

เครื่องกายภาพบำบัดทำเดินเบื้องต้น
BASIC GAIT REHABILITATION MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องกายภาพบำบัดทำเดินเบื้องต้น

BASIC GAIT REHABILITATION MACHINE



นายนพชัย ตันติรัตน์ รหัส 47010351

นายนริศ วงศ์นางาม รหัส 47010366

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.กิติพล ชิตสกุล

26.
26167ค
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...82188...
วัน,เดือน,ปี...9...ค.ศ. 2551

ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

11915968
b.....
i.....

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องถ่ายภาพบำบัดท่าเดินเบื้องต้น

BASIC GAIT REHABILITATION MACHINE

จัดทำโดย

นายณพชัย ตันศิริรัตน์ รหัส 47010351 ชั้นปีที่ 4

นายนริศ วงศ์นางาม รหัส 47010366 ชั้นปีที่ 4





อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.กิติพล ชิตสกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกายภาพบำบัดทำเดินเบื้องต้น

นายแพทย์ ดันดิรัตน์ 47010351

นายนิศ วงศ์นางาม 47010366

ดร.กิตติพล ชิตสกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ชุดอุปกรณ์เพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยอันเนื่องมาจากการบาดเจ็บทางกระดูกสันหลังหรือการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการไม่ได้เคลื่อนไหวร่างกายก่อนล่างเป็นเวลานานได้ทำการเคลื่อนไหวโดยอุปกรณ์ได้ทำการจำลองท่าเดินของมนุษย์ปกติโดยใช้อุปกรณ์ช่วยพยุงมีลักษณะเป็นแขนจับสองท่อนที่สามารถแกว่งได้อิสระเพื่อรองรับขาส่วนบนและขาส่วนล่าง ในภาคการศึกษานี้ได้จำลองการใช้งานในขาหนึ่งข้างก่อน โดยอาศัยการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้ในการสั่งงานของขาแต่ละท่อนให้สามารถเคลื่อนไหวได้เหมือนการก้าวเดินปกติของมนุษย์ จากที่ได้มีการศึกษาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BASIC GAIT REHABILITATION

Mr. Noppachai Tantirat ID. 47010351

Mr. Narit Wongnangam ID. 47010366

Dr. Kitiphol Chitsakul (Advisor)

Educational Year 2007

Abstract

The support device is designed for a patient who suffers from spinal cord injuries or who never moves for a long time to move normally. The support device simulates normal gait by using support two arms that can swing away independently by motor . The first depending arm for attachment the patient's leg is above knee and the second depending arm is attached to the patient's ankle In this semester we simulate for one leg by using microcontroller controls arms moving like human with the data.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการและรายงานประกอบโครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เพราะได้รับการแนะนำและสั่งสอนมาจาก ดร.กิตติพล ชิตสกุล อีกทั้งได้รับคำแนะนำ การแก้ปัญหาและพีปริญญาโท ผู้จัดทำจึงขอขอบคุณทุกๆท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในความสำเร็จครั้งนี้ด้วย



นายชัย ต้นศิริพันธ์

(นายพนชัย ต้นศิริพันธ์)

นริศ วาดิหนอง

(นายนริศ วงศ์นงาม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้าที่
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	VI
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
การวิทยาศาสตร์ระบบการเคลื่อนไหวและสรีระของมนุษย์	2
2.1 ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการเดิน	2
ข้อสะโพก	3
ข้อเข่า	4
ข้อเท้า	5
2.2 ทำเดินของมนุษย์ (GAIT)	6
2.3 ลักษณะทั่วไปของการเดินปกติ	9
2.4 อุปกรณ์	14
2.4.1 มอเตอร์กระแสตรง(Principles of a DC motor)	14
2.4.2 เฟต (Field effect transistor ,FET)	20
2.4.3 Sensor Optical Encoder	27
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	31
3.1 แนวทางการออกแบบชุดขากลัดันแบบ	31
3.2 ลักษณะการทำงานของชุดขากลัดันแบบ	32
3.3 หลักการออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	35
3.3.1 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้	35
3.3.2 หลักการออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้าที่
บทที่ 4 ผลการทดลอง	37
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	50
5.1 สรุป	50
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	50
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้าที่
บทที่ 2 รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการเดิน	2
รูปที่ 2.2 ข้อสะโพก	3
รูปที่ 2.3 ข้อเข่า	4
รูปที่ 2.4 ข้อเท้า	5
รูปที่ 2.5 แสดงช่วงการเดินของมนุษย์	7
รูปที่ 2.6 แสดงธรรมชาติการเดินของมนุษย์	8
รูปที่ 2.7 การแกว่งของจุดศูนย์กลางของร่างกาย ในแนวคิงซ์ขึ้นและลงประมาณ 2 นิ้ว	10
รูปที่ 2.8 การแกว่งของจุดศูนย์กลางของร่างกาย ในแนวราบ(frontal) ประมาณ 2 นิ้ว	10
รูปที่ 2.9 กระจกเงาจะหันในระนาบนอน ขณะเหวี่ยงขาไปด้านหน้าประมาณ 4 องศา	11
รูปที่ 2.10 แสดงความยาวและความกว้างของการก้าวเดิน	11
รูปที่ 2.11 การเดินในช่วงที่ขาจับน้ำหนักจากระยะสั้นเท้าสัมผัสพื้น จนถึงระยะยืนกลางในแนวราบต่างๆกัน	12
รูปที่ 2.12 ลักษณะการเคลื่อนที่ของมนุษย์	13
รูปที่ 2.13 มอเตอร์กระแสตรง	14
รูปที่ 2.14 แสดงการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง	15
รูปที่ 2.15 แสดงการกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์	18
รูปที่ 2.16 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน	18
รูปที่ 2.17 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขับ และกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง	19
รูปที่ 2.18 แสดงความกว้างของ พัลส์ขนาดต่างๆ และค่าคิวดีไซเคิล ของช่วง พัลส์ที่มีความถี่คงที่	20
รูปที่ 2.19 โครงสร้างเบื้องต้นของอิมอสเฟทแบบเซนแนล n	22
รูปที่ 2.20 เซนเซอร์กัมปู	29
รูปที่ 2.21 การต่อเซนเซอร์กับแผ่นวงกลม	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้าที่
บทที่ 3 รูปที่ 3.1 เฟือง	32
รูปที่ 3.2 แผ่นอะลูมิเนียม	33
รูปที่ 3.3 มอเตอร์	34
รูปที่ 3.4 โซ่	35
รูปที่ 3.5 วงจรขับมอเตอร์แบบ เฮซ-บริดจ์	35
บทที่ 4 รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลตารางที่ 1	38
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลตารางที่ 2	39
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลตารางที่ 3	40
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อสะโพกครั้งที่ 1	42
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อหัวเข่าครั้งที่ 1	42
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อสะโพกครั้งที่ 2	44
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อหัวเข่าครั้งที่ 2	44
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อสะโพกครั้งที่ 3	46
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อหัวเข่าครั้งที่ 3	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้าที่
บทที่ 4 ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ตัวที่ 1 (รอบต่อนาที)	38
ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ตัวที่ 2 (รอบต่อนาที)	39
ตารางที่ 3 ตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ตัวที่ 3 (รอบต่อนาที)	40
ตารางที่ 4 ตารางบันทึกผลการทดลองการเคลื่อนที่ของขา ครั้งที่ 1	41
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกผลการทดลองการเคลื่อนที่ของขา ครั้งที่ 2	43
ตารางที่ 6 ตารางบันทึกผลการทดลองการเคลื่อนที่ของขา ครั้งที่ 3	45
ตารางที่ 7 ตารางแสดงอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ในข้อต่างๆ เมื่อไม่มีการรับน้ำหนัก	47
ตารางที่ 8 ตารางแสดงอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ในข้อต่างๆ เมื่อมีการรับน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม	48
ตารางที่ 9 ตารางแสดงอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ในข้อต่างๆ เมื่อมีการรับน้ำหนัก 1 กิโลกรัม	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากการที่ผู้ป่วยอันเนื่องมาจากการบาดเจ็บทางกระดูกสันหลังหรือการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการไม่ได้เคลื่อนไหวร่างกายท่อนล่างเป็นเวลานานนั้นไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ทำให้ลำบากในการทำกายภาพบำบัด ผู้จัดทำจึงคิดที่จะประดิษฐ์เครื่องกายภาพบำบัดทำเดินเบื้องต้นเพื่อให้ผู้ป่วยอันเนื่องมาจากการบาดเจ็บทางกระดูกสันหลังหรือการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการไม่ได้เคลื่อนไหวร่างกายท่อนล่างเป็นเวลานานสามารถทำการกายภาพบำบัดได้ด้วยตัวเอง

