแบบ

r_1 = รัศมีของเฟืองมอเตอร์, v_1 = ความเร็วเชิงเส้นของเฟืองมอเตอร์,

w_1 = ความเร็วเชิงมุมของเฟืองมอเตอร์,

r_2 = รัศมีของเฟืองที่ติดกับพูลเลย์, v_2 = ความเร็วเชิงเส้นของเฟืองที่ติดกับพูลเลย์,

w_2 = ความเร็วเชิงมุมของเฟืองที่ติดกับพูลเลย์

r_3 = รัศมีของพูลเลย์, v_3 = ความเร็วเชิงเส้นของพูลเลย์, w_3 = ความเร็วเชิงมุมของพูลเลย์

สมการการหาขนาดของมอเตอร์ที่ต้องการใช้ในโครงการ ซึ่งสามารถหาค่าที่ต้องการได้จาก

$$P = 2\pi T \frac{N}{60}$$

โดยที่

P = กำลังมอเตอร์ (watt)

T = แรงบิด (N.m)

N = ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)

การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์

กำหนดให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่มีน้ำหนัก = 2 Kg, ความเร็วสายพาน = 2.4 เมตร/นาที

สามารถคำนวณแรงบิดได้จากสมการ

$$T = F \times r$$

โดยที่ รัศมีของพูลเลย์ = 0.02 m

$$F = uN ; u = 0.5$$

$$= 0.5 \times 20$$

$$= 10 \text{ N.}$$

$$\begin{aligned}\text{ขนาดแรงบิด (T)} &= 10 \times 0.02 \\ &= 0.2 \text{ N.m}\end{aligned}$$

และหาความเร็วรอบของมอเตอร์จาก

$$V = \omega r$$

โดย

$$r_1 = 0.015 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.04 \text{ m}$$

$$r_3 = 0.02 \text{ m}$$

$$\text{โดย } v_1 = v_2 \text{ และ } \omega_2 = \omega_3$$

จากที่กำหนด

$$V_3 = 2.4 \text{ m/min}$$

$$= 0.04 \text{ m/sec}$$

$$\omega_3 = 0.04/0.02$$

$$= 2 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_2 = 2 \text{ rad/sec}$$

$$V_2 = V_1$$

$$\omega_2 r_2 = \omega_1 r_1$$

$$2 \times 0.04 = \omega_1 \times 0.015$$

$$\omega_1 = 5.33 \text{ rad/sec}$$

จาก

$$N = \omega \times 60/2\pi$$

ดังนั้น

$$N_1 = 50.92 \text{ rpm}$$

โดยมอเตอร์มีอัตราทดเกียร์ 1:8.22

จะได้ว่า จำนวนรอบของมอเตอร์

$$= 50.92 \times 8.22$$

$$= 418.56 \text{ rpm}$$

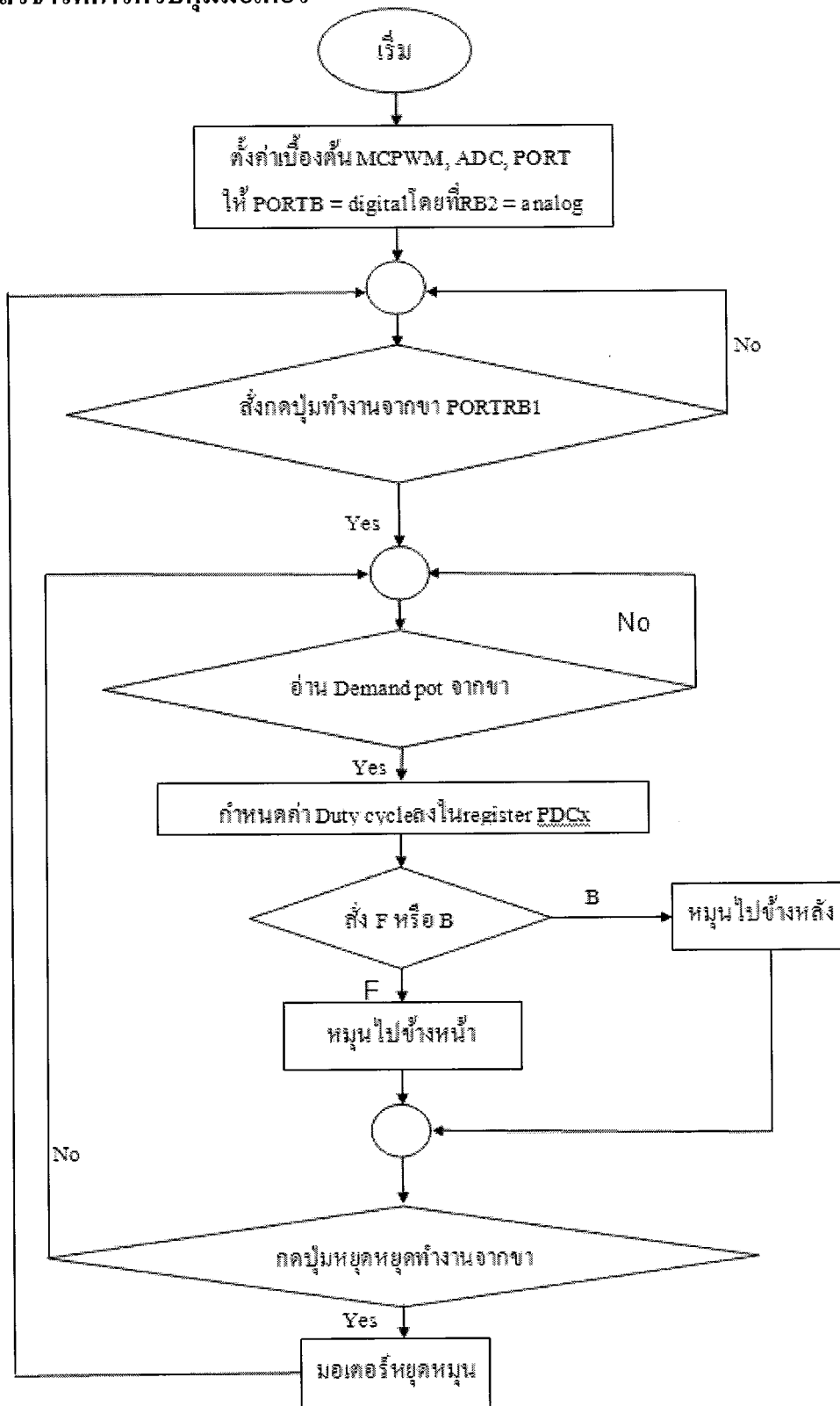
จะสามารถคำนวณหาค่ากำลังของมอเตอร์ที่ต้องใช้ได้จากสมการ

$$P = \frac{2\pi TN}{60};$$

$$= (2)(3.14)(0.2)(418.56)/(60)$$

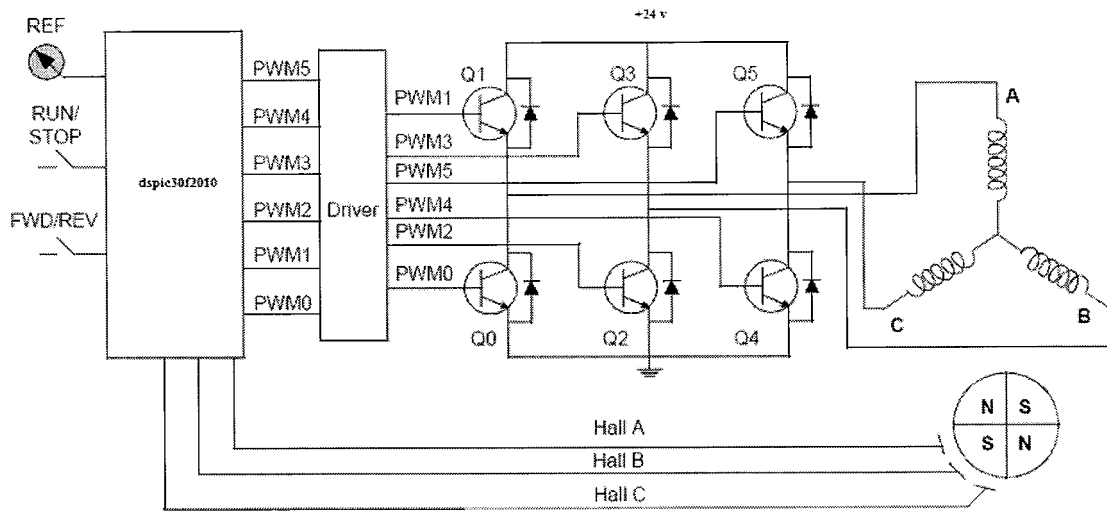
$$= 8.76 \text{ W}$$

3.2 โฟลว์ชาร์ตการควบคุมมอเตอร์

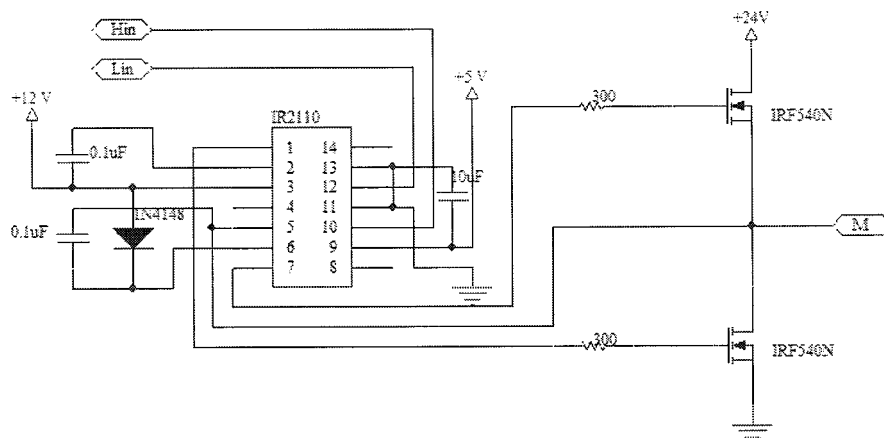


รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาร์ตการควบคุมมอเตอร์

3.3 ส่วนวงจร Driver และ Switch



รูปที่ 3.3 แสดงภาพรวมของระบบการควบคุม



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรส่วน Driver และ switch

จากรูปวงจร driver สามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. ส่วนขั้วเกท ใช้ IC เบอร์ IR2110 ในการขับ โดยใช้การต่อวงจรตามดาตาชีท
2. ส่วนตัว switch ใช้ N-mosfet เบอร์ IRF540N เป็นตัว switch

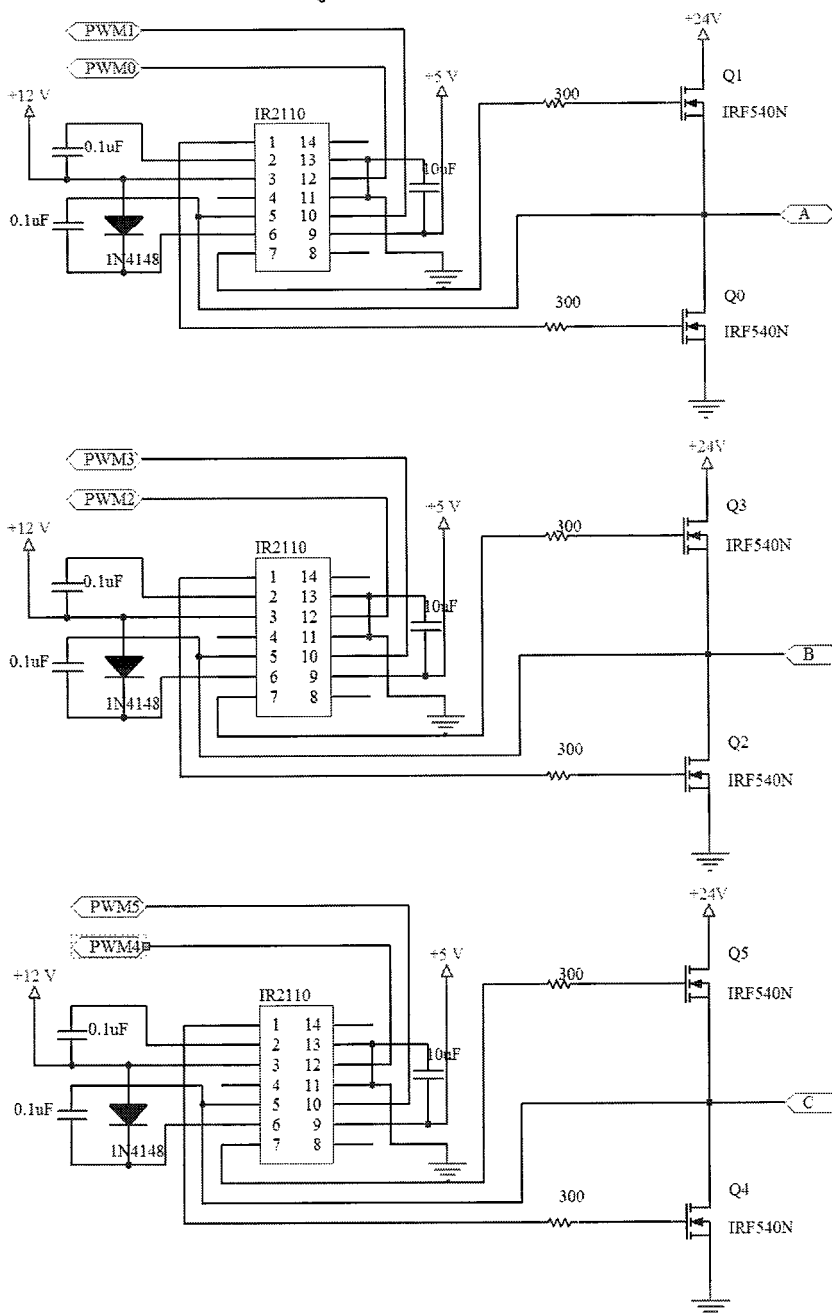
การทำงานของวงจร

เมื่อมีการป้อนอินพุตเข้ามาที่ IR2110 (อินพุตที่เข้ามาที่ขา Hin, Lin จะต้องป้อนมาไม่พร้อมกัน)

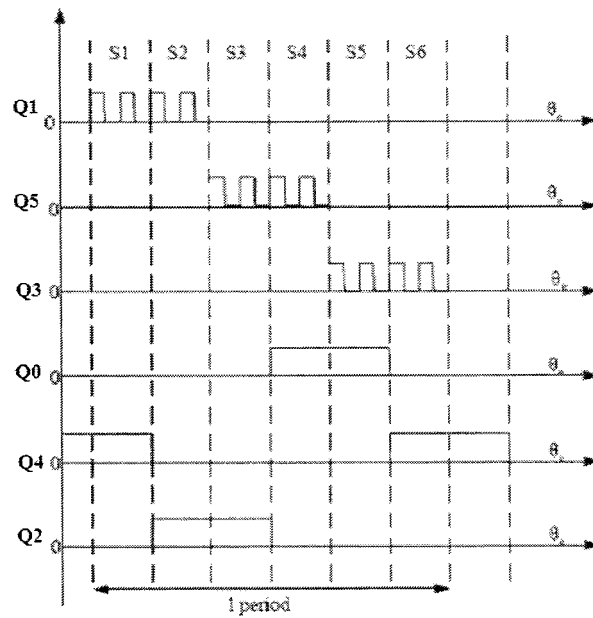
1. เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์เป็นอินพุตเข้าที่ขา 10 (Hin) ทำให้สัญญาณออกที่ขา 7 (Ho) ไปขับ IRF540N ตัวบนให้ทำงาน เป็น switch ทำให้เราได้สัญญาณพัลส์เป็น output ไปใช้ในการขับมอเตอร์ (กระแสไหลเข้ามอเตอร์)

2. เมื่อป้อนสัญญาณไฟตรงเป็นอินพุตเข้าที่ขา 12 (Lin) ทำให้สัญญาณออกที่ขา 1 (Lo) ไปขับ IRF540N ตัวล่างให้ทำงาน เป็น switch ทำให้เราได้สัญญาณ GND เป็น output ไปใช้ในการขับมอเตอร์ (กระแสไหลออกมอเตอร์)

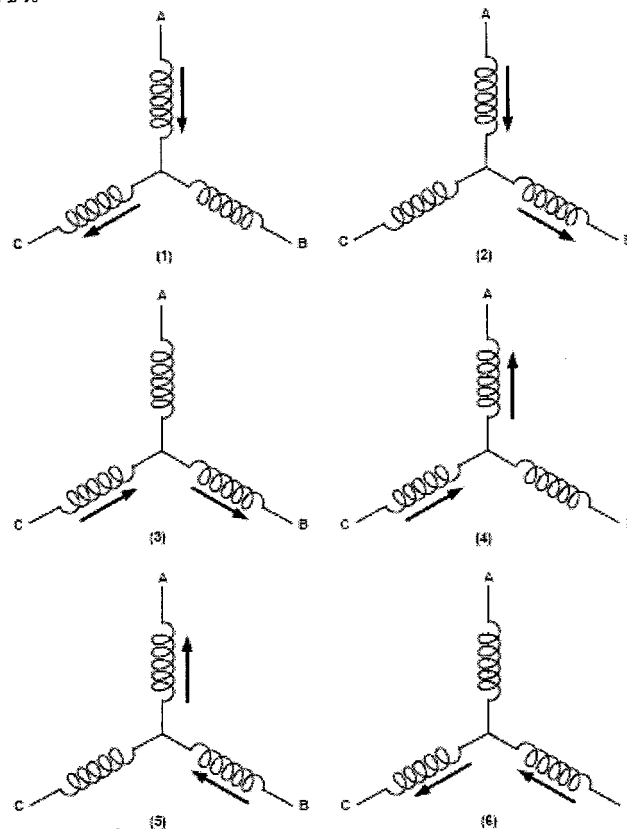
โดยใช้วงจรนี้ 3 ชุดในการขับ BLDC motor ซึ่งสัญญาณที่ป้อนเป็นอินพุต Hin, Lin จะต้องป้อนตามลำดับการคอมมิวเตชัน ตามรูปดังนี้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรส่วน Driver และ switch ทั้ง 3 ชุดที่ใช้ในการขับมอเตอร์