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการเดินของมนุษย์เพื่อนำมาออกแบบเครื่องกายภาพบำบัดทำเดินเบื้องต้น และศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้จำลองการใช้งานในขาหนึ่งข้างก่อน โดยอาศัยการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ในการสั่งงานของขาแต่ละท่อนให้สามารถเคลื่อนไหวได้เหมือนการก้าวเดินปกติของมนุษย์ จากที่ได้มีการศึกษาได้

1.4 โครงสร้างของปริญญานิพนธ์

โดยเนื้อหาของปริญญานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วย

บทที่ 2 ทฤษฎี

บทที่ 3 หลักการออกแบบ

บทที่ 4 ผลการทดลอง

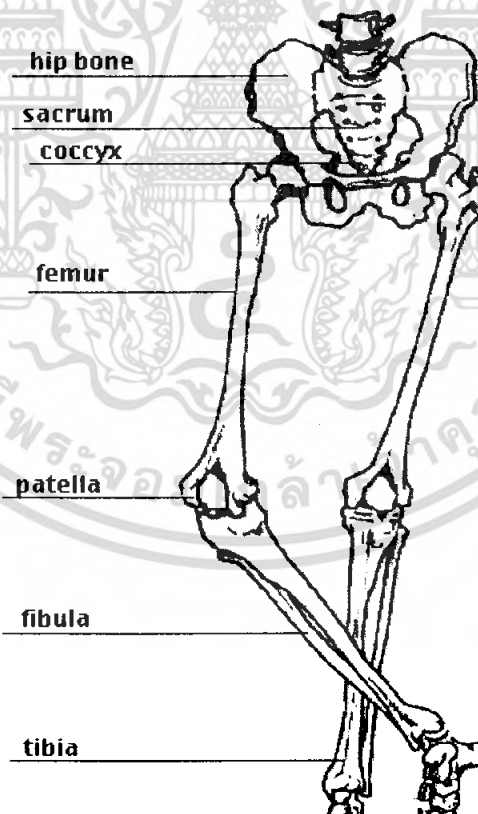
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

บทที่ 2 ทฤษฎี

กายวิภาคศาสตร์ระบบการเคลื่อนไหวและสรีระของมนุษย์

ในการจะทำแบบจำลองของสิ่งใดสิ่งหนึ่งขึ้นมาเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการสร้างหรือออกแบบ แบบจำลองนั้น คือ ตัวต้นแบบ จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษารายละเอียดของตัวต้นแบบอย่างจริงจังจึงจะสามารถสร้างหรือออกแบบแบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดดังนั้นในการสร้างแบบจำลองการเดินของมนุษย์ สิ่งที่จะต้องศึกษาอย่างจริงจังก็คือ มนุษย์ซึ่งจะต้องศึกษาทั้งในส่วนของส่วนประกอบที่ทำให้เกิดการเดินขึ้นและลักษณะการทำงานของส่วนประกอบแต่ละส่วนในการเดิน

2.1 ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการเดิน



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสะโพก



รูปที่ 2.2 ข้อสะโพก

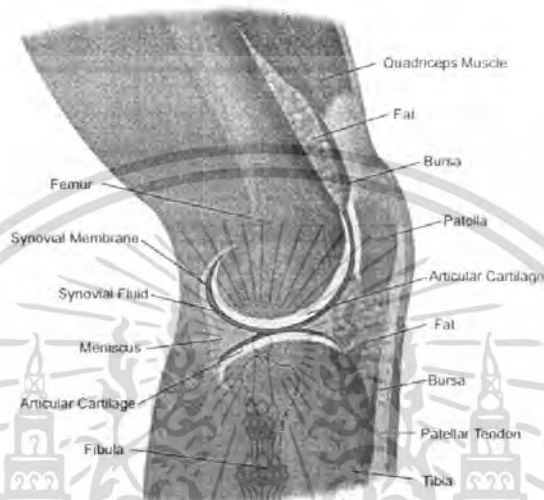
ข้อสะโพกเป็นข้อชนิด Spheriod type (ball & Socket) ซึ่งมีลักษณะเป็น ball สวมอยู่ใน Socket ทำให้ข้อสะโพกสามารถเคลื่อนที่ไปได้รอบ ๆ จุดหมุน โดยที่ข้อสะโพกสามารถงอได้ตั้งแต่ 0 ถึง 125 องศา โดยจำเป็นที่จะต้องอาศัยกล้ามเนื้อหลักในการทำให้มันงอได้ ซึ่งในที่นี้คือ

- กล้ามเนื้อ Psoas Major
- กล้ามเนื้อ Iliacus

และกล้ามเนื้อรองอีกจำนวนหนึ่ง

ข้อเข่า

Anatomy of the Knee

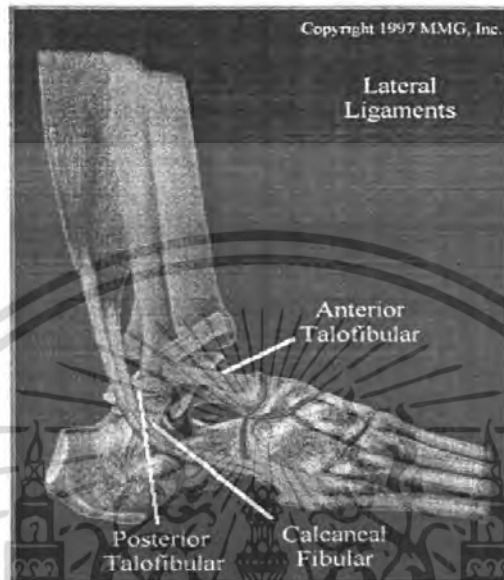


รูปที่ 2.3 ข้อเข่า

ข้อเข่า (knee joint) เป็นข้อชนิดบานพับ (hinge type) ซึ่งมีการเคลื่อนไหวรอบแกนนอน (Horizontal or transverse axis) ทำให้ขาสามารถงอ (flex) และเหยียด (extend) ยกเว้นเมื่อข้อเข่าอยู่ในท่าองประมาณ 90 องศา เข่าสามารถหมุนได้รอบแกนตั้งทำให้สามารถหมุนขาเข้าใน และหมุนออกได้ และเช่นกันในการงอเข่าจำเป็นต้องอาศัยกล้ามเนื้อช่วยในการงอได้แก่ Hanstrings Gracillis Sartorius Popliteus Gastrocnemius โดยที่เข่าสามารถงอได้มากที่สุด 140 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเท้าและเท้า



รูปที่ 2.4 ข้อเท้า

การเคลื่อนไหวของข้อเข่าและเท้าอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อซึ่งมีที่เกาะอยู่ด้านในบริเวณขา ตอนส่วนปลายเป็นเส้นเอ็นทอดผ่านช่องทางรอบๆ ข้อเท้าเข้าไปเกาะที่กระดูกของเท้าและนิ้วเท้า โดยที่กล้ามเนื้อบังคับการเคลื่อนไหวของเท้าและข้อเท้า เช่นเดียวกับข้อสะโพกและข้อเข่า

2.2 ทำเดินของมนุษย์ (GAIT)

เมื่อสิ่งมีชีวิตต้องการจะเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ก็ต้องอาศัยอวัยวะต่างๆ ที่มีอยู่ในร่างกายเคลื่อนไหว เพื่อดันและดึงลำตัวให้เคลื่อนไหวไปในทิศทางที่ต้องการ ในสัตว์ชั้นสูงขึ้นมาคืออาศัยแขน-ขา หรือ ขา ทำหน้าที่ดังกล่าว มนุษย์เป็นสัตว์ 2 เท้า ก็อาศัยในการเคลื่อนไหวดังกล่าว ถ้าการเคลื่อนไหวนี้ทำอย่างรวดเร็ว ก็เรียกว่าการวิ่ง ถ้าเป็นไปช้าๆ ก็เรียกว่าการเดิน การเดินนี้เป็นเรื่องที่วิวัฒนาการตามธรรมชาติ จึงทำให้คนทั่วไปไม่เห็นความสำคัญ จนกระทั่ง เมื่อมีความผิดปกติของการเดิน อันเนื่องมาจาก สาเหตุต่างๆ เกิดขึ้นแล้ว จึงจะรู้สึกว่าการเดินนี้เป็นปัญหา ที่ใหญ่มากต้องมีการฝึกหัดเดินกันใหม่