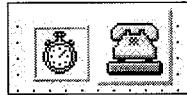
รูปที่ 3.6 แสดงการป้อนอินพุตเป็นพัลส์เข้าที่ขา Hin และเป็นไฟตรงเข้าที่ขา Lin ตามลำดับการคอมมิวเตชัน



รูปที่ 3.7 แสดงกระแสที่ไหลเข้า-ไหลออกมอเตอร์ ตามการป้อนอินพุตที่ป้อน ตามลำดับการคอมมิวเตชัน

3.4 ส่วนการอินเทอร์เฟซ บนคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้จะประกอบด้วย โปรแกรมอินเทอร์เฟซ โดยใช้ภาษา Visual Basic จะมีการรับและ ส่งค่า ทิศทาง, ความเร็ว และ ตำแหน่ง กับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPic ทางพอร์ตอนุกรม การกำหนดคุณสมบัติของ MSComm Control ให้สามารถติดต่อกับ Microcontroller ทาง Serial Port ได้



1. Property ชื่อ CommPort คือ เลือกคอมพอร์ตที่เราจะต่อใช้งาน มาดูการเขียน โค้ดกัน ตัวอย่าง `MSComm1.CommPort=1` ในที่นี้เลือกจะใช้ Com1อยู่ที่ด้านหลังเครื่องคอมพิวเตอร์
2. Property ชื่อ Settings คือ การตั้งค่าของการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะต้องรู้ด้วยว่าอัตราบอดการรับส่งข้อมูล ของอุปกรณ์ที่จะติดต่อด้วยเป็นเท่าไร โดยมีรายละเอียดการใส่ต่างๆค่าดังนี้ `MSComm1.Settings = "Baud(อัตราการรับส่งข้อมูล),Parity(ถ้าไม่ใช่ N,จำนวนบิตข้อมูล,บิตสตอป"` มาดูการเขียน โค้ดกัน

ตัวอย่าง `MSComm1.Settings="9,600,N,8,1"`

3. Property ชื่อ InputLen คือ กำหนดขนาดขณะที่มีข้อมูลเข้ามาให้ไปอ่านข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในบัฟเฟอร์ มาดูการเขียน โค้ดกัน

ตัวอย่าง `MSComm1.InputLen=1`

4. Property ชื่อ PortOpen คือ จะเปิดให้พอร์ตใช้งานหรือไม่ ถ้าเปิด =True ถ้าปิด =False มาดูการเขียน โค้ดกัน

ตัวอย่าง `MSComm1.PortOpen=True`

5. Property ชื่อ Rthreshold คือ ทำให้เกิดการกระตุ้นด้วย Event-driven เมื่อมีข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูล(Comport)มันทำให้เกิดCommEvent ใน OnComm Event มาดูการเขียน โค้ดกัน

ตัวอย่าง `MSComm1.Rthreshold =1`

ในการรับส่งค่ามีอยู่สอง Form

1. Form ส่วนของการ Set property การติดต่อสื่อสาร

The screenshot shows a window titled 'Form1' with a 'Properties' section. It contains several settings for a serial port connection:

- Port:** A dropdown menu showing 'Com1'.
- Maximum Speed:** A dropdown menu showing '9600'.
- Connection Preference:**
 - Data Bits:** A dropdown menu showing '8'.
 - Parity:** A dropdown menu showing 'None'.
 - Stop Bits:** A dropdown menu showing '1'.
- Flow Control:** A group box containing three radio buttons:
 - None
 - Xon/Xoff
 - RTS
 - Xon/RTS

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are located on the right side of the dialog.

รูปที่ 3.8 แสดง Form ในส่วนของการตั้งค่าการติดต่อไปยังอีก Form หนึ่ง

2. Form ส่วนของการรับ และ ส่งค่า

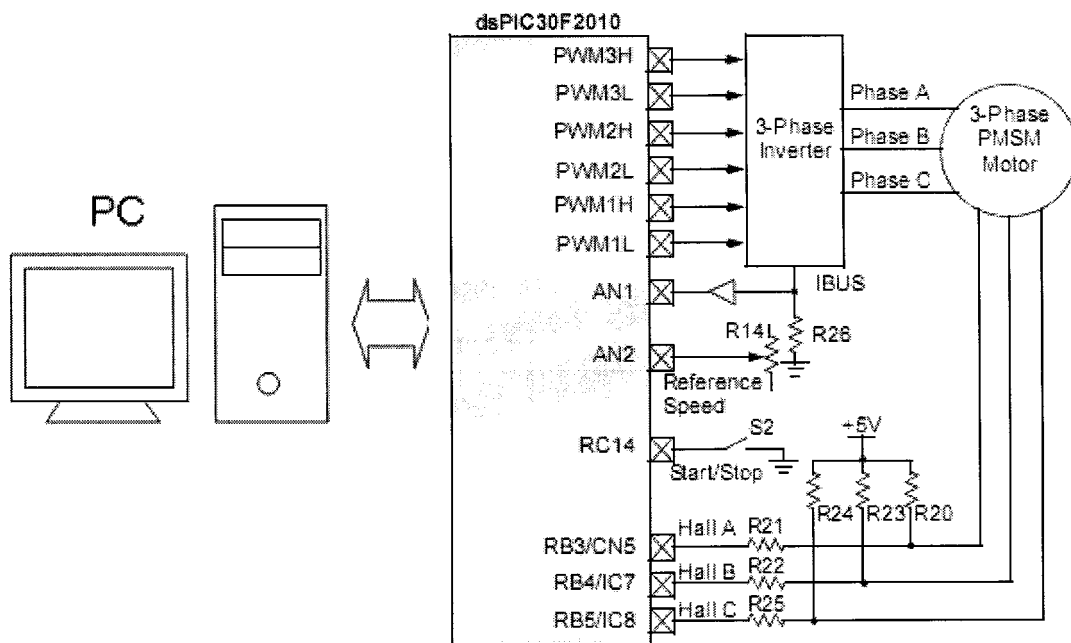
The screenshot shows a window titled 'Form3' with the subtitle 'CommPort Mode'. The main title is 'ตั้งค่าควบคุมระบบสายพาน' (Conveyor System Control Settings). The interface includes the following elements:

- ความเร็วที่ได้ (Actual Speed):** A text field with a blacked-out value.
- ความเร็วที่ต้องการ (Desired Speed):** Three dropdown menus for setting speed, followed by 'เมตร ต่อ นาที' (meters per minute).
- เลือกจังหวะการหมุน (Select rotation phase):** Two radio buttons labeled 'จังหวะที่ 1' (Phase 1) and 'จังหวะที่ 2' (Phase 2).
- ระยะทาง (Distance):** Two dropdown menus for distance, followed by 'เซนติเมตร' (centimeters).
- เวลา (Time):** Two dropdown menus for time, followed by 'วินาที' (seconds).
- ลักษณะการหมุน (Rotation direction):** Two radio buttons: 'หมุนไปข้างหน้า' (Rotate forward) and 'หมุนกลับหลัง' (Rotate backward).
- Buttons:** 'หยุด' (Stop) and 'เริ่มทำงาน' (Start).
- Status:** A circular indicator and the text 'Status: Void'.
- Footer:** 'Mode: Status: Void Settings:'

รูปที่ 3.9 แสดง Form ในส่วนของการส่งค่าไปยัง Microcontroller รับค่าที่ได้จากอีก Form หนึ่ง

รูปแบบการติดต่อสื่อสารรับส่งระหว่าง คอมพิวเตอร์กับ Microcontroller ตัวหลัก จะส่งอยู่ในรูปแบบรหัส Ascii โดยจะเป็นการส่งรหัส เพื่อบอกว่าเป็นการทำงานโหมดใด ความเร็วเท่าไร ทิศทางอย่างไร ระยะทางที่ต้องการเท่าไร โดยส่งเป็น 8 bit

ฟังก์ชันติดต่อสื่อสารพอร์ตอนุกรม



รูปที่ 3.10 แสดงการควบคุมสายพานโดยการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์

การควบคุมระบบสายพานสามารถติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ คือเครื่องพีซีผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตอบสนองต่อคำสั่งนั้น ข้อมูลที่รับส่งจะเป็นรหัสแอสกีทั้งหมด เนื่องจากระบบไม่ต้องการการสื่อสารที่ความเร็วสูง จึงใช้พอร์ตอนุกรม RS-232 ได้

เราจะใช้พอร์ต UART1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 30F2010 ในการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์เริ่มจากการตั้งค่าที่เหมาะสมในการติดต่อสื่อสาร คือ ค่าอัตราบอดและฟอร์แมตของการสื่อสาร ในที่นี้เราตั้งค่าอัตราการรับส่งที่ 9,600 และฟอร์แมต 8,N,1 คือ จำนวนข้อมูล 8 บิต และ 1 สตอปบิต ไม่มีบิตตรวจสอบพาริตี โดยตั้งค่าดังนี้

```

Init_Uart()

// Config UART1 Interrupt Control

ConfigIntUART1(UART_RX_INT_EN &                                // Disable RX Interrupt
                UART_RX_INT_PR2 &                             // RX Interrupt Priority = 2
                UART_TX_INT_EN &                              // Disable TX Interrupt
                UART_TX_INT_PR3);                             // TX Interrupt Priority = 3

// Open UART1 = Mode,Status,Baudrate
Code ในส่วนนี้ จะเป็นการกำหนด enable port RX TX โดยทำการเซตค่าให้มีการใช้
interrupt Priority ค่ำย

OpenUART1 (UART_EN      &                                     // Enable UART(UART
Mode)
           UART_IDLE_STOP &                                  // Disable UART in IDLE
Mode
           UART_ALTRX_ALTTX &
           UART_DIS_WAKE &                                  // Disable Wake-Up
           UART_DIS_LOOPBACK &                              // Disable Loop Back
           UART_DIS_ABAUD &                                  // Disable Auto Baudrate
           UART_NO_PAR_8BIT &                                // UART = 8 Bit, No Parity
           UART_1STOPBIT,                                     // UART = 1 Stop Bit

```

ในส่วนนี้ จะเป็นส่วนกำหนดการทำงานหลักของการสื่อสารพอร์ตอนุกรม โดยเริ่มต้น ทำการ Enable UART1 และทำการเชื่อมต่อเข้ากับ ไอซี dsPIC ที่ขา RF3- TX และขา RF2 – RX และทำการ Disable ค่าการทำงานของ loopback ทำการกำหนดรูปแบบส่งให้เป็น 8 บิต no priority bit และทำการ Set Stopbit ที่บรรทัดสุดท้าย

```

// Config UART1 Status
UART_INT_TX &                                // Select Interrupt After TX Complete
UART_TX_PIN_NORMAL &                          // Normal U1TX Mode
UART_TX_ENABLE &                              // Enable U1TX
UART_INT_RX_BUF_FUL &                          // Flag Set After RX Complete
UART_ADR_DETECT_DIS &                          // Disable Check Address
UART_RX_OVERRUN_CLEAR, 191);                  // Clear Overrun Flag

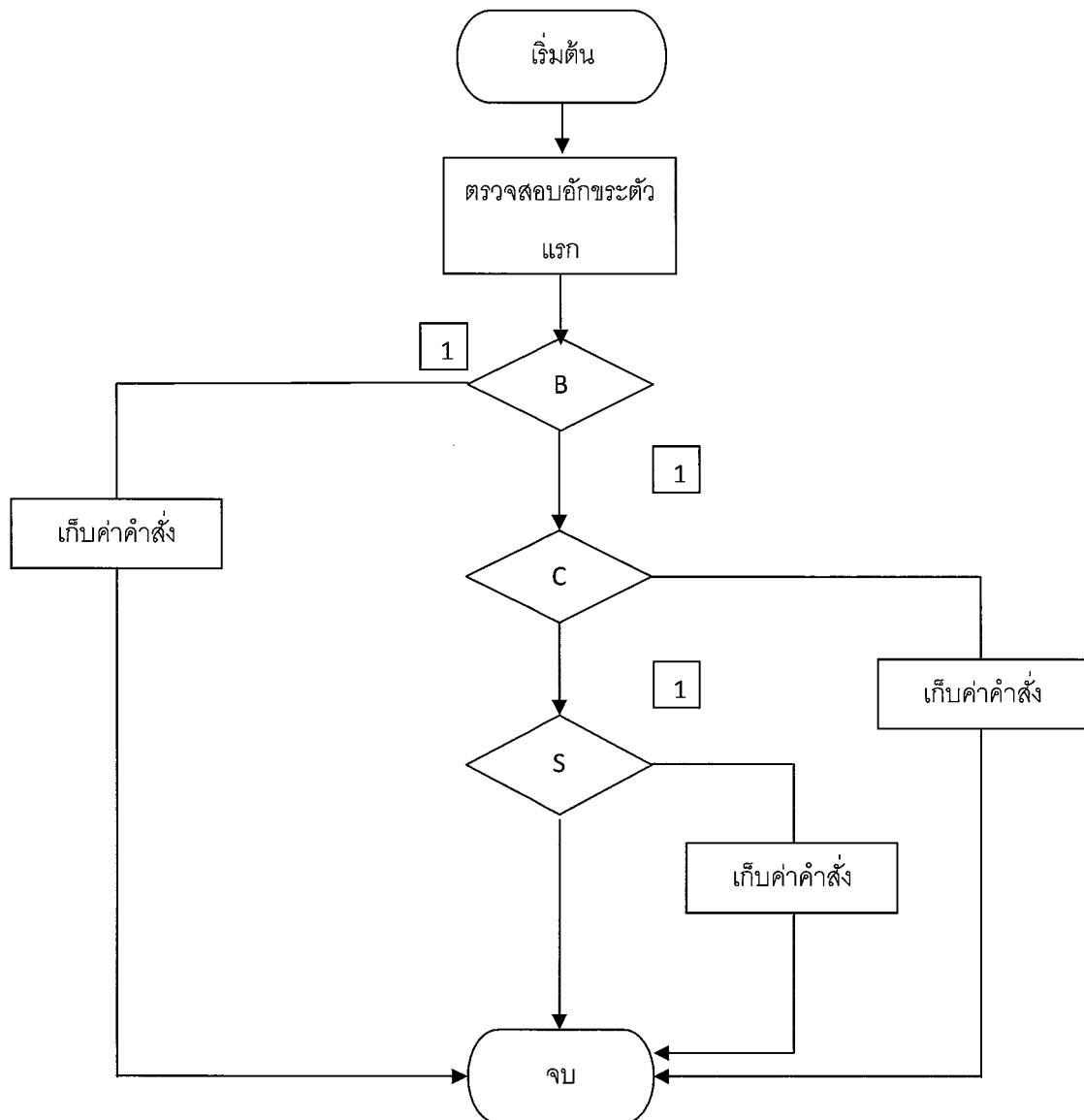
```

ในส่วนนี้จะเป็นการตั้งค่า ให้มีการ interrupt ช่วยการส่งค่า โดยตัว interrupt จะทำการเช็ค
ว่า buffer ที่ใช้นั้นว่างหรือยัง ถ้าว่างก็ทำการส่งข้อมูล

การส่งข้อมูลจาก UART1 สามารถใช้ฟังก์ชัน writeUART1 () กรณีส่งข้อมูลไปแค่เดียว หรือ
pusUART1 () ในการส่งตัวแปรสตริง ส่วนการอ่านข้อมูลสามารถใช้ฟังก์ชัน readUART1()
ฟังก์ชันรับและแปลคำสั่ง

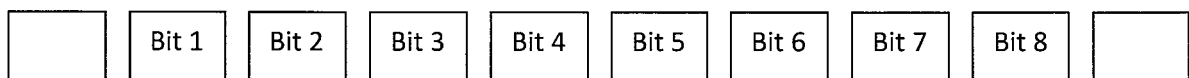
ในการทำงานเครื่องพีซีจะทำการส่งคำสั่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการ
ทำงานของระบบสายพานได้ โดยคำสั่งทั้งหมดจะถูกส่งเป็นรหัสแอสกี ดังนั้น
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับคำสั่งแยกประเภทแล้วทำการเก็บค่าเพื่อใช้ในการทำงานต่อไป

โดยแสดงโฟลว์ชาร์ตอย่างง่ายในการตรวจสอบคำสั่งอย่างง่ายใน ภาครับUART1 โดยจะ
ตรวจสอบอักขระแรกของชุดคำสั่งเพื่อแยกประเภทการทำงาน



รูปที่ 3.11 โพลีซาร์ตการตรวจสอบคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์

หลังจากที่แยกประเภทคำสั่งได้แล้วเราจะทำการเก็บค่าเพื่อนำไปทำงานต่อไปโดยการส่งชุดคำสั่งจะคงที่ในแต่ละบิต ทำให้สามารถเก็บค่าเพื่อนำไปใช้งานได้คือ



โดยเราจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบอักขระใน บิตแรกโดย

“C” หมายถึง ทำงานในโหมด หมุนสายพานต่อเนื่อง

“S” หมายถึง ทำงานในโหมด หมุนสายพานเป็นจังหวะ

“B” หมายถึง ให้หยุดหมุนทันที

บิต 2 – 4 เป็นตัวกำหนดค่าความเร็วของการหมุนของสายพาน

บิต 5 เป็นตัวกำหนดทิศทางของของการหมุน โดยกำหนดให้

“F” หมายถึง หมุนสายพานตามเข็มนาฬิกา

“R” หมายถึง หมุนสายพานทวนเข็มนาฬิกา

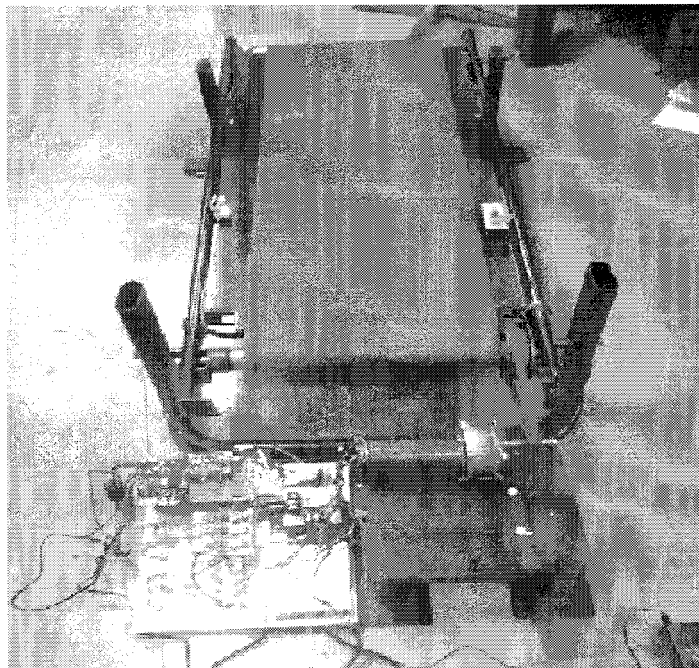
บิต 6 เป็นตัวกำหนดจำนวนจังหวะการหมุนในการหมุนสายพานในโหมดจังหวะ