การเดิน เป็นวงจรของการเคลื่อนไหวของขาทั้ง 2 ข้าง เราแบ่งวงจรของการเดิน ออกเป็น 2 ช่วง

1. ช่วงรับน้ำหนัก(stance phase) คือ เริ่มจากเมื่อส้นเท้าแตะพื้น สิ้นสุดเมื่อเท้าข้างนั้นพ้นพื้น ในคนปกติคิดเป็นระยะทาง 60 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน
2. ช่วงแกว่งขา swing phase คือ เป็นช่วงที่ขาแกว่งเท้าพ้นพื้น ในคนปกติคิดเป็นระยะทาง 40 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน
3. ช่วงที่เท้าทั้งสองข้างแตะพื้นพร้อมกัน (double support) ในคนปกติคิดเป็นระยะทางประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน การเดินช่วงนี้เกิดในระยะแรกและระยะหลังของช่วงที่ขารับน้ำหนัก คือ ขณะที่เท้าของขาหน้าสัมผัสพื้นและเท้าของขาหลังยังคงสัมผัสพื้นอยู่ เมื่อเดินเร็วขึ้นระยะเวลาที่เท้าทั้งสองข้างแตะพื้นพร้อมกันจะสั้นลง และระยะนี้จะหายไปเมื่อเป็นการวิ่ง

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อก้าวออกเดินด้วยเท้าขวา ในช่วงแรกเท้าขวาจะยันพื้นรับน้ำหนักตัว (เราเรียกว่า stance phase) ลำตัวจะเคลื่อนไปข้างหน้า เท้าขวาก็จะกลายเป็นตัวดันลำตัวให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แล้วตัวเท้าเองก็จะลอยจากพื้น เพื่อจะไปคอยรับน้ำหนักตัวต่อไป phase ที่เราพูดถึง คือการศึกษาข้างใดข้างหนึ่ง จะเห็นว่าขาขวามี stance phase และ swing phase ตามกันไป ขาซ้ายก็เช่นกัน จะมีทั้ง stance phase และ swing phase ตามกันไป เมื่อขาขวาเป็น swing phase ขาซ้ายต้องเป็น stance phase สลับกันไป จึงทำให้การเดินนั้นเป็นไปตามธรรมชาติ ถ้าศึกษาให้ละเอียดแล้วช่วงต่างๆ แบ่งออกเป็นขั้นตอน ดังนี้

Stance phase

- Heel strike

คือ ขั้นตอนที่ส้นเท้ากระทบพื้น โดยในช่วงนี้กล้ามเนื้อจะทำหน้าที่ให้ข้อเข่าเหยียด

เต็มทีและเหยียดข้อสะโพกเพื่อให้สันเท้าแตะและกดลงกับพื้น

- Foot flat

ในช่วงนี้จะมีการใช้กล้ามเนื้อเช่นเดียวกับขั้นตอน heel strike แต่ข้อเท้าจะงอ 15 องศา และข้อเท้าที่เคยเหยียดเต็มที่ในขั้นตอน heel strike จะเริ่มงอ

- Mid strike

ในช่วงนี้ตัวจะเคลื่อนมาข้างหน้ามากขึ้น ขาคือรับน้ำหนักตัวมากขึ้น โดยกล้ามเนื้อจะทำงานดังนี้

- ทำให้ข้อสะโพกงอเล็กน้อย

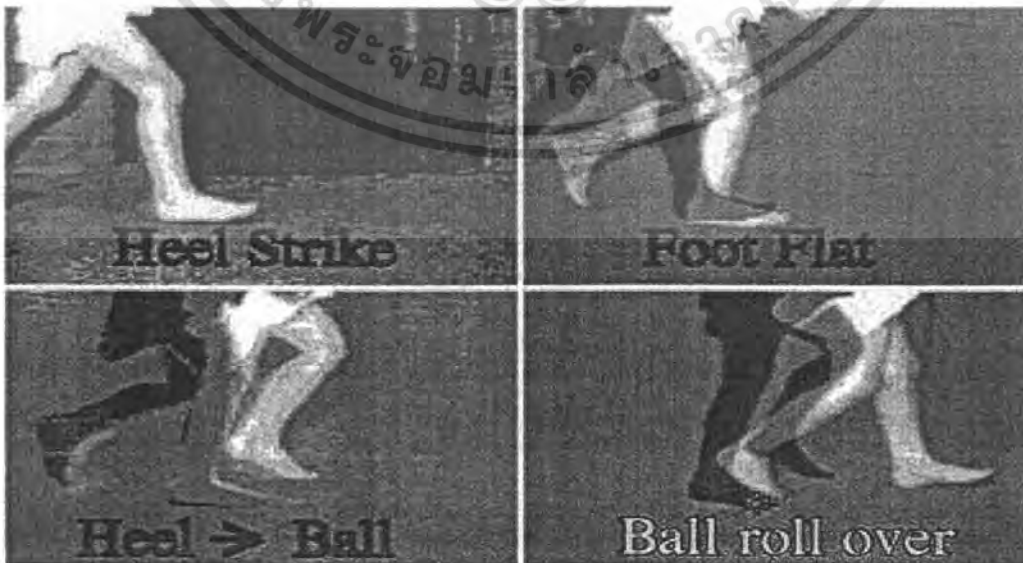
- บังคับให้กระดูกเชิงกรานอยู่ในแนวระดับ ไม่ให้กระดูกเชิงกรานเอียงมาข้างที่ลอย เพื่อให้แนวแรงเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ข้อสะโพกมากขึ้น และจุดศูนย์กลางไม่เคลื่อนที่ขึ้นสูงเกินไป และเพื่อจะได้ไม่เสียหลักล้มลงไปยังด้านที่กลิ้งอยู่ในท่า swing phase ได้ง่าย

- Heel off

คือ ช่วงที่สันเท้ายกสูงขึ้นจากพื้นตัวจะเอนไปข้างหน้ามากขึ้นทำให้ข้อสะโพกอยู่ในท่าเหยียด ประมาณ 10 องศา ข้อเข่าเหยียดหรืองอเล็กน้อย ประมาณ 2 องศา ข้อเท้าอยู่ในท่าเอียง 15 องศา

- Toe off

คือ ช่วงที่หลายเท้าดัน ให้ขาไปข้างหน้าเพื่อจะเริ่มต้น swing phase ต่อไป ในขั้นนี้จะเห็นว่าข้อสะโพกงอประมาณ 10 องศา ข้อเข่าประมาณ 40 องศา ข้อเท้างอประมาณ 20 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับที่ 2.5 แสดงช่วงการเดินของมนุษย์อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Swing phase ประกอบด้วยขั้นตอน

- Acceleration

ท่านี้ขาจะถูกเปลี่ยนไปข้างหน้าโดยใช้แรงมากมาเร่งข้อสะโพกอยู่ในท่าอง 15 องศา ข้อเข่าอง 65 องศา ข้อเท้าประมาณ 20 องศา

- Mid swing

ท่านี้ขาข้างนั้นถูกดึงให้ลอยมาอยู่ใต้ลำตัว ข้อสะโพกจะอง 25 องศา ข้อเข่าอง 65 องศา ข้อเท้าอยู่ในท่า neutral เพื่อให้ปลายเท้ายันจากพื้น โดยการทำงานของกล้ามเนื้อจะเหมือนกับช่วง acceleration phase ทุกประการ

- deceleration

การที่ขาที่ถูกเหวี่ยงไปข้างหน้าจากการทำงานของกล้ามเนื้อต่างๆ ที่กล้ำมาแล้ว ร่วมกับแรงเหวี่ยง (momentum) จะถูกดึงให้ช้าลง เพื่อจะได้เข้าสู่ stance phase ต่อไป ข้อสะโพกก็ยังอยู่ในท่าอง 25 องศา แต่ข้อเข่าจะอยู่ในท่าเหยียดเต็มที่จากแรงเหวี่ยง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการเดินเป็นวงจรเคลื่อนไหวก่อนขาทั้ง 2 ข้าง เราแบ่งวงจรของการเดิน (gait cycle) ออกเป็น 2 ช่วง (phase)

- stance phase

- swing phase

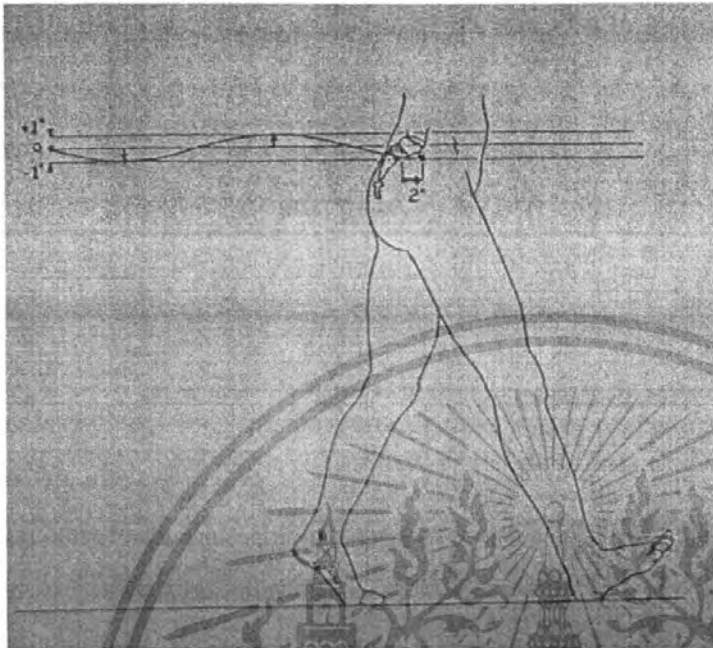


รูปที่ 2.6 แสดงธรรมชาติการเดินของมนุษย์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ลักษณะทั่วไปของการเดินปกติ จะประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้ คือ

1. แขนทั้งสองข้างจะแกว่งสลับกัน และแกว่งไปพร้อมกับขาด้านตรงกันข้าม โดยมีระยะการแกว่งที่เท่ากันเสมอ
2. การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางของร่างกายในแนวตั้ง(รูปที่ 2.7)ขณะเดินปกติ จุดศูนย์กลางของร่างกายจะเปลี่ยนแปลงไปจากขณะเมื่อยืนปกติ โดยจะเคลื่อนที่ขึ้นสูงสุดเมื่อขาอยู่ในระยะยืนกลางประมาณ 1 นิ้ว และจะเคลื่อนที่ลงต่ำสุดในช่วงที่ขาทั้งสองข้างรับน้ำหนักพร้อมกันประมาณ 1 นิ้ว รวมเป็นระยะการเคลื่อนไหวของจุดศูนย์กลางในแนวตั้งได้ 2 นิ้ว
3. การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางของร่างกายไปด้านข้าง(รูปที่ 2.8) การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางนี้จะเกิดขึ้นขณะมีการเปลี่ยนแปลงขารับน้ำหนัก โดยที่จุดศูนย์กลางของร่างกายขณะยืนปกติ จะเลื่อนไปด้านที่ขารับน้ำหนักประมาณ 1 นิ้วรวมเป็นระยะทางการเคลื่อนไหวทั้งหมด 2 นิ้ว
4. การลดระดับของกระดูกเชิงกรานไปด้านที่ขาแกว่ง การลดระดับของกระดูกเชิงกรานนี้จะเกิดรอบตะโพกข้างที่ขารับน้ำหนัก โดยกระดูกเชิงกรานจะลดระดับลงมาทำมุมประมาณ 5 องศากับแนวราบ
5. การหมุนของกระดูกเชิงกรานไปด้านหน้ารอบแนวตั้ง(รูปที่ 2.9) กระดูกเชิงกรานด้านที่ขากำลังแกว่งจะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าประมาณ 4 องศา โดยใช้ข้อตะโพกของขาที่รับน้ำหนักเป็นจุดหมุน และจะเคลื่อนที่ไปข้างหลัง 4 องศาด้วยเช่นกัน
6. การงอข้อเข่าในช่วงที่ขารับน้ำหนัก ข้อเข่าจะงอตลอดเวลาของการเดินช่วงนี้ ยกเว้นขณะที่ส้นเท้าแตะพื้นเท่านั้น ทั้งนี้ เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางของร่างกายในแนวตั้งมากเกินไป
7. ความกว้างของฐานการเดิน(รูปที่ 2.10) เป็นระยะระหว่างกึ่งกลางของส้นเท้าข้างหนึ่งไปยังจุดกึ่งกลางของส้นเท้าอีกข้างหนึ่ง ในคนปกติมีค่าประมาณ 2-4 นิ้ว
8. ความยาวของการเดิน (รูปที่ 2.11) เป็นความยาวของก้าว ระหว่างส้นเท้าของขาข้างหนึ่งกับส้นเท้าของขาอีกข้างหนึ่งซึ่งมีค่าประมาณ 15 นิ้ว ส่วนในคนไทยพบว่าเพศชายมีค่าเฉลี่ย 62.5 เซนติเมตร และในเพศหญิงมีค่าเฉลี่ย 59.2 เซนติเมตร
9. จำนวนก้าวในเวลาที่กำหนด (cadence) ในคนที่เดินช้าจะมีจำนวน 70 ก้าวใน 1 นาที แต่ในคนที่เดินเร็ว จะมีจำนวน 130 ก้าว ใน 1 นาที โดยทั่วไปของการเดินปกติจะมีค่าประมาณ 110-115 ก้าว ใน 1 นาที ส่วนในคนไทยทั้งเพศชายและเพศหญิงมีค่าเฉลี่ย 106 ก้าว ใน 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การแกว่ง
ของจุดศูนย์กลางถ่วงของ
ร่างกายในแนวตั้งขึ้น
และลงประมาณ 2 นิ้ว

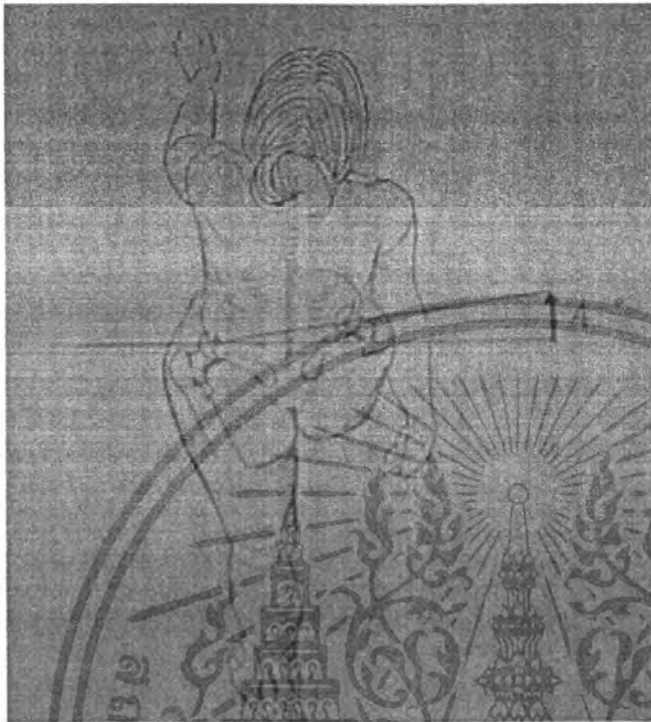


รูปที่ 2.8 การแกว่งของ
จุดศูนย์กลางถ่วงของร่างกายใน
แนวราบ(frontal)
ประมาณ 2 นิ้ว