บิต 7 เป็นตัวกำหนดเวลาในการหยุดแต่ละจังหวะของสายพาน

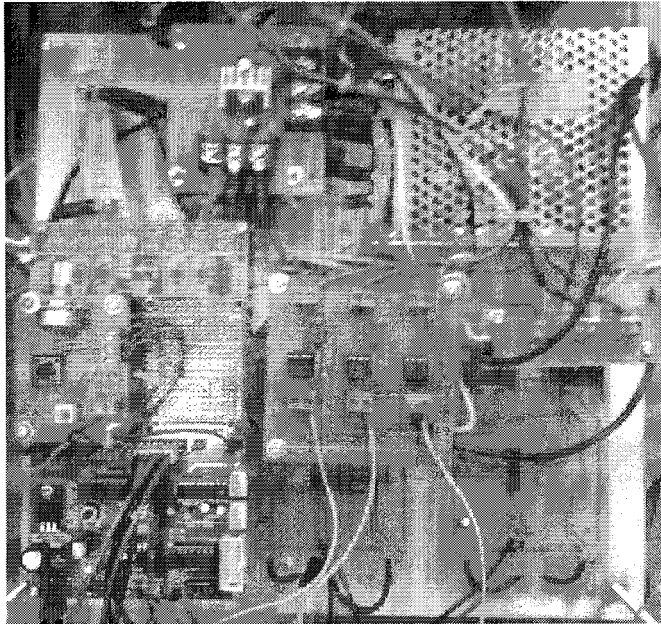
บิต 8 เป็นตัวกำหนดระยะทางในการหยุดของแต่ละจังหวะสายพาน

หลังจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการแยกประเภทคำสั่งแล้วจึงทำการเก็บค่าเพื่อไปทำตามคำสั่งที่ผู้ใช้กำหนด

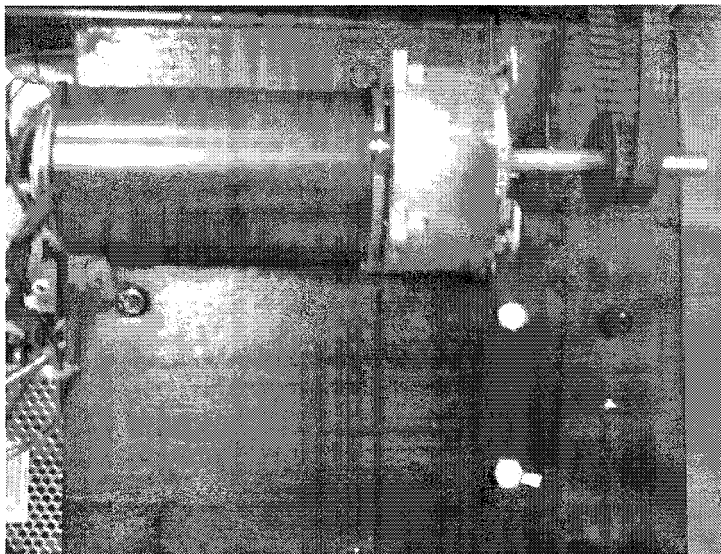
3.5 ต้นแบบระบบสายพานลำเลียง



รูปที่ 3.12 รูปต้นแบบระบบสายพานลำเลียง



รูปที่ 3.13 รูปต้นแบบวงจร Drive

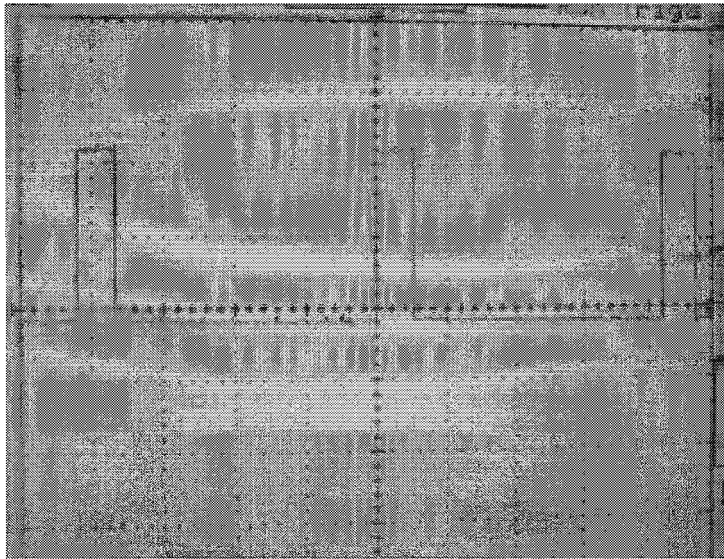


รูปที่ 3.14 รูปมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนระบบสายพานต้นแบบ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองของสัญญาณ PWM ที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน

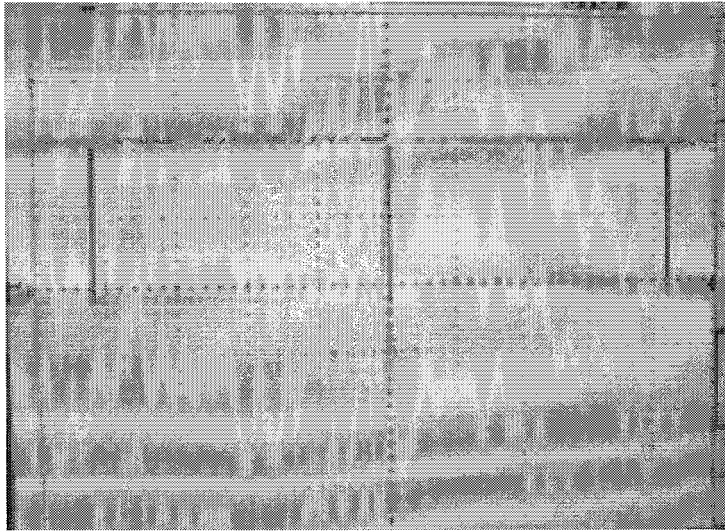


รูปที่ 4.1 สัญญาณ PWM ต่ำสุดที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนมีค่า 11.9%

คำนวณ duty cycle จากรูป จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{duty cycle} &= (T_{\text{on}}/T_{\text{total}})*100 \\
 &= (0.5/4.2)*100 \\
 &= 11.9\%
 \end{aligned}$$

4.2 ผลการทดลองของสัญญาณ PWM สูงสุดที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์สามารถจ่ายได้



รูปที่ 4.2 สัญญาณ PWM สูงสุดที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์สามารถจ่ายได้มีค่า 98.97%

การคำนวณหาค่า duty cycle สูงสุด จากรูปไม่สามารถหาได้จึงใช้การคำนวณจากค่า demand port แทน ดังนี้

จากการแปลงค่า demand port ลงใน โมดูล ADC ค่าที่ได้จะถูกเก็บลงใน register ADCBUF0 ซึ่งมีขนาด 10 บิต จะได้ค่าสูงสุด = 1024 หลังจากนั้นนำค่าไปเก็บลงใน register PDCx ; x=1,2,3

โดยจากการออกแบบกำหนดให้ $PDCx = 6 * ADCBUF0$

จะได้ค่า $PDCx = 6 * 1024 = 6144$

จากความเร็วของบอร์ดทดลอง $F_{cy} = 29.4912 \text{ MHz}$

และกำหนดให้ความถี่สัญญาณ PWM $F_{pwm} = 9.5 \text{ KHZ}$

ค่าที่ได้จะถูกเก็บใน register PTPER โดยที่

$$\begin{aligned} PTPER &= F_{CY} / F_{PWM} - 1 \\ &= (29491200 / 9500) - 1 \\ &= 3104 \end{aligned}$$

นำค่าจาก register PDCx และ PTPER มาคำนวณ duty cycle

จาก $\text{duty cycle} = (PDCx * 100) / (PTPER * 2) \%$

ดังนั้นจะได้ค่า duty cycle สูงสุด คือ

$$\begin{aligned} \text{duty cycle} &= (6144 \cdot 100) / (3104 \cdot 2) \\ &= 98.97\% \end{aligned}$$

4.3 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาในการเปลี่ยนลำดับการคอมมิวเตชัน กับ ความเร็วรอบของมอเตอร์และความเร็วสายพาน

จากการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้า (บทที่ 3) ทำให้เราสามารถคำนวณความเร็วเชิงเส้นของสายพานได้จากสมการ

$$V_3 = 2\pi \left(\frac{N_m r_1 r_3}{8.22 r_2} \right) \text{ เมตร/นาที}$$

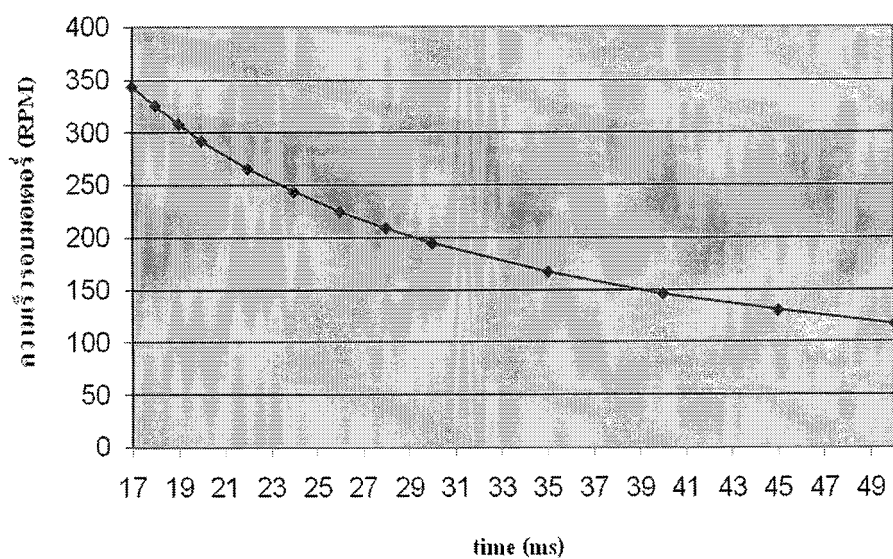
โดย V_3 = ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน, r_1 = รัศมีของเฟืองมอเตอร์
 r_2 = รัศมีของเฟืองที่ติดกับพูลเลย์, r_3 = รัศมีของพูลเลย์,
 N = ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาในการเปลี่ยนลำดับการคอมมิวเตชัน กับ ความเร็วรอบของมอเตอร์และความเร็วสายพาน

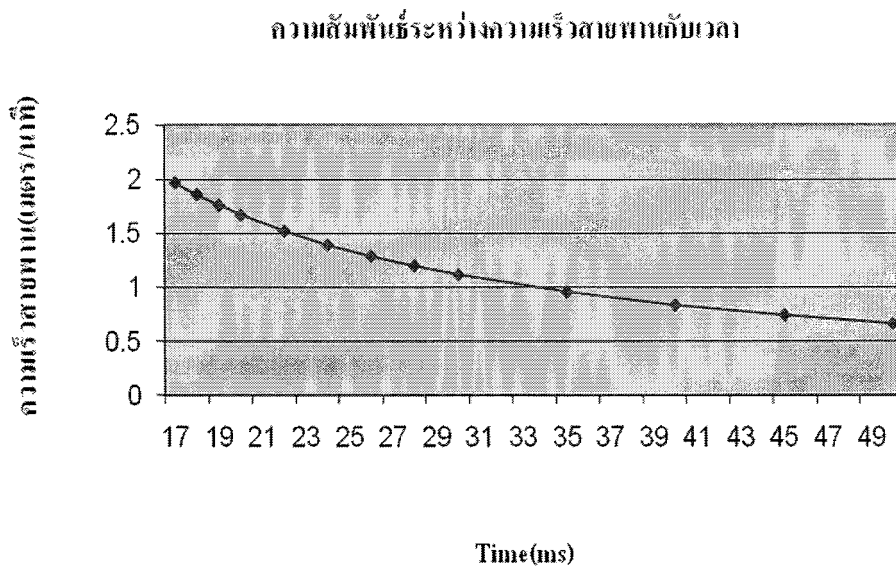
เวลา (ms)	ความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM)	ความเร็วสายพาน (เมตร/นาที)
17	343.6	1.968
18	325.2	1.86
19	308.0	1.76
20	291.9	1.67
22	265.7	1.522
24	243.7	1.518

26	224.8	1.288
28	209.3	1.199
30	194.8	1.116
35	167.2	0.958
40	146.2	0.836
45	130.3	0.744
50	116.9	0.664

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์กับเวลา

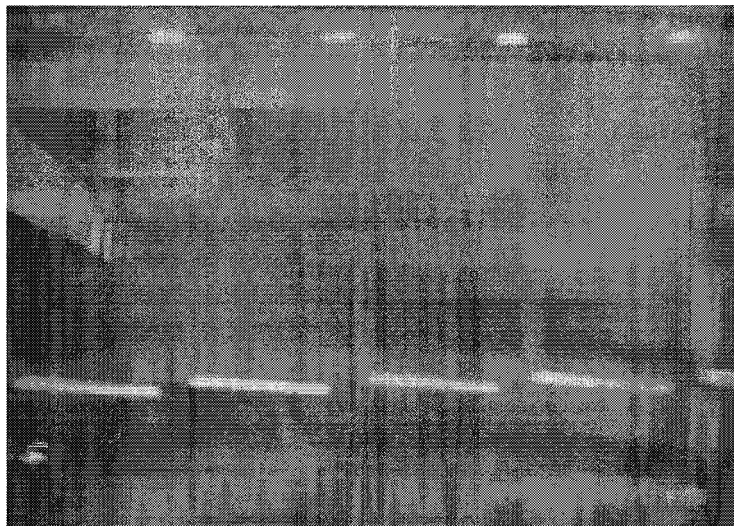


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์กับเวลาในการเปลี่ยนลำดับการคอมมิวเตชัน

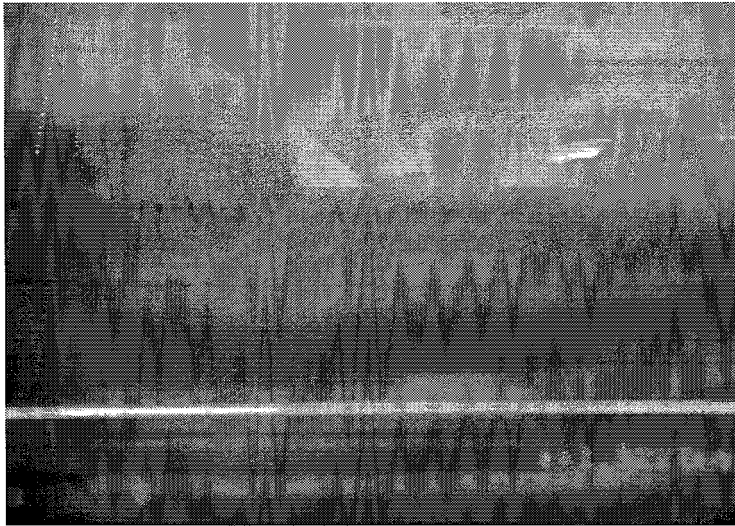


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสายพานกับเวลาในการเปลี่ยนลำดับการคอมมิวเตชั่น

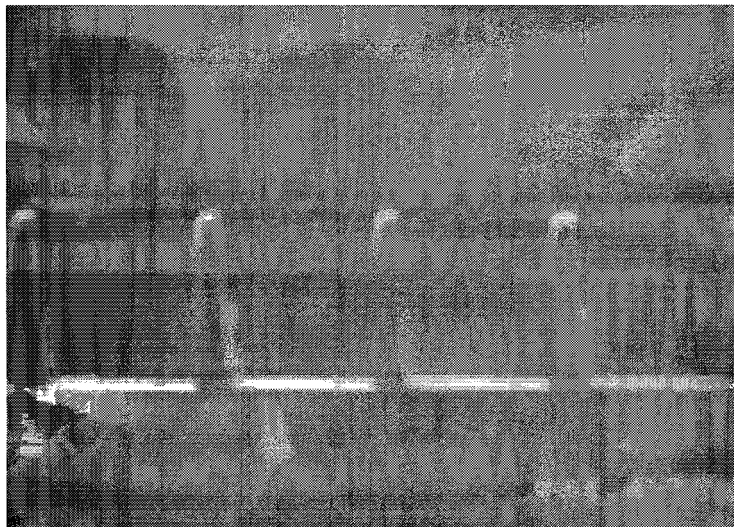
4.4 ผลการทดลองสัญญาณที่เข้าสู่มอเตอร์



รูปที่ 4.5 สัญญาณที่เข้าสู่มอเตอร์ ขณะป้อนอินพุตเข้าที่ขา Hin, IRF540N ตัวบนทำงานเป็น switch (กระแสไหลเข้ามอเตอร์)



รูปที่ 4.6 สัญญาณที่เข้าสู่มอเตอร์ ขณะป้อนอินพุทเข้าที่ขา Lin, IRF540N ตัวล่างทำงานเป็น switch (กระแสไหลออกมอเตอร์)



รูปที่ 4.7 สัญญาณที่เข้าสู่มอเตอร์ ขณะไม่มีการป้อนอินพุทเข้าขา Lin และ Hin, IRF540N ตัวล่างและตัวบนไม่ทำงาน

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

สรุปโครงการ

ระบบสายพานสำหรับไหลลดขนาดเบาประมาณ 1 – 2 กิโลกรัม สามารถปรับความเร็วได้ตั้งแต่ 0.6 – 1.96 เมตรต่อนาที โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านไปขับเคลื่อนระบบสายพาน โดยใช้การเปลี่ยนแปลงเวลาในการคอมมิวเตชัน ควบคุมโดย dsPIC30F2010 ระบบสายพานสามารถหมุนไปหน้าถอยหลังได้โดยใช้การสั่งการจากปุ่มกดหรือจากหน้าจอกอมพิวเตอร์ ผ่านโปรแกรม Visual Basic

วิเคราะห์และวิจารณ์

1. เนื่องจากผู้จัดทำขาดความชำนาญในการใช้โปรแกรม ทำให้เขียนโปรแกรมผิดพลาดเกิดความล่าช้า
2. มอเตอร์และอุปกรณ์ที่ใช้ทำสายพานที่มีขายในท้องตลาดนั้นมีสเปคที่จำกัด เราต้องการความเร็วสูงสุด 2.4 เมตรต่อนาที โดยมอเตอร์จะต้องมีความเร็วรอบประมาณ 500 rpm แต่ที่มอเตอร์ที่มีในท้องตลาดมีจำหน่ายที่เราสามารถหาได้มีแค่ความเร็วรอบประมาณ 300 rpm ทำให้เราได้ความเร็วสูงสุด 1.96 เมตรต่อนาที เท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้ขึ้นมา ถ้าหากผู้จัดทำกระทำการใด ๆ โดยลำพังแล้วอาจจะต้องใช้เวลาในการศึกษาค้นคว้า เพื่อหาข้อมูลเป็นระยะเวลานาน แต่เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ท่านจึงทำให้ปัญหาต่างๆที่ประสบสำเร็จลุล่วงไปได้มาก ถึงแม้จะไม่สามารถแก้ปัญหาเหล่านั้น ได้หมดก็ตาม แต่ก็สามารถทำให้มีวิธีหรือแนวความคิดในการดำเนินโครงการให้ก้าวหน้าไปได้ ดังนั้นแล้วผู้จัดทำโครงการจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการให้คำปรึกษา ตลอดจนความคิดเห็น หรือแม้กระทั่งข้อมูลเล็กๆน้อยๆ ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินโครงการ ไม่ว่าจะเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รุ่นพี่ เพื่อนๆ ที่ได้ให้คำปรึกษา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการ ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างยิ่งที่ได้รับความช่วยเหลือจากทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ภาคผนวก

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

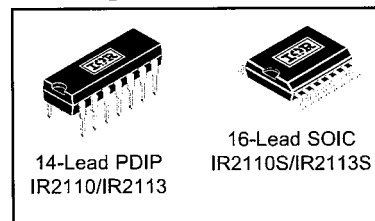
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

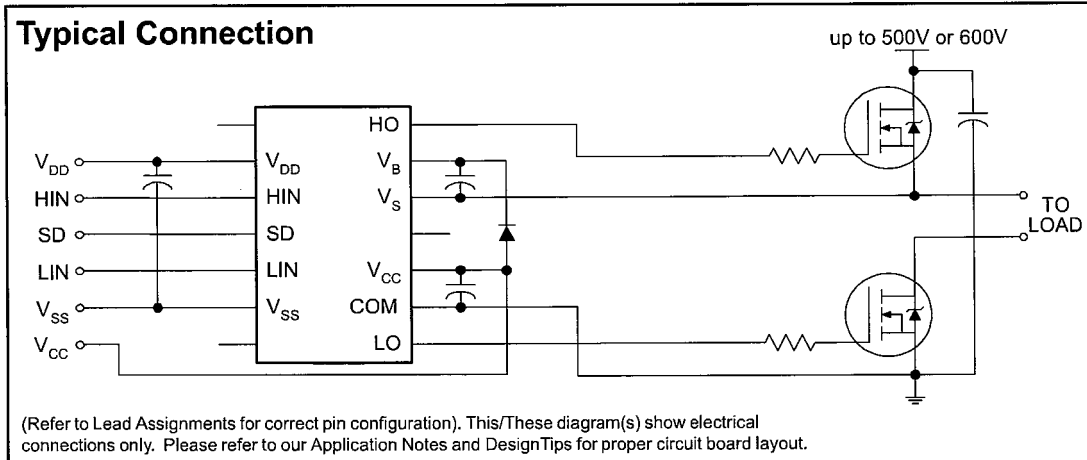
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_{BS}. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

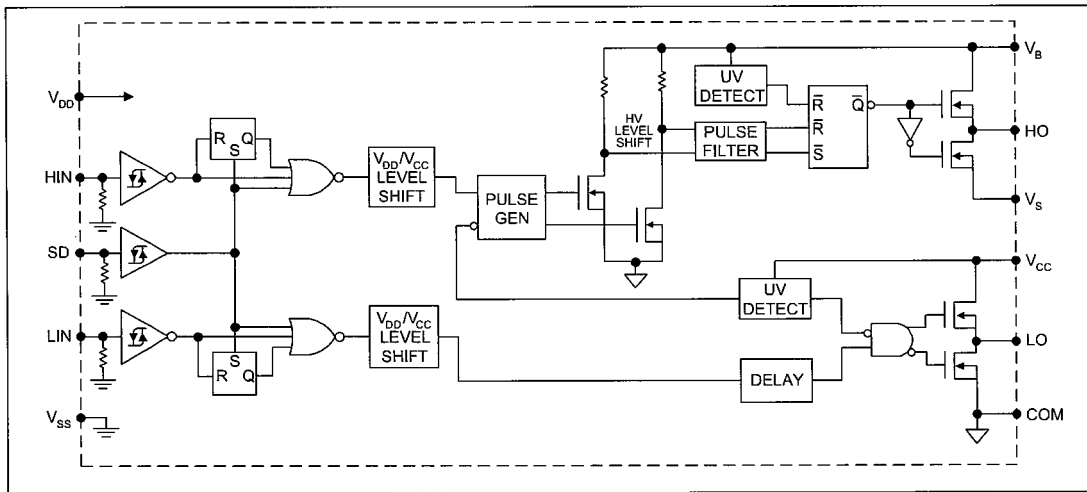
Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110)	—	—	—		10
		(IR2113)	—	—	—	20	

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0	$V_{IN} = 0V$	
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

Functional Block Diagram

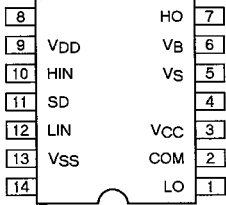
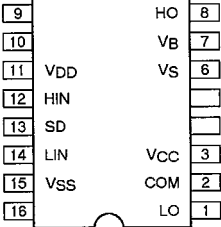
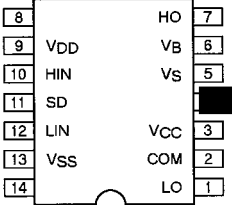
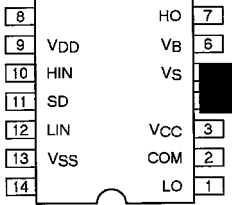


Lead Definitions

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
Vb	High side floating supply
HO	High side gate drive output
Vs	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

Lead Assignments

 <p style="text-align: center;">14 Lead PDIP IR2110/IR2113</p>	 <p style="text-align: center;">16 Lead SOIC (Wide Body) IR2110S/IR2113S</p>
 <p style="text-align: center;">14 Lead PDIP w/o lead 4 IR2110-1/IR2113-1</p>	 <p style="text-align: center;">14 Lead PDIP w/o leads 4 & 5 IR2110-2/IR2113-2</p>
Part Number	