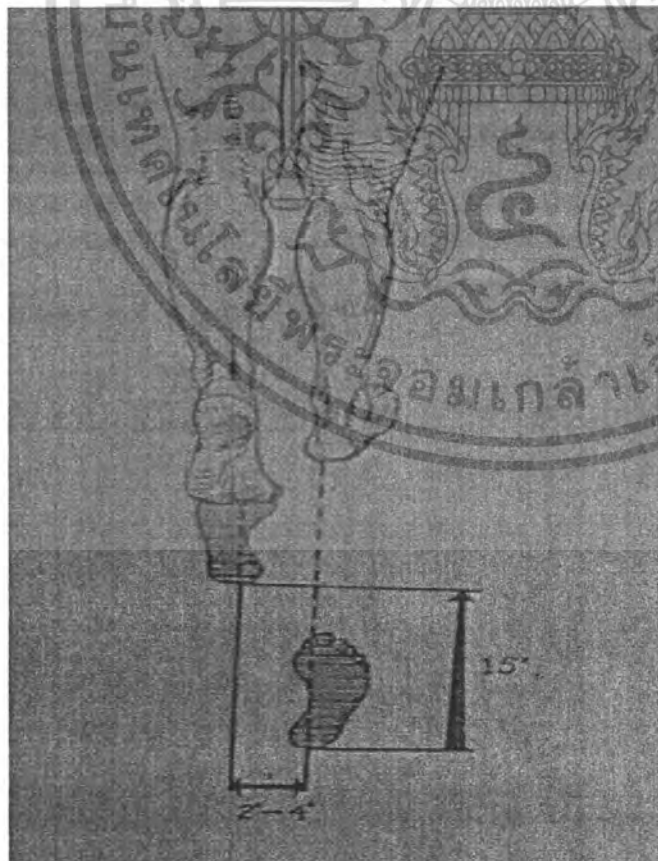
รูปที่ 2.9 กระดูกเชิง

กรานจะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากท่านนั้น ไม่อนุญาติให้拿來ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

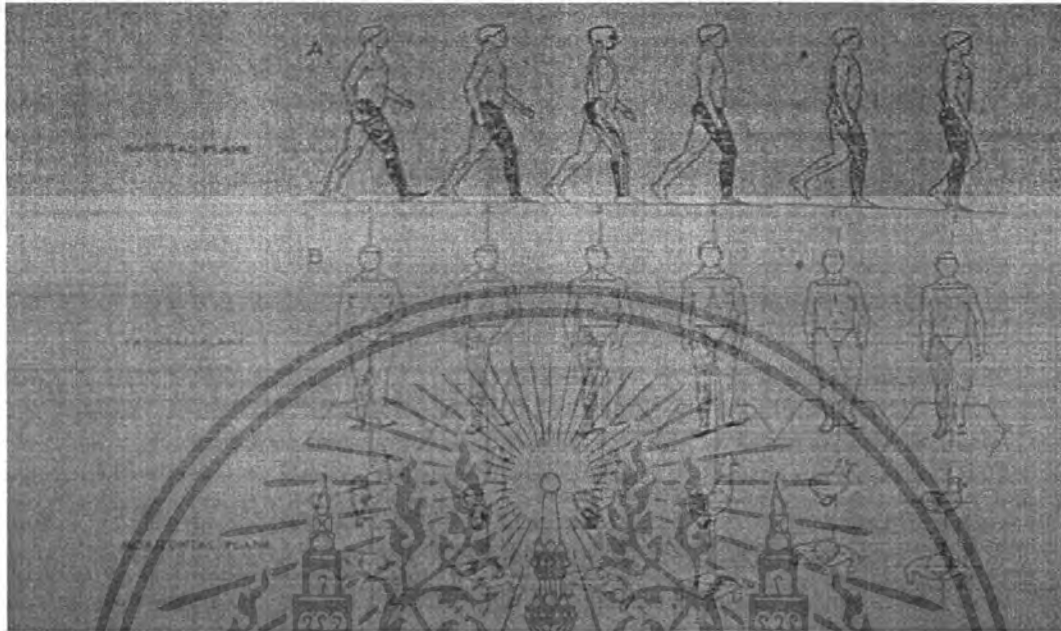


ระนาบบนอนขณะ
เหวี่ยงขาไปด้านหน้า
ประมาณ 4 องศา



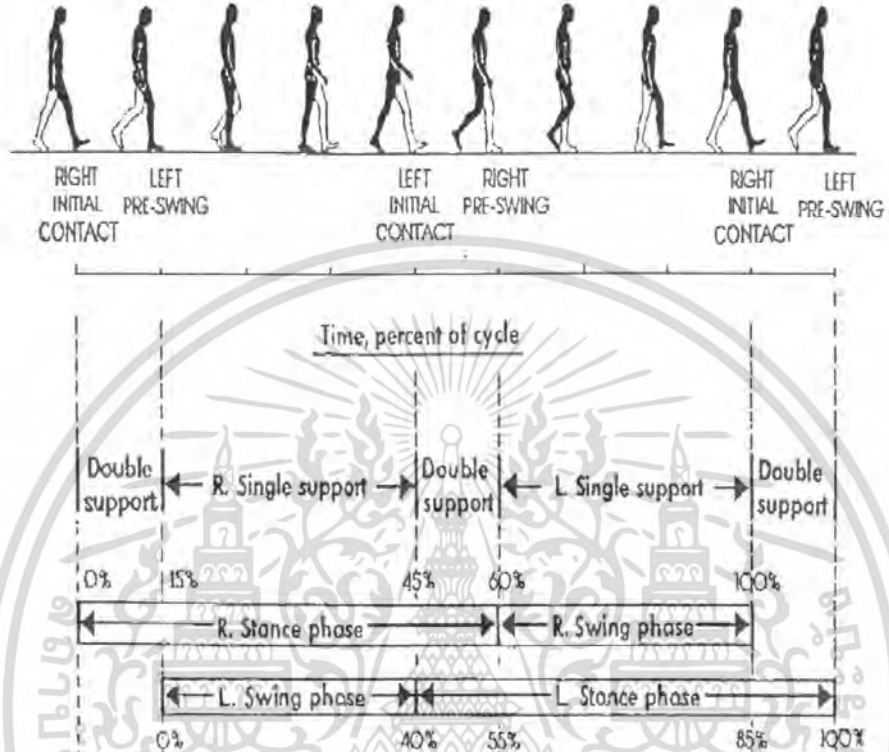
รูปที่ 2.10 แสดง
ความยาวและความ
กว้างของการก้าวเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การเดินในช่วงที่ขารับน้ำหนักจากกระยะสั้นเท้าสัมผัสพื้น จนถึงระยะขึ้นกลางใน
แนวราบต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ลักษณะการเคลื่อนที่ของมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อุปกรณ์

2.4.1 มอเตอร์กระแสตรง(Principles of a DC motor)

มอเตอร์(Motor) คืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ในทางกลับกันสามารถเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานทางไฟฟ้าได้เรียนว่าตัวกำเนิดไฟฟ้า (generator) หรือ ไดนาโม (dynamo)ในการหมุนมอเตอร์จะแสดงงานทั้งสองประเภทขึ้นมา ถ้าการเคลื่อนไหวคือการทำหยุดทางกล

มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานโดยอาศัยหลักการทำงานของแม่เหล็ก แต่การทำงานของมอเตอร์ก็ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกลของแม่เหล็กอย่างอื่นด้วยเช่น แรงทางอนุภาคไฟฟ้าสถิต(Electrostatic force) และปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect) ปรากฏการณ์แรงกลทางไฟฟ้า ที่เกิดจากแรงทางกลออกแรงกระทำกับสารแม่เหล็กสามารถทำให้เกิดการตอบสนองทางไฟฟ้าและแรงทางไฟฟ้าก็จะก่อผลให้เกิดแรงทางกลได้เช่นเดียวกัน

หลักการทำงานมอเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าทำงานบนพื้นฐานของแรงทางกล(mechanical force) เมื่อขดลวดนำกระแสในสนามแม่เหล็ก(magnetic field) แรงที่เกิดขึ้นอธิบายตามกฎของลอเรนซ์ (Lorentz force law) ลวดที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก มอเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กส่วนมากจะเกิดการหมุน แต่ก็ไม่ใช่ทุกประเภทเช่น มอเตอร์เชิงเส้น(Linear motor) ในมอเตอร์ประเภทที่มีการหมุน ในส่วนที่หมุนโดยปกติจะอยู่ภายในมอเตอร์ เรียกว่าโรเตอร์(Rotor) และส่วนที่อยู่กับที่(stationary)จะเรียกว่า สเตเตอร์(stator) ส่วนของโรเตอร์หมุนเพราะว่า เส้นลวดและสนามแม่เหล็กมีการเรียงตัว เกิด ทอร์ก (torque)ในแกนของโรเตอร์มอเตอร์ประกอบไปด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าที่หมุนวนในกรอบนั้น โดยกรอบนี้บางทีจะถูกเรียกว่าอาร์เมเจอร์(armature)บางทีเกิดการเข้าใจผิดในตอนนี้เกิดขึ้น ที่ถูกคืออาร์เมเจอร์คือส่วนของมอเตอร์ที่รับแรงดัน(voltage)เข้าไป ขึ้นกับการออกแบบทางกลว่าจะให้ส่วนของโรเตอร์หรือสเตเตอร์เป็นอาร์เมเจอร์