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

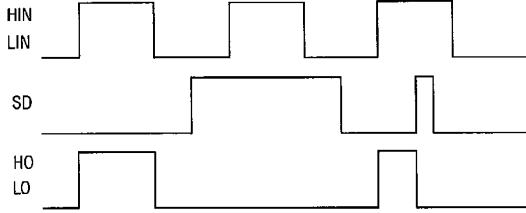


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

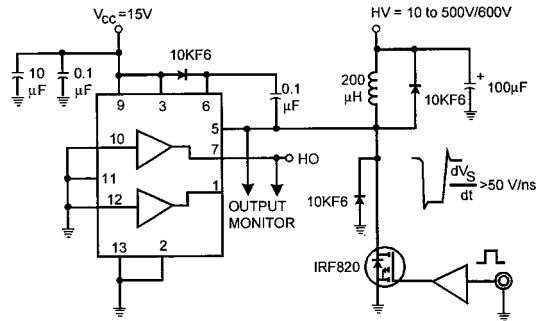


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

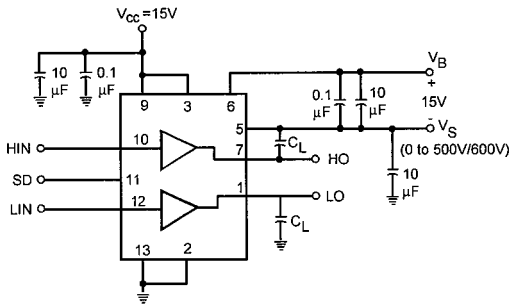


Figure 3. Switching Time Test Circuit

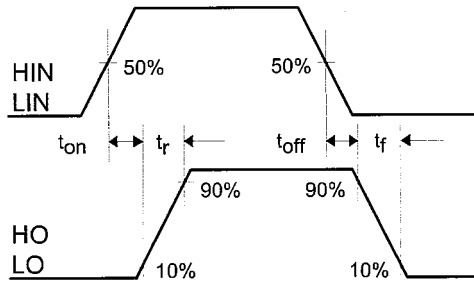


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

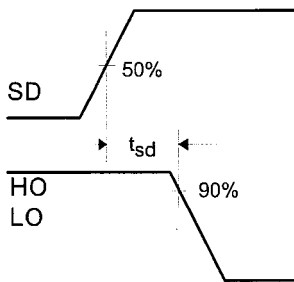


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

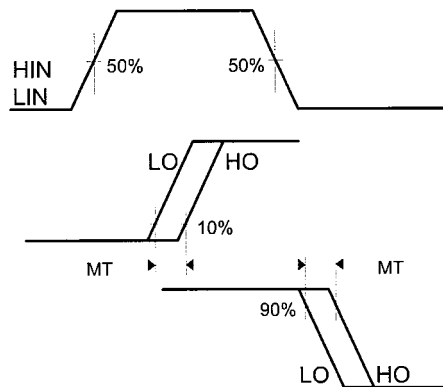


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

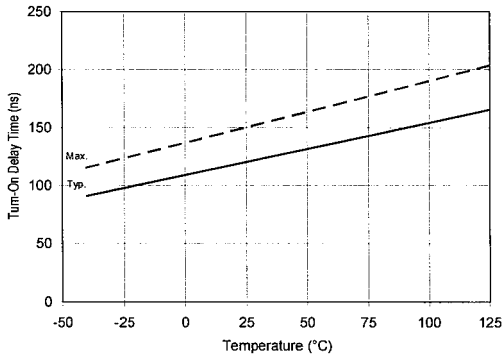


Figure 7A. Turn-On Time vs. Temperature

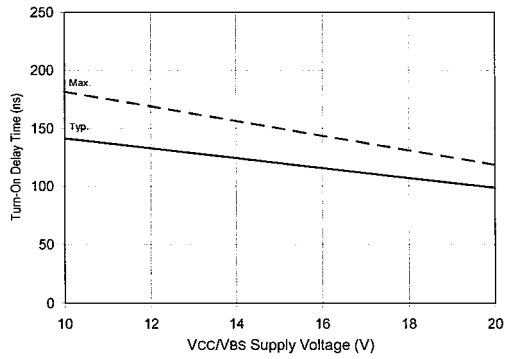


Figure 7B. Turn-On Time vs. Vcc/Vbs Supply Voltage

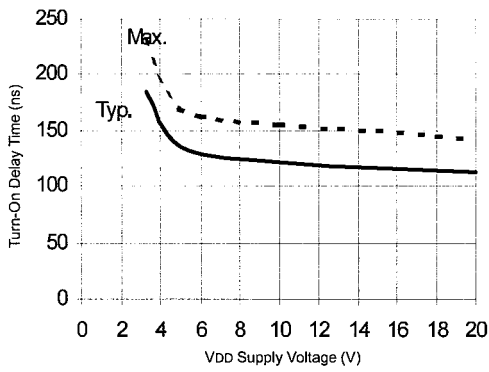


Figure 7C. Turn-On Time vs. VDD Supply Voltage

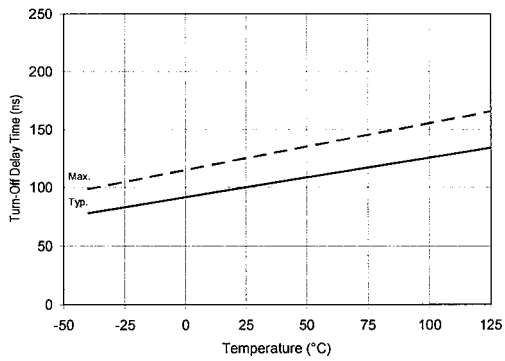


Figure 8A. Turn-Off Time vs. Temperature

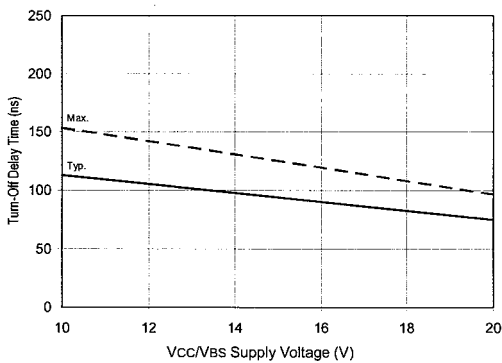


Figure 8B. Turn-Off Time vs. Vcc/Vbs Supply Voltage

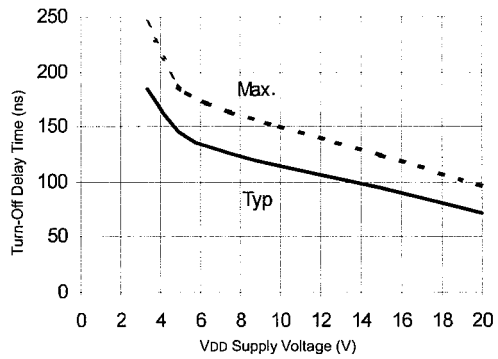


Figure 8C. Turn-Off Time vs. VDD Supply Voltage

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

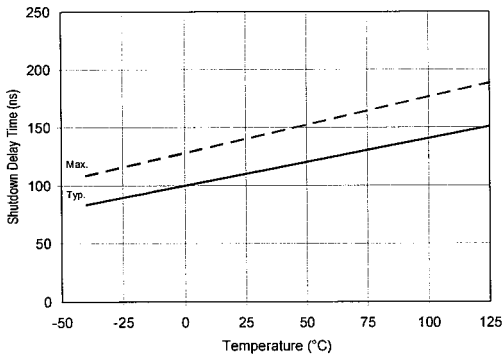


Figure 9A. Shutdown Time vs. Temperature

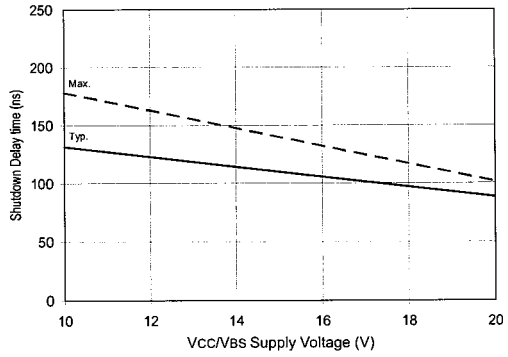


Figure 9B. Shutdown Time vs. Vcc/Vbs Supply Voltage

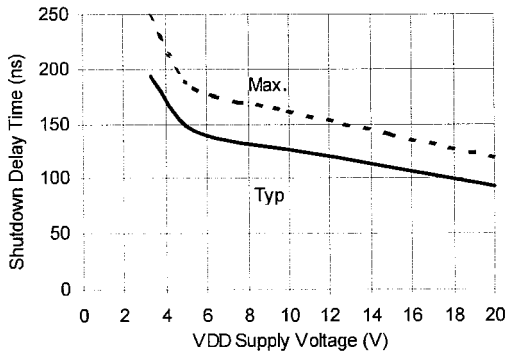


Figure 9C. Shutdown Time vs. VDD Supply Voltage

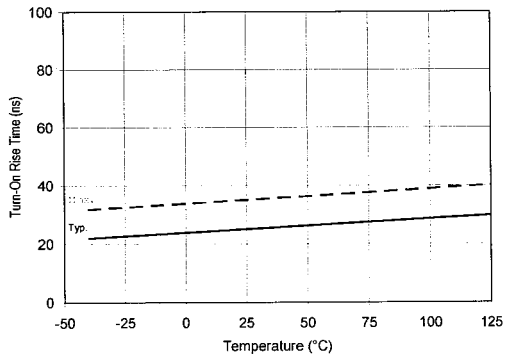


Figure 10A. Turn-On Rise Time vs. Temperature

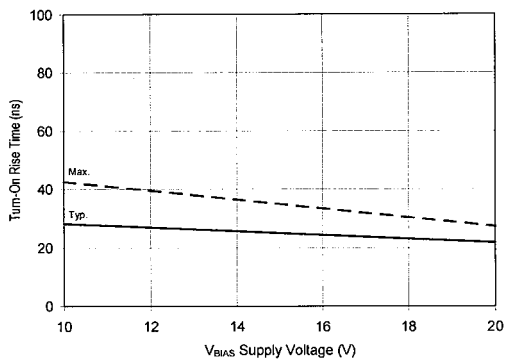


Figure 10B. Turn-On Rise Time vs. Voltage

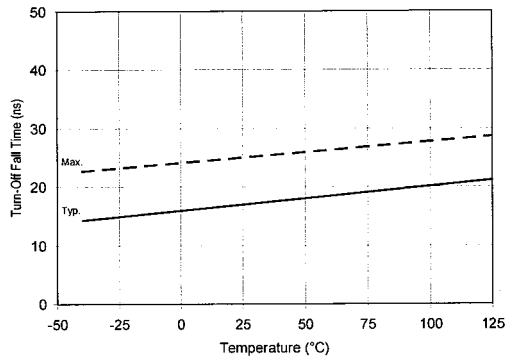


Figure 11A. Turn-Off Fall Time vs. Temperature

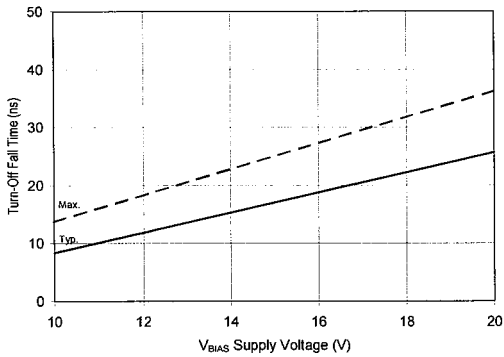


Figure 11B. Turn-Off Fall Time vs. Voltage

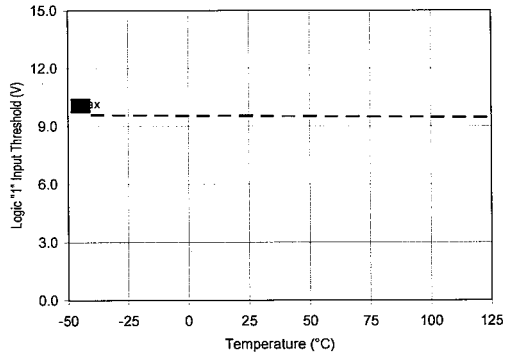


Figure 12A. Logic "1" Input Threshold vs. Temperature

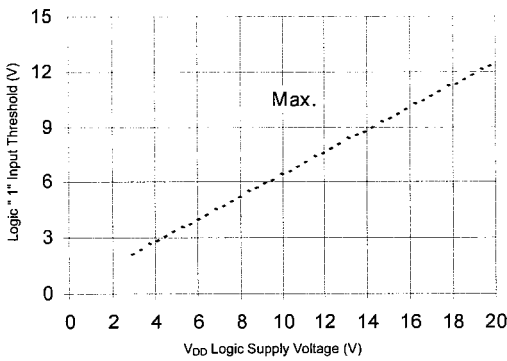


Figure 12B. Logic "1" Input Threshold vs. Voltage

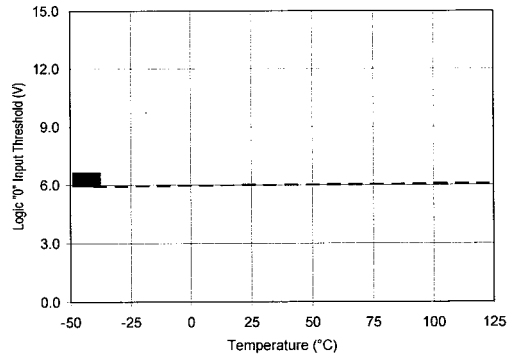


Figure 13A. Logic "0" Input Threshold vs. Temperature

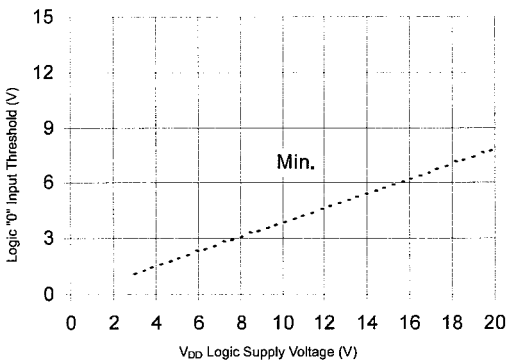


Figure 13B. Logic "0" Input Threshold vs. Voltage

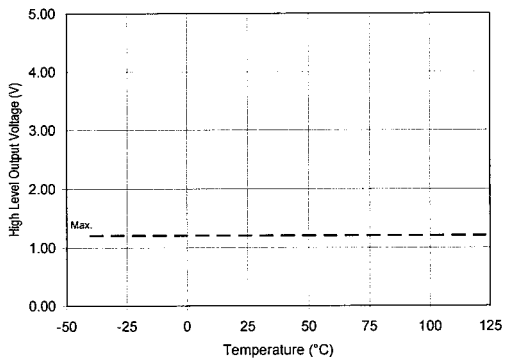


Figure 14A. High Level Output vs. Temperature

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

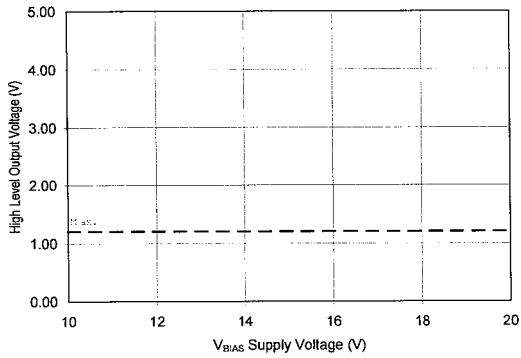


Figure 14B. High Level Output vs. Voltage

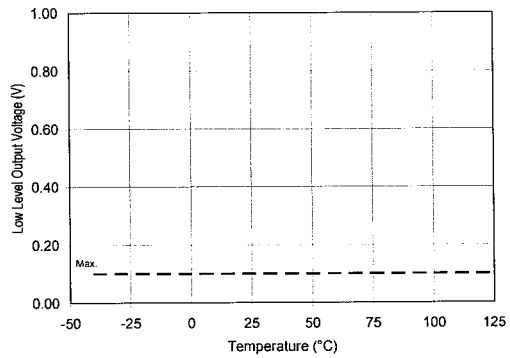


Figure 15A. Low Level Output vs. Temperature

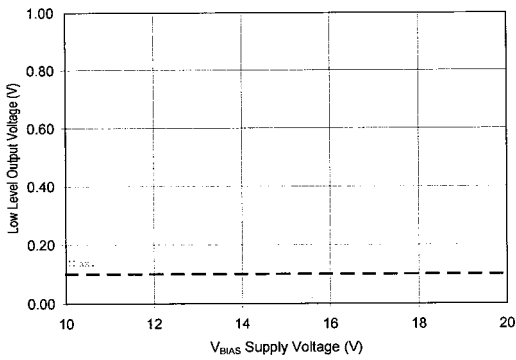


Figure 15B. Low Level Output vs. Voltage

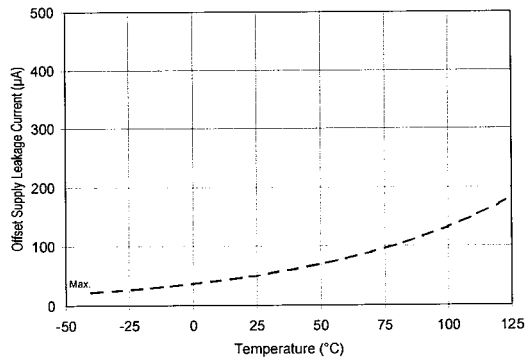


Figure 16A. Offset Supply Current vs. Temperature

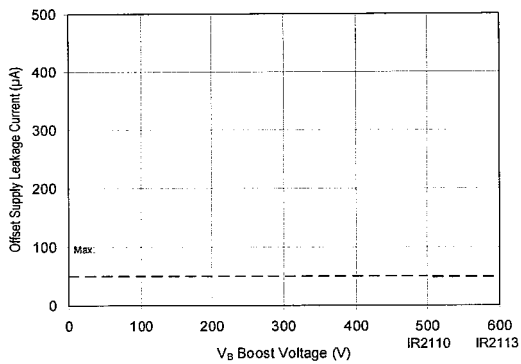


Figure 16B. Offset Supply Current vs. Voltage

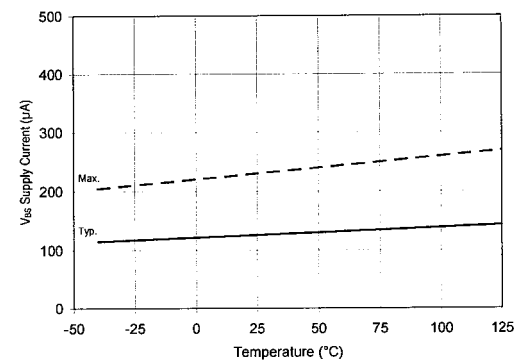


Figure 17A. V_{BS} Supply Current vs. Temperature

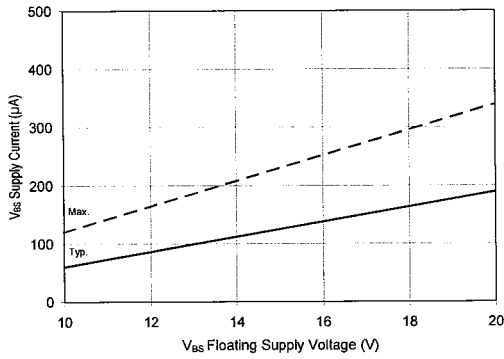


Figure 17B. V_{BS} Supply Current vs. Voltage

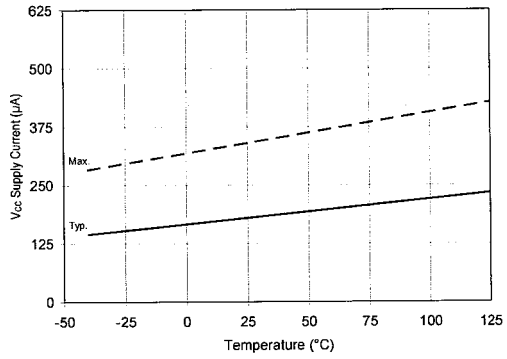


Figure 18A. V_{CC} Supply Current vs. Temperature