ในโครงการนี้จะกล่าวถึงมอเตอร์กระแสตรง(DC motor) เป็นหลัก



รูปที่ 2.13 มอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหมุนของมอเตอร์กระแสตรงอย่างง่าย



เมื่อขดลวดได้รับพลังงาน สนามแม่เหล็กถูกสร้างรอบๆแกนอาร์เมเจอร์ ฝั่งทางซ้ายของอาร์เมเจอร์จะผลักแกนจากทางซ้ายไปขวาเกิดการหมุนขึ้น



แกนของอาร์เมเจอร์ยังคงหมุนต่อไป



เมื่อแกนอาร์เมเจอร์อยู่ในแนวราบ จะเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลของ

รูปที่ 2.14 แสดงการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

ถ้าเพลลาของมอเตอร์กระแสตรงถูกหมุนด้วยแรงกลภายนอก มอเตอร์จะแสดงตัวเป็นตัวสร้างพลังงานและสร้างแรงเคลื่อนทางไฟฟ้า (Electromotive force, EMF) ค่าแรงดันที่สร้างขึ้นเป็นปกติในขณะที่มอเตอร์ทำงาน ในขณะที่มอเตอร์หมุนจะสร้างค่าแรงดันขึ้น หรือเรียกว่าแรงดันเคลื่อนย้อนกลับ (counter-EMF, back EMF) เพราะแรงดันในมอเตอร์ คำนึงค่าแรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์จะประกอบไปด้วยแรงดันที่ตกลงเนื่องจากแรงดันต้านการเคลื่อนที่ และแรงดันที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในตัวของความต้านทานของแกนอาร์เมเจอร์ ค่าของกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์จะหาได้จากสมการ

$$I = (V_{\text{applied}} - V_{\text{cemf}}) / R_{\text{armature}}$$

ค่าของแรงทางกลของมอเตอร์จะหาได้จาก

$$P = I * V_{\text{cemf}}$$

เมื่อแรงต้านการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เป็นสัดส่วนกับความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์เริ่มการหมุน มีค่าแรงต้านการเคลื่อนที่เริ่มต้น ดังนั้นกระแสที่ไหลในส่วนของอาร์เมเจอร์จะมีค่ามากกว่าปกติ ค่าของกระแสที่มากนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กความเข้มสูงทำให้เกิดการเริ่มหมุนของมอเตอร์ได้เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนค่าของแรงต้านการเคลื่อนที่ จะเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ที่จุดนี้จะไม่มีความดันตกอย่างอื่นปนเข้ามา ที่จุดนี้มีกระแสไหลน้อยลงจากสมการพื้นฐาน 3 สมการจะทำให้สามารถหาค่าความเร็ว กระแส และแรงต้านการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เมื่อรับภาระได้

$$\text{Load} = V_{\text{cemf}} * I$$

$$V_{\text{applied}} = I * R_{\text{armature}} + V_{\text{cemf}}$$

$$V_{\text{cemf}} = \text{speed} * \text{Flux}_{\text{armature}}$$

(การควบคุมความเร็วของมอเตอร์) Speed control

ความเร็วการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงเป็นสัดส่วนกับค่าของแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และค่าทอร์คเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ การควบคุมความเร็วจะประสบความสำเร็จได้โดยปรับค่าแรงดัน ความต้านทาน หรือการควบคุมทางไฟฟ้าอย่างอื่น ทิศทางของการหมุนของมอเตอร์สามารถเปลี่ยนได้โดยการกลับสนามแม่เหล็ก หรือการกลับทิศทางกระแสไหลของกระแสในตัวอาร์เมเจอร์ แต่จะไม่เกิดขึ้นเมื่อทำทั้งสองอย่างพร้อมกัน

ผลของแรงดันที่สามารถปรับได้โดยอาศัยการแทรกตัวต้านทานแบบอนุกรม หรือใช้วิธีทางไฟฟ้าอย่างอื่นเช่นการสวิตช์(Switching) โดยอุปกรณ์เช่นไทรสเตอร์,ทรานซิสเตอร์ (thyristors,transistor)ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ป้อนให้กับมอเตอร์สามารถปรับได้ โดยการปรับให้ทำงาน (on) หรือหยุดทำงาน (off) ค่าความเร็วของมอเตอร์ขึ้นกับระยะเวลาที่ปรับให้แรงดันทำงานคูณกับค่าของแรงดันจริงที่ป้อนให้กับมอเตอร์เช่น ถ้าแรงดันจริงมีค่าเท่ากับ 12 โวลต์ และเวลาการทำงานเท่ากับ 10เปอร์เซ็นต์ ค่าแรงดันเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 1.2 โวลต์ ส่วนในช่วงการหยุดทำงานของ

แหล่งจ่ายความเหนี่ยวนำของอาร์เมเจอร์ ที่มีผลมาจากการไหลต่อเนื่องของกระแสภายในต้องทำการใส่ไดโอดที่เรียกว่า ฟลายวีลไดโอด (flywheel diode) ที่ต่อขนานกับมอเตอร์ ที่จุดนี้วงจรของการจ่ายกระแสจะเป็นศูนย์ ดังนั้นค่าของกระแสเฉลี่ยจะมากกว่ากระแสที่จ่ายออกมาจากแหล่งจ่าย จนกระทั่งเวลาทำงานของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาการทำงานเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ค่าของกระแสที่ไหลในมอเตอร์จะมีค่าเท่ากับ กระแสที่ออกมาจากแหล่งจ่าย

จากการควบคุมดังกล่าวหรือการเปลี่ยนการทำงาน และหยุดทำงานอย่างรวดเร็วนี้ส่งผลให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าการต่อตัวต้านทานอนุกรมกับมอเตอร์ การทำงานแบบนี้เรียกว่า พัลส์วิดท์ มอดูเลชัน (Pulse width modulation, PWM) และสามารถควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) การติดตั้งตัวกรอง (filter) ที่ทางออกในบางครั้งจะให้ค่าแรงดันที่เรียบเพื่อลดสัญญาณรบกวนจากมอเตอร์

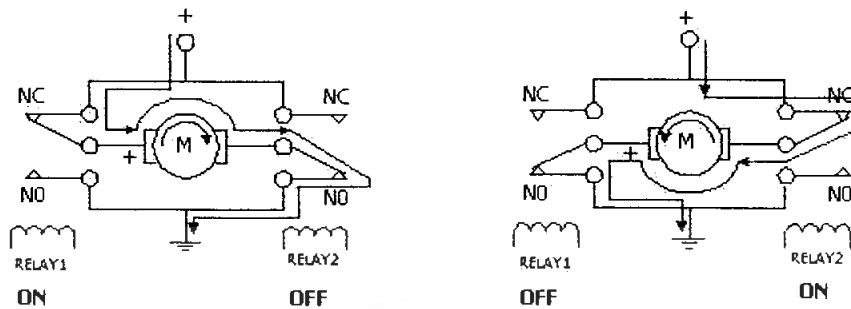
การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR)

ในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการหมุน และทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงนั้น เราจะต้องมีส่วนของวงจร ที่เรียกว่าวงจรขับมอเตอร์ (Driver) ในส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์นั้น สามารถที่จะใช้รีเลย์ต่อวงจร สวิตช์เพื่อกลับทิศทางของขั้วไฟกระแสตรง หรืออาจใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับกำลังเช่น ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต แล้วแต่วิธีที่เราจะเลือกใช้งาน

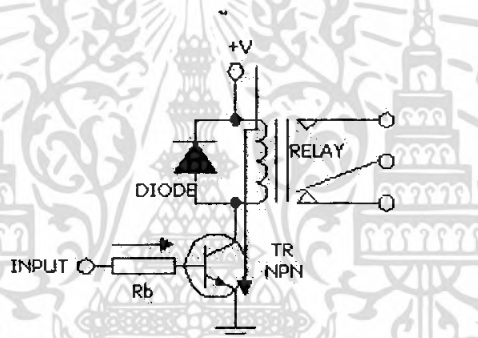
จากรูปเป็นการใช้รีเลย์ควบคุมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดยการควบคุมการปิด - เปิดที่รีเลย์ 2 ตัว ซึ่งจะทำหน้าที่กลับทิศทางของขั้วไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยการสลับการทำงานของรีเลย์ เช่น ให้รีเลย์ตัวที่ 1 ทำงาน (ON) และรีเลย์ตัวที่ 2 หยุดทำงาน (OFF) จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย และในทำนองเดียวกันถ้าหากรีเลย์ตัวที่ 1 หยุดทำงาน (OFF) และรีเลย์ตัวที่ 2 ทำงาน (ON) ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา