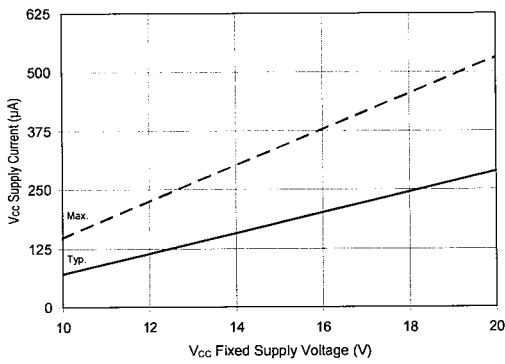


Figure 18B. V_{CC} Supply Current vs. Voltage

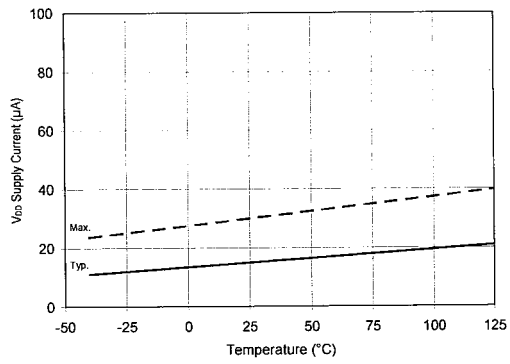


Figure 19A. V_{DD} Supply Current vs. Temperature

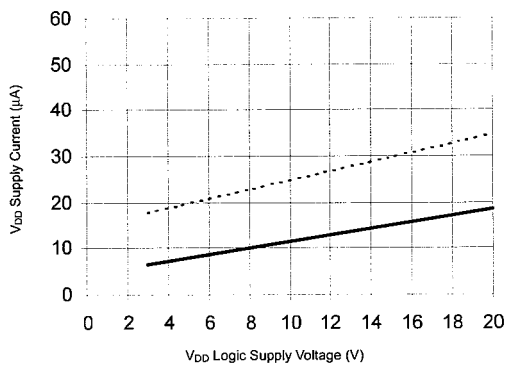


Figure 19B. V_{DD} Supply Current vs. V_{DD} Voltage

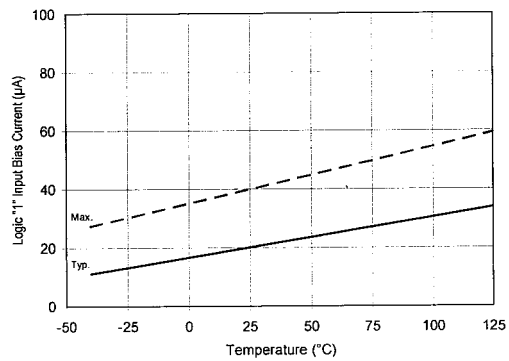


Figure 20A. Logic "1" Input Current vs. Temperature

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

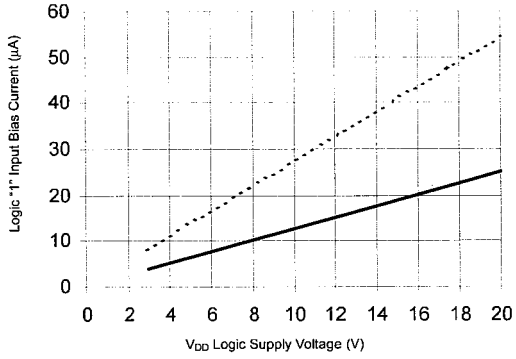


Figure 20B. Logic "1" Input Current vs. V_{DD} Voltage

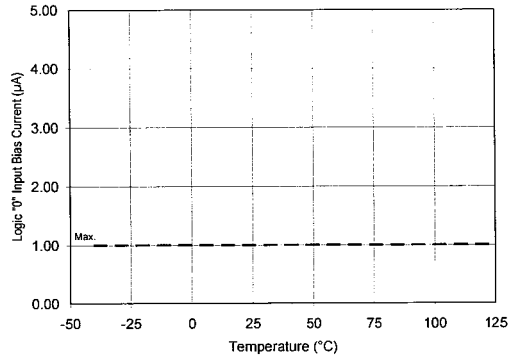


Figure 21A. Logic "0" Input Current vs. Temperature

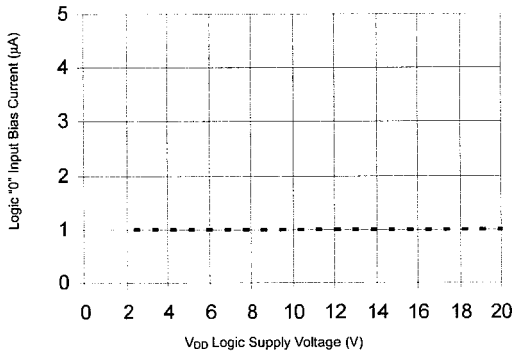


Figure 21B. Logic "0" Input Current vs. V_{DD} Voltage

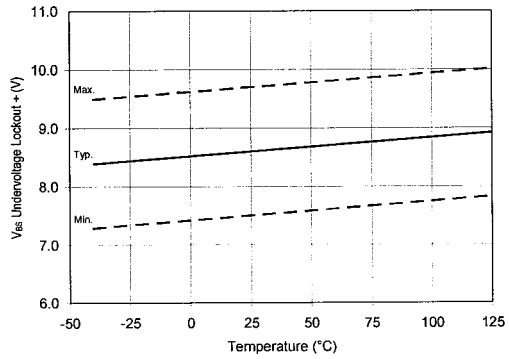


Figure 22. V_{BS} Undervoltage (+) vs. Temperature

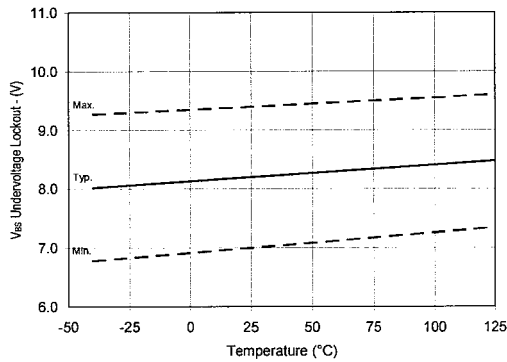


Figure 23. V_{BS} Undervoltage (-) vs. Temperature

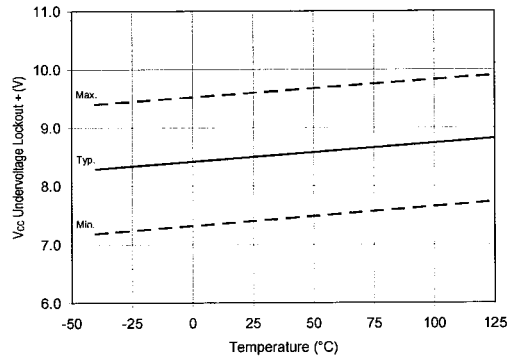


Figure 24. V_{CC} Undervoltage (+) vs. Temperature

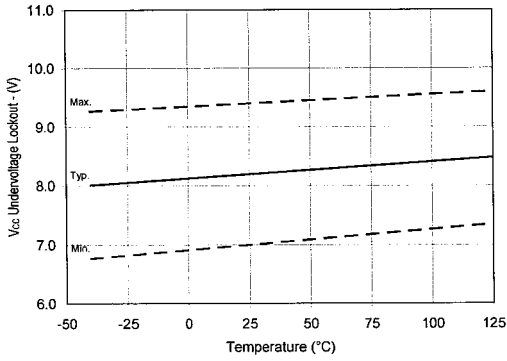


Figure 25. Vcc Undervoltage (-) vs. Temperature

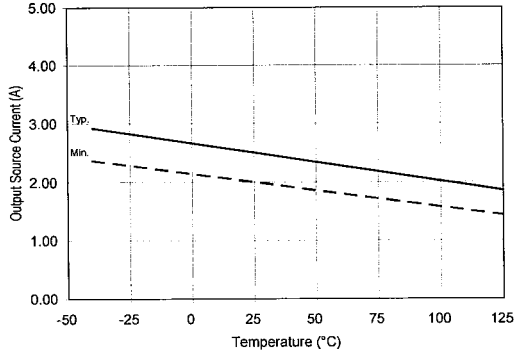


Figure 26A. Output Source Current vs. Temperature

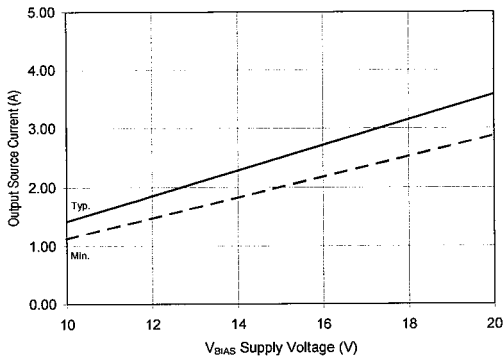


Figure 26B. Output Source Current vs. Voltage

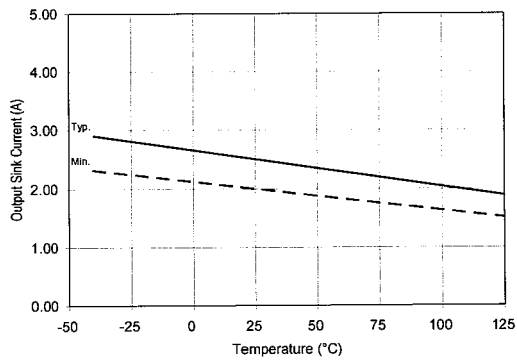


Figure 27A. Output Sink Current vs. Temperature

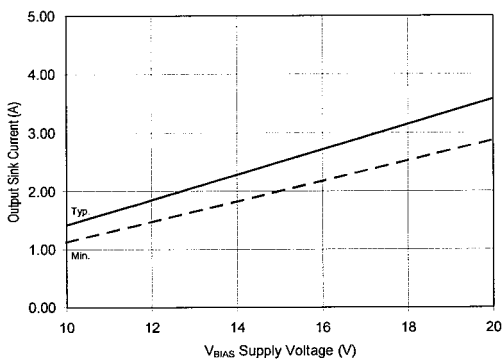


Figure 27B. Output Sink Current vs. Voltage

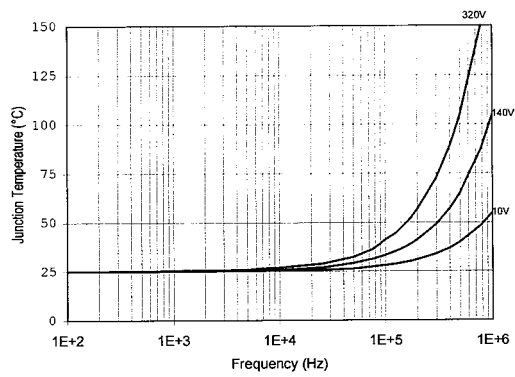


Figure 28. IR2110/IR2113 TJ vs. Frequency (IRFBC20) R_{GATE} = 33Ω, V_{CC} = 15V

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

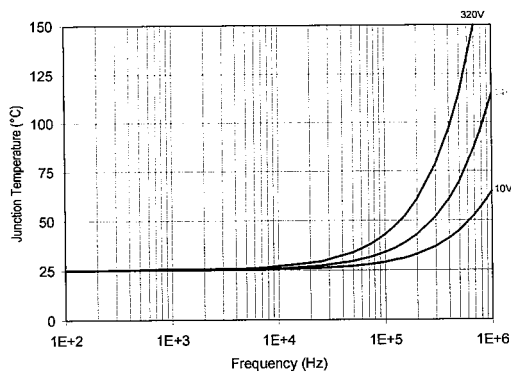


Figure 29. IR2110/IT2113 T_J vs. Frequency (IRFBC30) R_{GATE} = 22Ω, V_{CC} = 15V

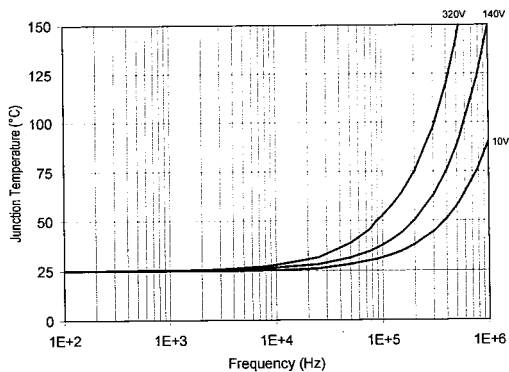


Figure 30. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC40) R_{GATE} = 15Ω, V_{CC} = 15V

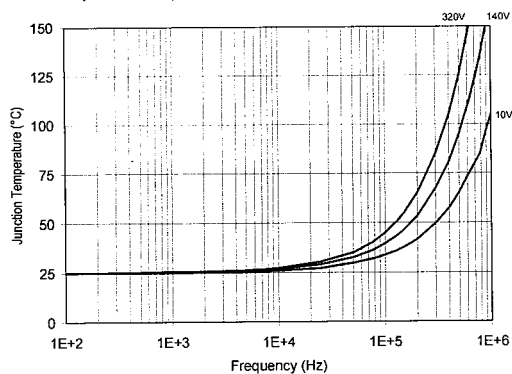


Figure 31. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFPE50) R_{GATE} = 10Ω, V_{CC} = 15V

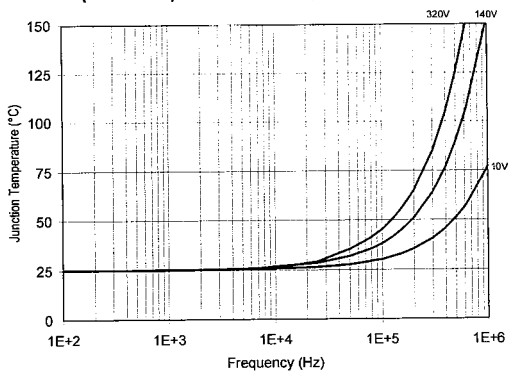


Figure 32. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC20) R_{GATE} = 33Ω, V_{CC} = 15V

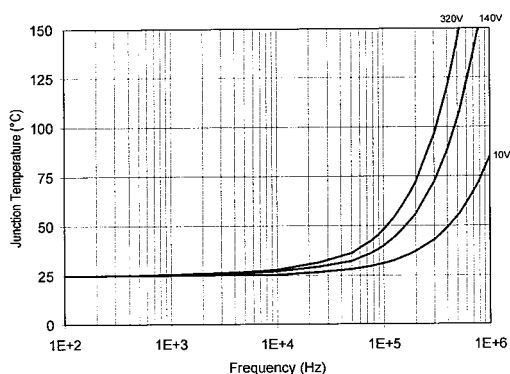


Figure 33. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC30) R_{GATE} = 22Ω, V_{CC} = 15V

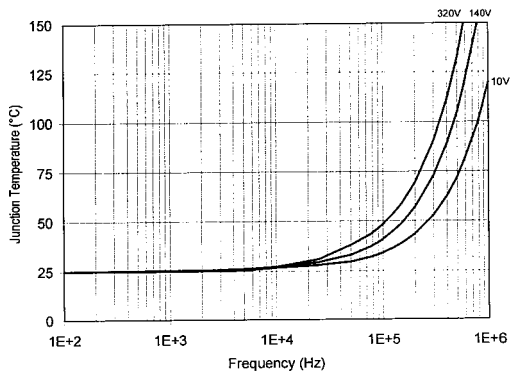


Figure 34. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC40) R_{GATE} = 15Ω, V_{CC} = 15V

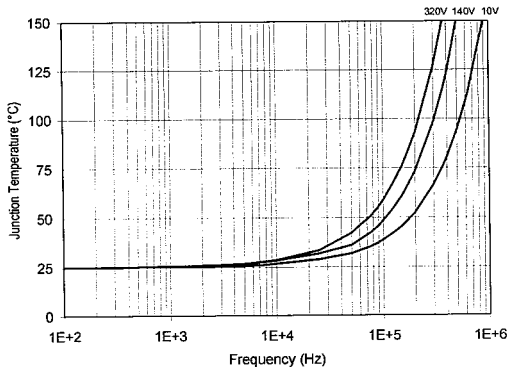


Figure 35. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFPE50) $R_{GATE} = 10\Omega$, $V_{CC} = 15V$

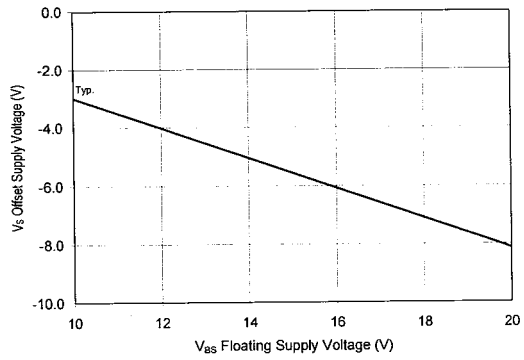


Figure 36. Maximum V_S Negative Offset vs. V_{BS} Supply Voltage

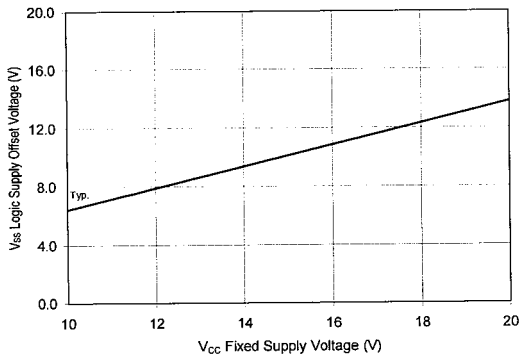
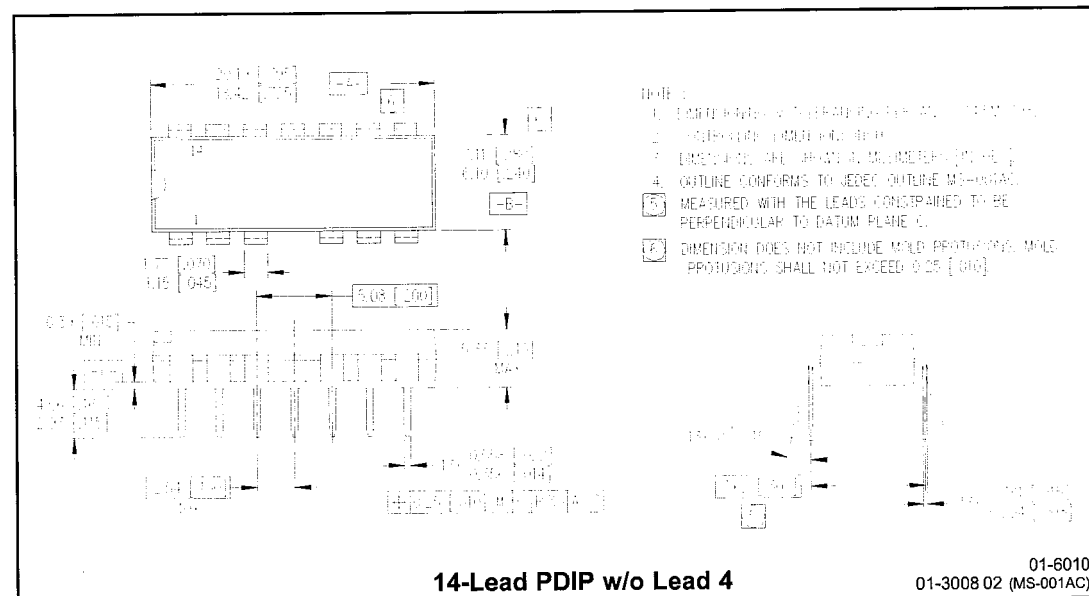
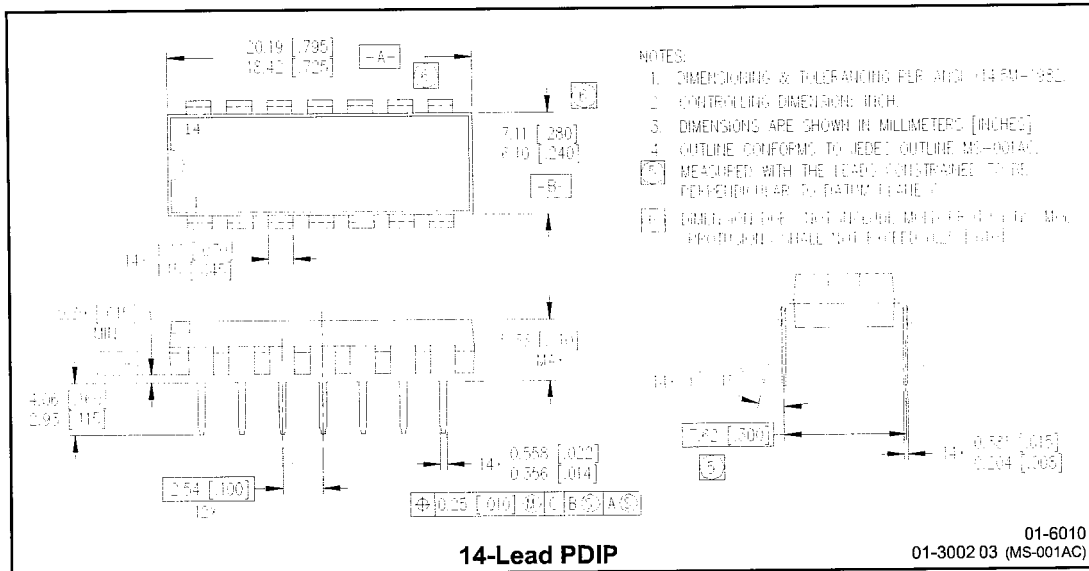


Figure 37. Maximum V_{SS} Positive Offset vs. V_{CC} Supply Voltage

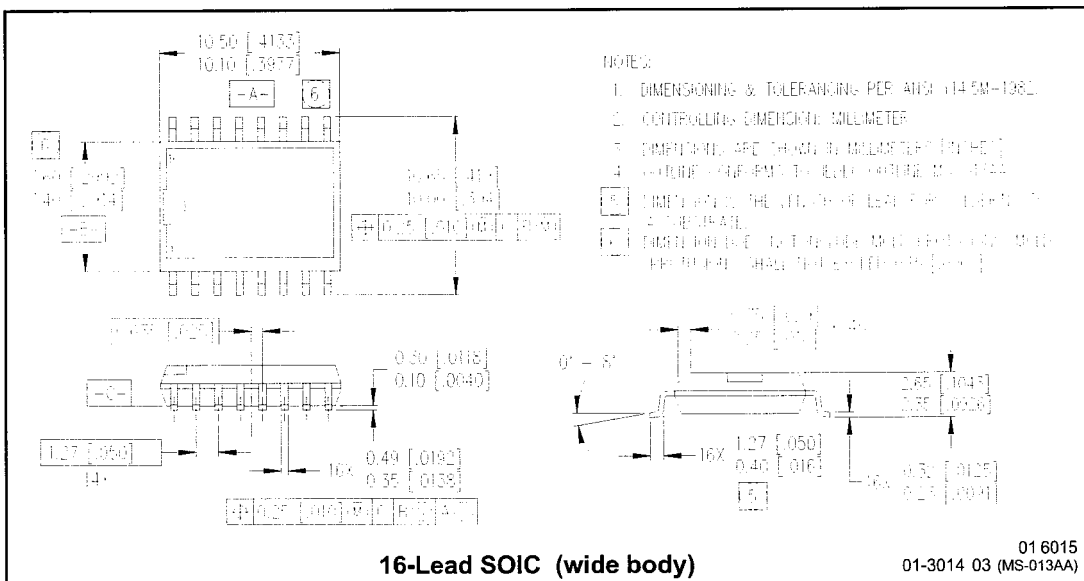
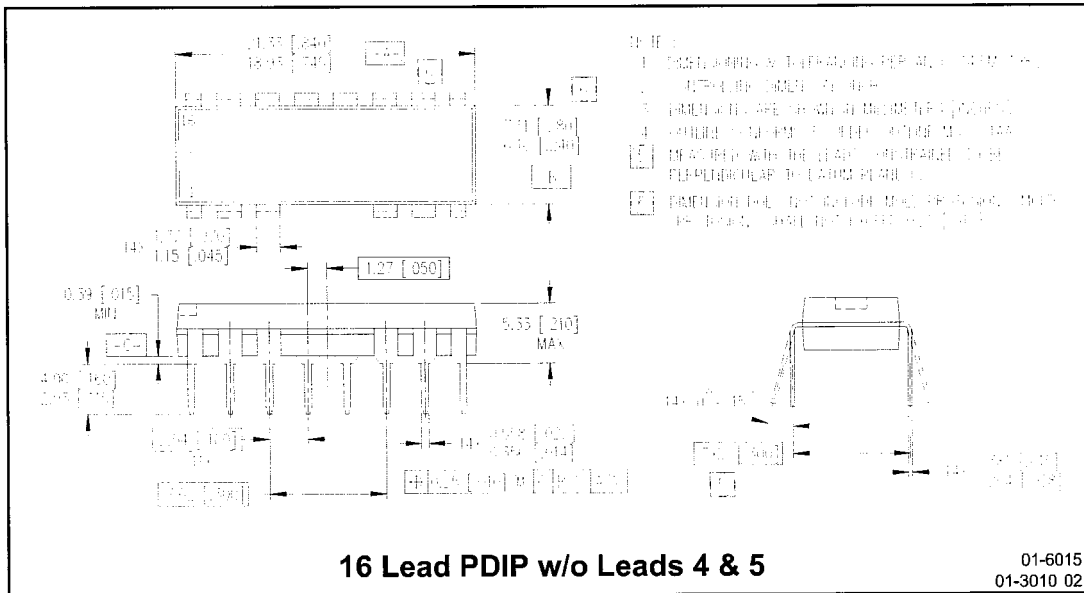
IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