82188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



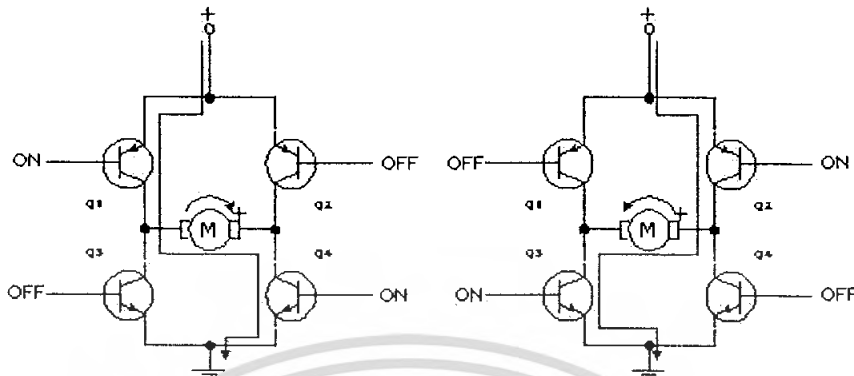
รูปที่ 2.15 แสดงการกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์



รูปที่ 2.16 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน

จากรูปเป็นวงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายกระแส ด้วยเหตุผลเพราะไม่สามารถจะใช้ขา เอคต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนกระแสไฟที่ขดลวดของรีเลย์โดยตรงได้ เนื่องจากว่ากระแสที่จ่ายออกมาจากขา เอคต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อยเกินไป

ดังนั้นเราจึงต้องมีส่วนของวงจรถานซิสเตอร์เพื่อที่จะทำการขยายกระแสให้เพียงพอในการป้อนให้กับขดลวดของรีเลย์ ส่วนไดโอดนำมาต่อไว้สำหรับป้องกันแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในขณะที่เกิดการขุดตัว ซึ่งอาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้



รูปที่ 2.17 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรถับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง

จากรูปเป็นวงจรถับกระแสตรง ซึ่งจะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัวทำหน้าที่ขับ และควบคุมทิศทางของมอเตอร์ ถ้าหากกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 อยู่ในสถานะทำงาน (Active) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์จากซ้ายไปขวา โดยผ่านมอเตอร์ กระแสตรงทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา ในทำนองเดียวกันถ้าหากเราทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 อยู่ในสถานะทำงาน (Active) กระแสไฟฟ้าก็จะไหลจากทางขวาไปทางซ้ายซึ่งจะส่งผลให้มอเตอร์กลับทิศทางหมุนจากทางขวาไปทางซ้าย

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

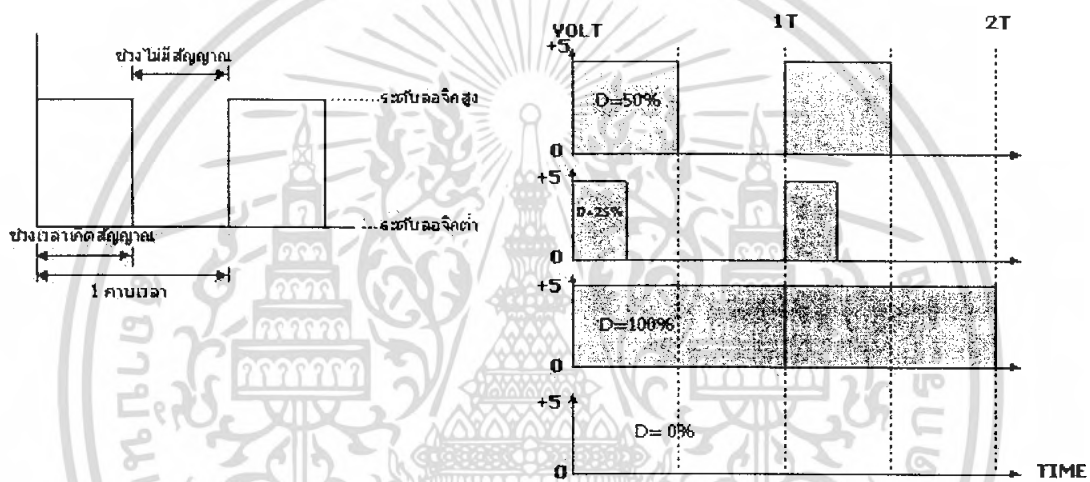
การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไป เช่น การควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยอัตโนมัติกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วค่าจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ซึ่งเราเรียกว่าวิธีการของการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation)

วิธีการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM)

การมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วน และความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวตีไซเคิล (duty cycle) นั้นเอง ซึ่งค่าของดิวตีไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากค่าดิวตีไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง ดังรูป 6.27 และในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าดิวตีไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้าง

ของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดีวีไอเซลมีค่าเท่ากับ 100% ก็หมายความว่า จะไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลย ซึ่งค่าดีวีไอเซลสามารถ จะหาได้จากค่าความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{ค่าดีวีไอเซล} = \left(\frac{\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์/คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}}{\text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}} \right) \times 100\%$$



รูปที่ 2.18 แสดงความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ และค่าดีวีไอเซล ของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่

2.4.2 ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า (Field-Effect Transistor ; FET)

ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า คือ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้สนามไฟฟ้าในการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารกึ่งตัวนำเพื่อให้เกิดการนำกระแสเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยทั่วไปมักเรียกชื่อย่อว่า "เฟท"

เฟทแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบรอยต่อ (Juntino Field Effect Transistor) หรือ เจเฟท (JFET) และ ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบโลหะ-ออกไซด์-สารกึ่งตัวนำ (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) หรือ มอสเฟท (MOSFET)

ในที่นี้จะกล่าวถึง MOSFET เท่านั้น

มอสเฟต (MOSFET)

มอสเฟตจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ **ดีพลีชัน (Depletion)** และ **เอนโงชันเมนต์ (Enhancement)**

แต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแซนแนล n และ แบบแซนแนล p

มอสเฟตประเภท ดีพลีชันหรือดีมอสเฟต (D-MOSFET) ทั้ง 2 แบบจะทำงานได้ 2 โหมด คือ โหมดดีพลีชัน (Depletion Mode) และ โหมดเอนโงชันเมนต์ (Enhancement Mode) กล่าวคือ ถ้าจ่ายแรงดันลบให้กับดีมอสเฟตแซนแนล n จะทำงานในโหมดดีพลีชัน แต่ถ้าจ่ายแรงดันบวกจะทำงานในโหมดเอนโงชันเมนต์ ส่วนดีมอสเฟตแซนแนล p ก็จะทำงานคล้ายกันเมื่อ ได้รับแรงดันที่มีขั้วตรงข้ามกับแบบแซนแนล n

มอสเฟตประเภทเอนโงชันเมนต์หรืออีมอสเฟต (E-MOSFET) มีโครงสร้างบางอย่าง คล้ายกับมอสเฟตแบบดีพลีชัน แต่จะทำงานได้เฉพาะ โหมดเอนโงชันเมนต์เท่านั้น

อีมอสเฟต (EMOSFET)

แม้ว่าโครงสร้างและขอบเขตการทำงานของดีมอสเฟตกับอีมอสเฟตจะมีลักษณะ คล้ายกันอยู่บ้าง แต่เคอร์ฟลักษณะของอีมอสเฟตจะแตกต่างออกไปโดยสิ้นเชิง