Case Outlines



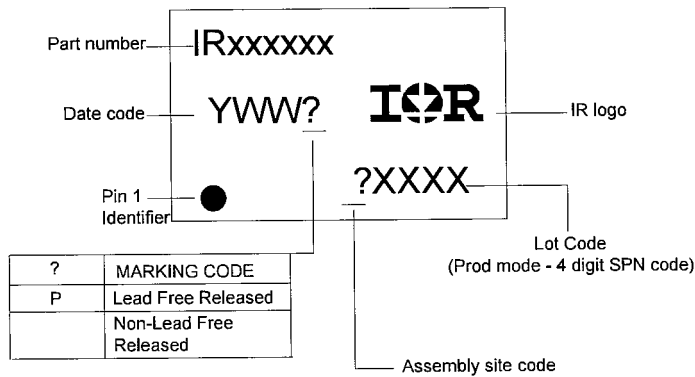
IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

LEADFREE PART MARKING INFORMATION



ORDER INFORMATION

Part only available Lead Free

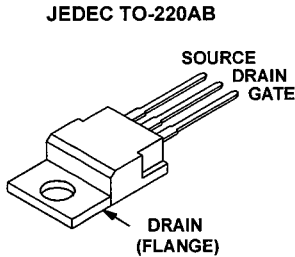
14-Lead PDIP IR2110 order IR2110PbF
 14-Lead PDIP IR2110-1 order IR2110-1PbF
 14-Lead PDIP IR2110-2 order IR2110-2PbF
 14-Lead PDIP IR2113 order IR2113PbF
 14-Lead PDIP IR2113-1 order IR2113-1PbF
 14-Lead PDIP IR2113-2 order IR2113-2PbF
 16-Lead SOIC IR2110S order IR2110SPbF
 16-Lead SOIC IR2113S order IR2113SPbF

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245 Tel: (310) 252-7105
This product has been qualified per industrial level
 Data and specifications subject to change without notice 3/23/2005

33A, 100V, 0.040 Ohm, N-Channel Power MOSFET

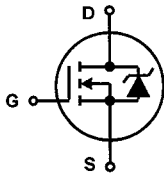
Packaging



Features

- Ultra Low On-Resistance
 - $r_{DS(ON)} = 0.040\Omega$, $V_{GS} = 10V$
- Simulation Models
 - Temperature Compensated PSPICETM and SABER[®] Electrical Models
 - Spice and SABER[®] Thermal Impedance Models
 - www.intersil.com
- Peak Current vs Pulse Width Curve
- UIS Rating Curve

Symbol



Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF540N	TO-220AB	IRF540N

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

	IRF540N	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	100	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1)	100	V
Gate to Source Voltage	± 20	V
Drain Current		
Continuous ($T_C = 25^\circ C$, $V_{GS} = 10V$) (Figure 2)	33	A
Continuous ($T_C = 100^\circ C$, $V_{GS} = 10V$) (Figure 2)	23	A
Pulsed Drain Current	Figure 4	
Pulsed Avalanche Rating	UIS	
Power Dissipation	120	W
Derate Above $25^\circ C$	0.80	W/ $^\circ C$
Operating and Storage Temperature	-55 to 175	$^\circ C$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.	300	$^\circ C$
Package Body for 10s, See Techbrief TB334.	260	$^\circ C$

NOTES:

1. $T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$.

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

IRF540N

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
OFF STATE SPECIFICATIONS							
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 11)	100	-	-	V	
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	1	μA	
		$V_{DS} = 90\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	μA	
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA	
ON STATE SPECIFICATIONS							
Gate to Source Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, $I_D = 250\mu\text{A}$ (Figure 10)	2	-	4	V	
Drain to Source On Resistance	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 33\text{A}$, $V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 9)	-	0.033	0.040	Ω	
THERMAL SPECIFICATIONS							
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$	TO-220	-	-	1.25	$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$		-	-	62	$^\circ\text{C/W}$	
SWITCHING SPECIFICATIONS ($V_{GS} = 10\text{V}$)							
Turn-On Time	t_{ON}	$V_{DD} = 50\text{V}$, $I_D = 33\text{A}$ $V_{GS} = 10\text{V}$, $R_{GS} = 9.1\Omega$ (Figures 18, 19)	-	-	100	ns	
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$		-	9.5	-	ns	
Rise Time	t_r		-	57	-	ns	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	40	-	ns	
Fall Time	t_f		-	55	-	ns	
Turn-Off Time	t_{OFF}		-	-	145	ns	
GATE CHARGE SPECIFICATIONS							
Total Gate Charge	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 20V	$V_{DD} = 50\text{V}$, $I_D = 33\text{A}$, $I_g(\text{REF}) = 1.0\text{mA}$ (Figures 13, 16, 17)	-	66	79	nC
Gate Charge at 10V	$Q_{g(10)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 10V		-	35	42	nC
Threshold Gate Charge	$Q_{g(TH)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 2V		-	2.4	2.9	nC
Gate to Source Gate Charge	Q_{gs}			-	5.4	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}			-	13	-	nC
CAPACITANCE SPECIFICATIONS							
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$ (Figure 12)	-	1220	-	pF	
Output Capacitance	C_{OSS}		-	295	-	pF	
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	100	-	pF	

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Source to Drain Diode Voltage	V_{SD}	$I_{SD} = 33\text{A}$	-	-	1.25	V
		$I_{SD} = 17\text{A}$	-	-	1.00	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$I_{SD} = 33\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	112	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$I_{SD} = 33\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	400	nC

Typical Performance Curves

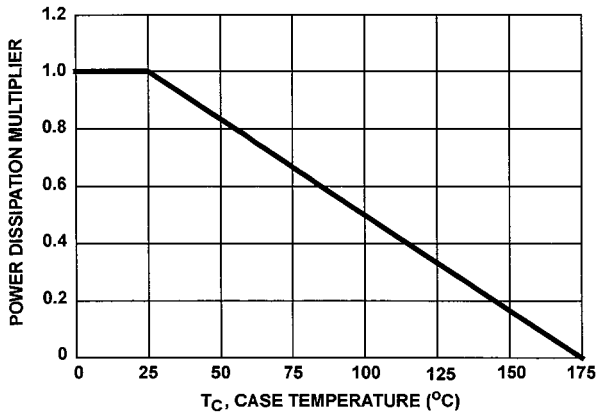


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

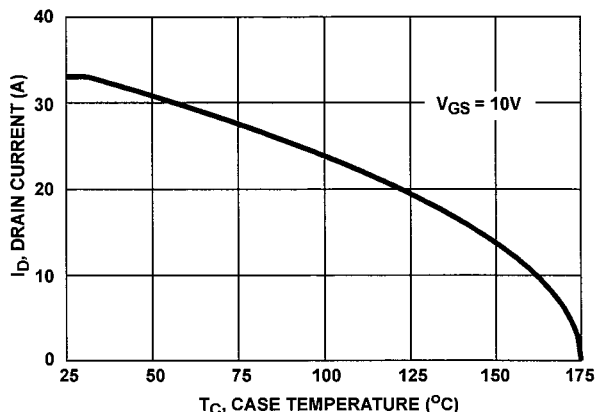


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

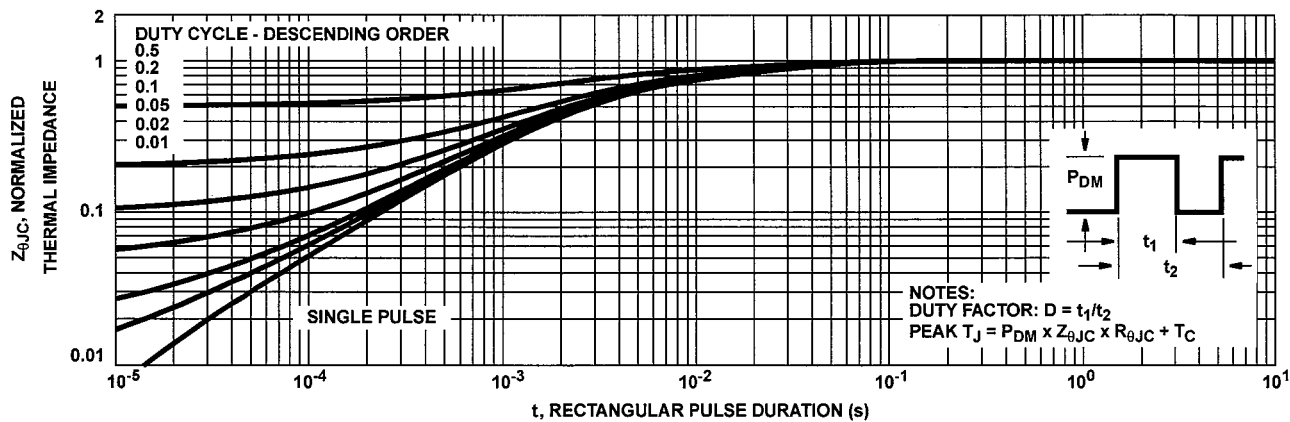


FIGURE 3. NORMALIZED MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

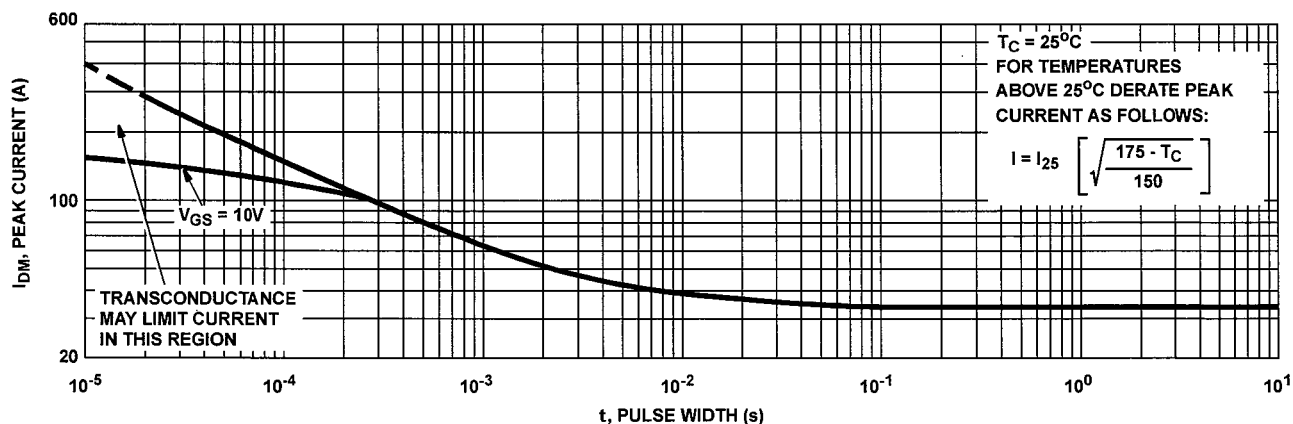


FIGURE 4. PEAK CURRENT CAPABILITY

Typical Performance Curves (Continued)

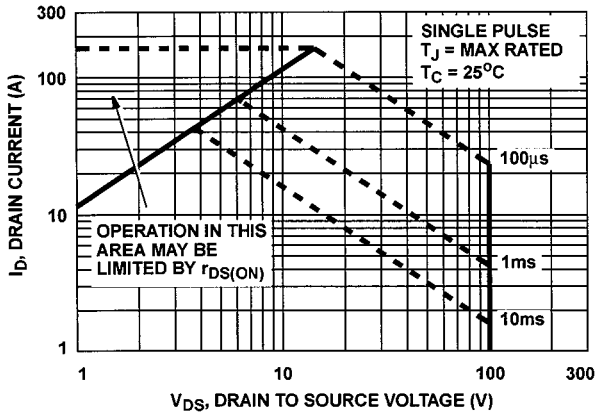
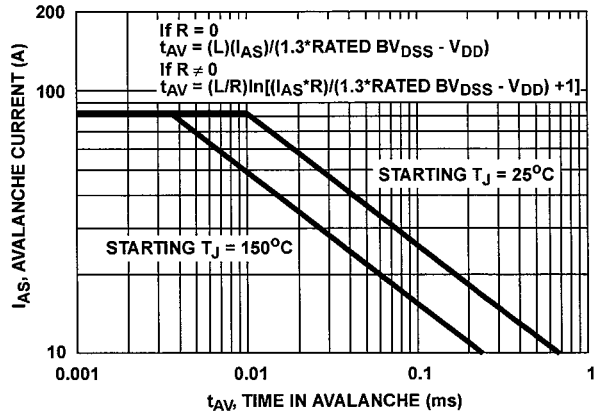


FIGURE 5. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA



NOTE: Refer to Intersil Application Notes AN9321 and AN9322.

FIGURE 6. UNCLAMPED INDUCTIVE SWITCHING CAPABILITY

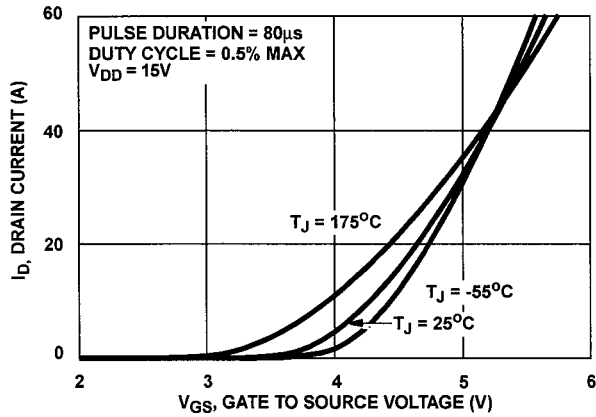


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

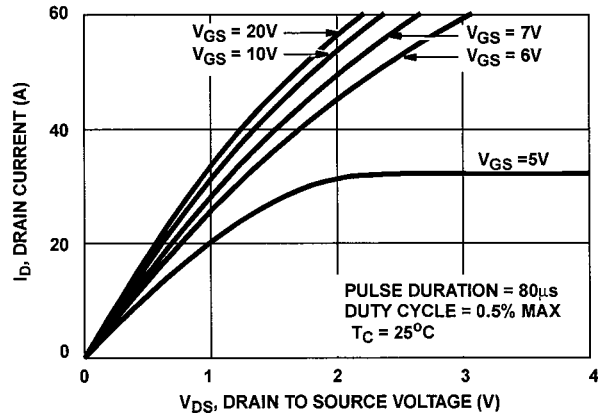


FIGURE 8. SATURATION CHARACTERISTICS

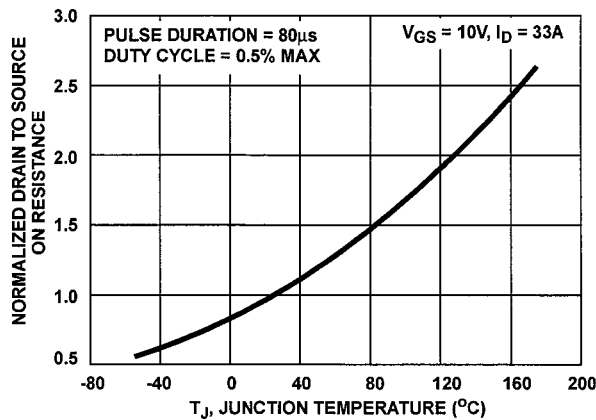


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

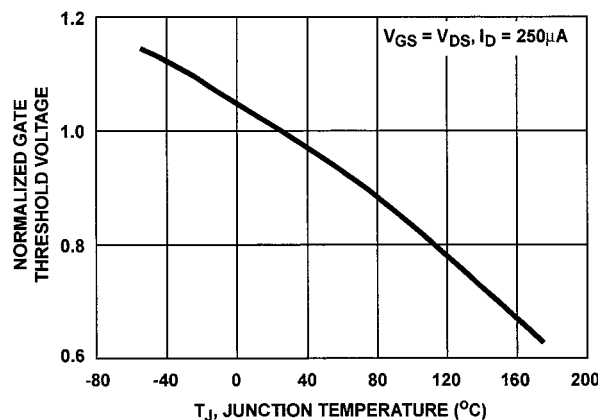


FIGURE 10. NORMALIZED GATE THRESHOLD VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

Typical Performance Curves (Continued)

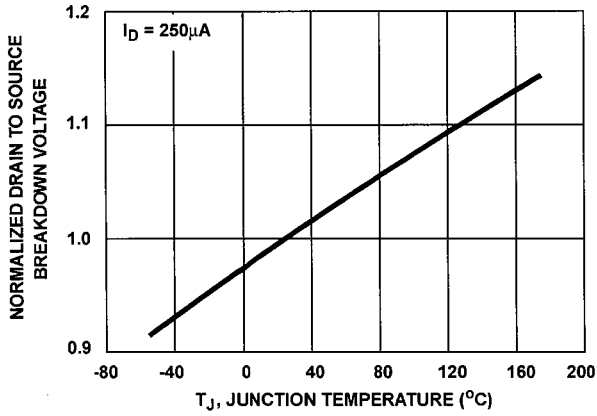


FIGURE 11. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

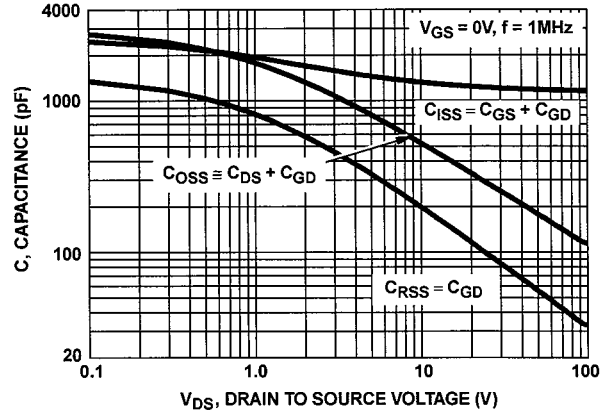
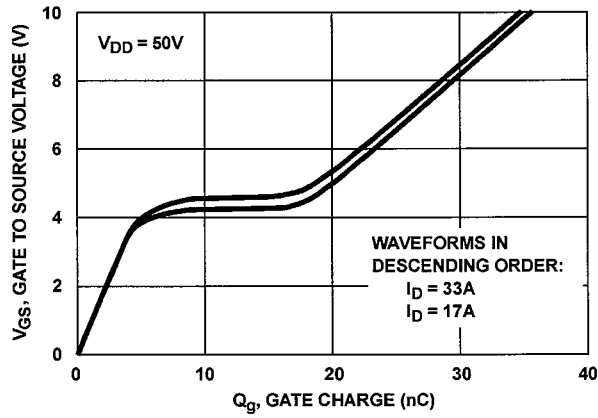


FIGURE 12. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE



NOTE: Refer to Intersil Application Notes AN7254 and AN7260.

FIGURE 13. GATE CHARGE WAVEFORMS FOR CONSTANT GATE CURRENT

Test Circuits and Waveforms

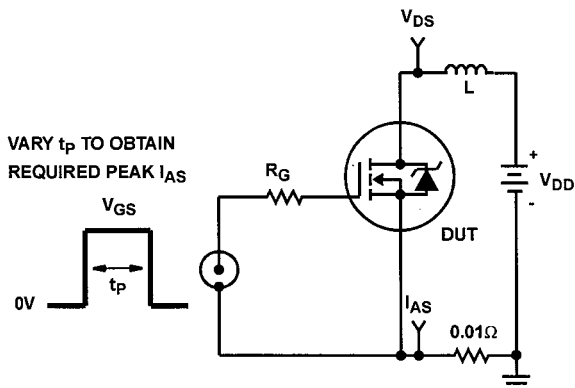


FIGURE 14. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

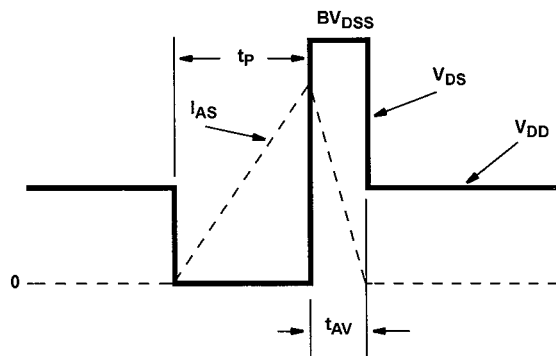


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

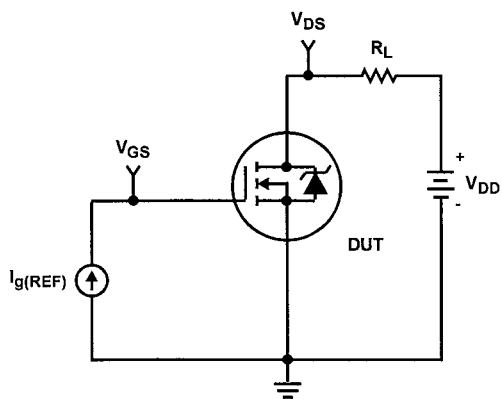


FIGURE 16. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

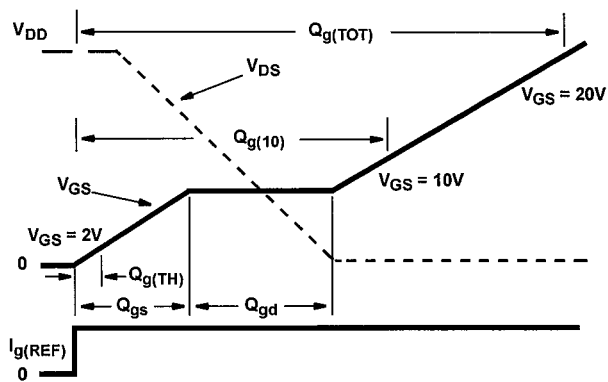


FIGURE 17. GATE CHARGE WAVEFORMS

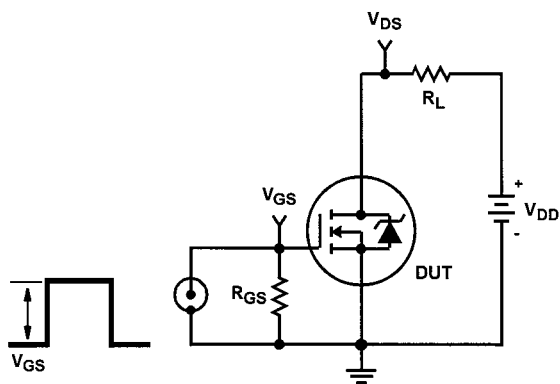


FIGURE 18. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

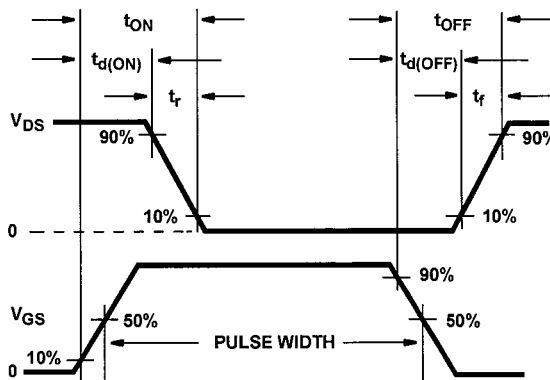


FIGURE 19. SWITCHING TIME WAVEFORM

IRF540N

PSPICE Electrical Model

.SUBCKT IRF540N 2 1 3 ; rev 19 July 1999

CA 12 8 1.95e-9
 CB 15 14 1.90e-9
 CIN 6 8 1.12e-9

DBODY 7 5 DBODYMOD
 DBREAK 5 11 DBREAKMOD
 DPLCAP 10 5 DPLCAPMOD

EBREAK 11 7 17 18 112.8
 EDS 14 8 5 8 1
 EGS 13 8 6 8 1
 ESG 6 10 6 8 1
 EVTHRES 6 21 19 8 1
 EVTEMP 20 6 18 22 1

IT 8 17 1

LDRAIN 2 5 1.0e-9
 LGATE 1 9 6.19e-9
 LSOURCE 3 7 2.18e-9

MMED 16 6 8 8 MMEDMOD
 MSTRO 16 6 8 8 MSTROMOD
 MWEAK 16 21 8 8 MWEAKMOD

RBREAK 17 18 RBREAKMOD 1
 RDRAIN 50 16 RDRAINMOD 2.00e-2
 RGATE 9 20 1.77
 RLDRAIN 2 5 10
 RLGATE 1 9 26
 RLSOURCE 3 7 11
 RSLC1 5 51 RSLC1MOD 1e-6
 RSLC2 5 50 1e3
 RSOURCE 8 7 RSOURCEMOD 6.5e-3
 RVTHRES 22 8 RVTHRESMOD 1
 RVTEMP 18 19 RVTEMPMOD 1

S1A 6 12 13 8 S1AMOD
 S1B 13 12 13 8 S1BMOD
 S2A 6 15 14 13 S2AMOD
 S2B 13 15 14 13 S2BMOD

VBAT 22 19 DC 1

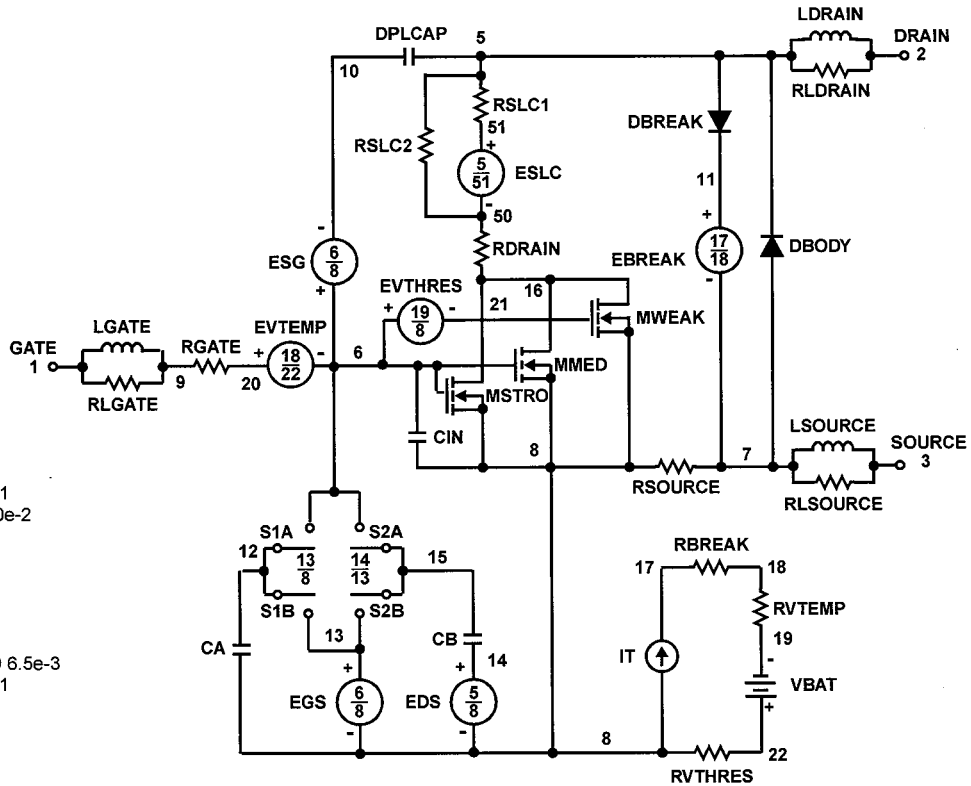
ESLC 51 50 VALUE={{(V(5,51)/ABS(V(5,51)))^(PWR(V(5,51))/(1e-6*71),3.5))}}

.MODEL DBODYMOD D (IS = 1.20e-12 RS = 4.2e-3 XTI = 5 TRS1 = 1.3e-3 TRS2 = 8.0e-6 CJO = 1.50e-9 TT = 7.47e-8 M = 0.63)
 .MODEL DBREAKMOD D (RS = 4.2e-1 TRS1 = 8e-4 TRS2 = 3e-6)
 .MODEL DPLCAPMOD D (CJO = 1.45e-9 IS = 1e-30 M = 0.82)
 .MODEL MMEDMOD NMOS (VTO = 3.11 KP = 5 IS = 1e-30 N = 10 TOX = 1 L = 1u W = 1u RG = 1.77)
 .MODEL MSTROMOD NMOS (VTO = 3.57 KP = 33.5 IS = 1e-30 N = 10 TOX = 1 L = 1u W = 1u)
 .MODEL MWEAKMOD NMOS (VTO = 2.68 KP = 0.09 IS = 1e-30 N = 10 TOX = 1 L = 1u W = 1u RG = 17.7)
 .MODEL RBREAKMOD RES (TC1 = 1.05e-3 TC2 = -5e-7)
 .MODEL RDRAINMOD RES (TC1 = 9.40e-3 TC2 = 2.93e-5)
 .MODEL RSLC1MOD RES (TC1 = 3.5e-3 TC2 = 2.0e-6)
 .MODEL RSLC2MOD RES (TC1 = 1e-3 TC2 = 1e-6)
 .MODEL RSOURCEMOD RES (TC1 = -1.8e-3 TC2 = -8.6e-6)
 .MODEL RVTHRESMOD RES (TC1 = -3.0e-3 TC2 = 1.5e-7)

.MODEL S1AMOD VSWITCH (RON = 1e-5 ROFF = 0.1 VON = -6.2 VOFF = -3.1)
 .MODEL S1BMOD VSWITCH (RON = 1e-5 ROFF = 0.1 VON = -3.1 VOFF = -6.2)
 .MODEL S2AMOD VSWITCH (RON = 1e-5 ROFF = 0.1 VON = -1.0 VOFF = 0.5)
 .MODEL S2BMOD VSWITCH (RON = 1e-5 ROFF = 0.1 VON = 0.5 VOFF = -1.0)

.ENDS

NOTE: For further discussion of the PSPICE model, consult **A New PSPICE Sub-Circuit for the Power MOSFET Featuring Global Temperature Options**; IEEE Power Electronics Specialist Conference Records, 1991, written by William J. Hepp and C. Frank Wheatley.



SPICE Thermal Model

REV 26 July 1999

IRF540NT

CTHERM1 th 6 2.60e-3
 CTHERM2 6 5 8.85e-3
 CTHERM3 5 4 7.60e-3
 CTHERM4 4 3 7.65e-3
 CTHERM5 3 2 1.22e-2
 CTHERM6 2 tl 8.70e-2

RTHERM1 th 6 9.00e-3
 RTHERM2 6 5 1.80e-2
 RTHERM3 5 4 9.15e-2
 RTHERM4 4 3 2.43e-1
 RTHERM5 3 2 3.10e-1
 RTHERM6 2 tl 3.21e-1

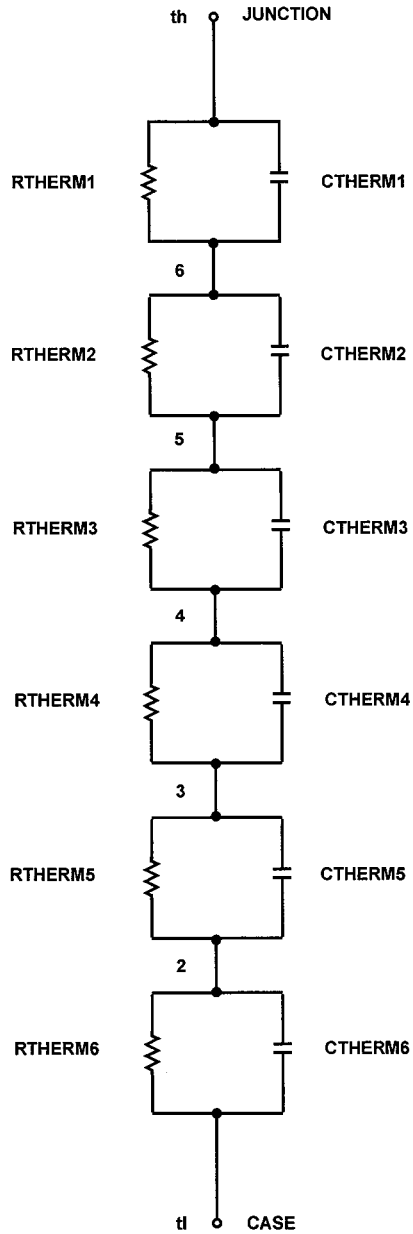
SABER Thermal Model

SABER thermal model IRF540NT

```

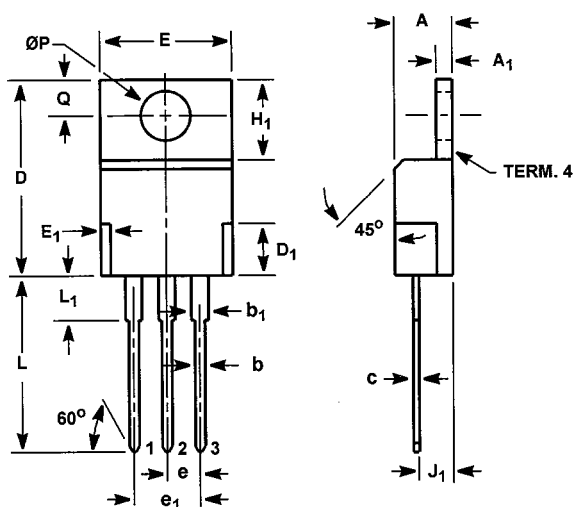
template thermal_model th tl
thermal_c th, tl
{
    ctherm.ctherm1 th 6 = 2.60e-3
    ctherm.ctherm2 6 5 = 8.85e-3
    ctherm.ctherm3 5 4 = 7.60e-3
    ctherm.ctherm4 4 3 = 7.65e-3
    ctherm.ctherm5 3 2 = 1.22e-2
    ctherm.ctherm6 2 tl = 8.70e-2

    rtherm.rtherm1 th 6 = 9.00e-3
    rtherm.rtherm2 6 5 = 1.80e-2
    rtherm.rtherm3 5 4 = 9.15e-2
    rtherm.rtherm4 4 3 = 2.43e-1
    rtherm.rtherm5 3 2 = 3.10e-1
    rtherm.rtherm6 2 tl = 3.21e-1
}
    
```



TO-220AB

3 LEAD JEDEC TO-220AB PLASTIC PACKAGE



SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	0.170	0.180	4.32	4.57	-
A ₁	0.048	0.052	1.22	1.32	-
b	0.030	0.034	0.77	0.86	3, 4
b ₁	0.045	0.055	1.15	1.39	2, 3
c	0.014	0.019	0.36	0.48	2, 3, 4
D	0.590	0.610	14.99	15.49	-
D ₁	-	0.160	-	4.06	-
E	0.395	0.410	10.04	10.41	-
E ₁	-	0.030	-	0.76	-
e	0.100 TYP		2.54 TYP		5
e ₁	0.200 BSC		5.08 BSC		5
H ₁	0.235	0.255	5.97	6.47	-
J ₁	0.100	0.110	2.54	2.79	6
L	0.530	0.550	13.47	13.97	-
L ₁	0.130	0.150	3.31	3.81	2
$\varnothing P$	0.149	0.153	3.79	3.88	-
Q	0.102	0.112	2.60	2.84	-

NOTES:

1. These dimensions are within allowable dimensions of Rev. J of JEDEC TO-220AB outline dated 3-24-87.
2. Lead dimension and finish uncontrolled in L₁.
3. Lead dimension (without solder).
4. Add typically 0.002 inches (0.05mm) for solder coating.
5. Position of lead to be measured 0.250 inches (6.35mm) from bottom of dimension D.
6. Position of lead to be measured 0.100 inches (2.54mm) from bottom of dimension D.
7. Controlling dimension: Inch.
8. Revision 2 dated 7-97.

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under **ISO9000** quality systems certification.

Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site www.intersil.com

Sales Office Headquarters

NORTH AMERICA

Intersil Corporation
P. O. Box 883, Mail Stop 53-204
Melbourne, FL 32902
TEL: (321) 724-7000
FAX: (321) 724-7240

EUROPE

Intersil SA
Mercure Center
100, Rue de la Fusee
1130 Brussels, Belgium
TEL: (32) 2.724.2111
FAX: (32) 2.724.22.05

ASIA

Intersil (Taiwan) Ltd.
7F-6, No. 101 Fu Hsing North Road
Taipei, Taiwan
Republic of China
TEL: (886) 2 2716 9310
FAX: (886) 2 2715 3029