* กล่าวคือ ไม่สามารถนำสมการของชอคเลย์มาเขียนเคอร์ฟถ่ายโอนของอีมอสเฟตได้

* และกระแส I_D ยังไม่เกิดขึ้นจนกระทั่ง V_{GS} มีค่าสูงถึงค่าเฉพาะค่าหนึ่ง

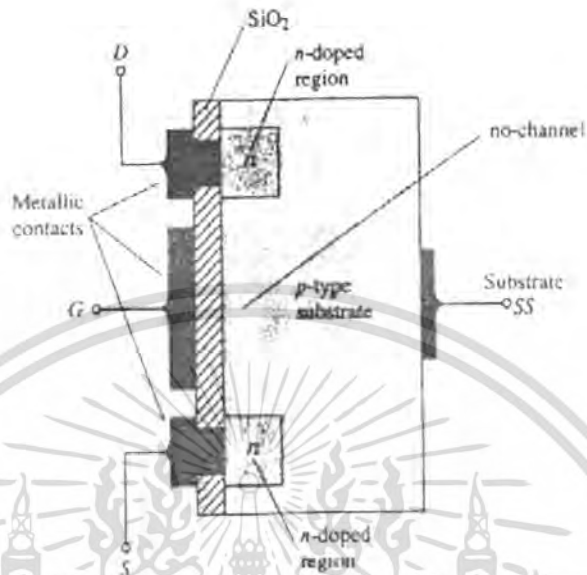
อีมอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. อีมอสเฟตแบบแซนแนล n
2. อีมอสเฟตแบบแซนแนล p

สัญลักษณ์ของ อีมอสเฟต

อีมอสเฟตแบบแซนแนล n

โครงสร้างเบื้องต้นของอีมอสเฟตแบบแซนแนล n เป็นดังรูป



รูปที่ 2.19 โครงสร้างเบื้องต้นของอิมอสเฟตแบบชนแชนแนล n

อิมอสเฟตแบบชนแชนแนล n ประกอบขึ้นจากแผ่นผลึกฐาน p ที่เป็นสารกึ่งตัวนำทำจากซิลิคอน ขั้ว D และขั้ว S ต่อกับ บริเวณที่มีการกระตุ้น n โดยผ่านวัสดุฉนวนที่เป็นโลหะ นอกจากนี้บางครั้งจะต่อแผ่นผลึกฐาน p เข้ากับแหล่งจ่ายจึง มีขั้ว SS เพิ่มขึ้นมากคล้ายกับดีมอสเฟต

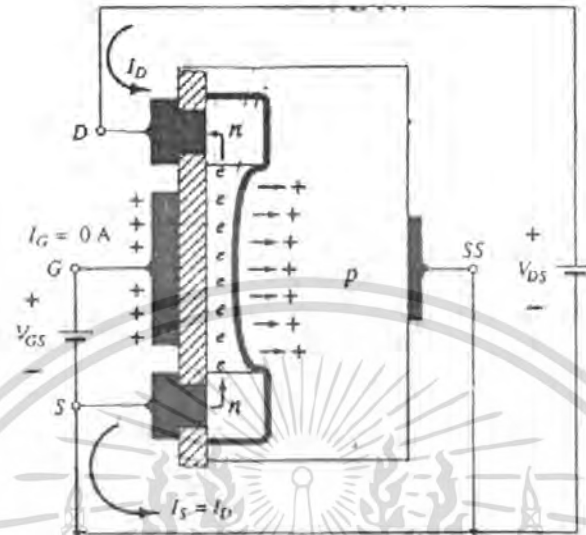
ถ้าสังเกตรูป ให้ดีจะเห็น ได้ว่าไม่มีเส้นทางเชื่อมหรือ ไม่มีแชนแนล (no-channel) ระหว่างบริเวณที่มีการกระตุ้น n ทั้ง 2 แห่ง นี้คือความแตกต่างเบื้องต้นระหว่าง โครงสร้างของอิมอสเฟตและดีมอสเฟต

การทำงานและคุณลักษณะเบื้องต้น

กำหนดให้ $V_{GS} = 0V$ และจ่าย V_{DS} ที่มีค่าเป็นบวกให้กับขั้ว S กับขั้ว D โดยขั้ว SS ต่อกับขั้ว S ดังรูป

จะเกิดจากไบอัสกลับที่รอยต่อ p-n (บริเวณที่มีการกระตุ้น n กับผลึกฐาน p) [เนื่องจาก ไม่มีเส้นทางเชื่อม หรือ แชนแนลระหว่างขั้ว D

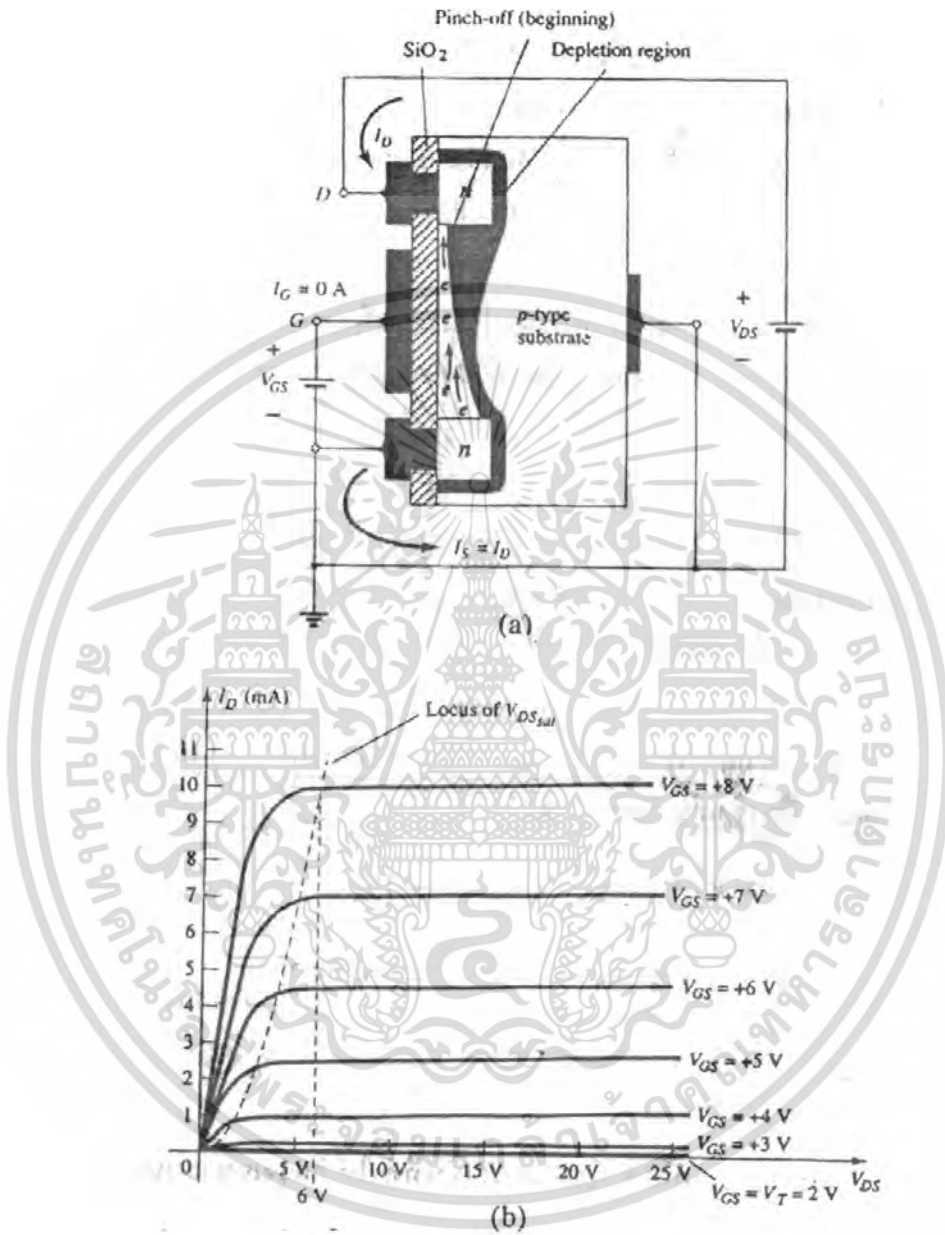
และขั้ว S ทำให้เกิดการต้านการไหลของอิเล็กตรอน] กระแส $I_D=0$ แตกต่างจาก ดีมอสเฟตและเจเฟตซึ่งมี $I_D=I_{DSS}$



ถ้าจ่าย V_{DS} และ V_{GS} ที่มีค่าเป็นบวกดังรูป ทำให้ขั้ว D และขั้ว G มีความต่างศักย์เป็นบวก การที่ขั้ว G มีความต่างศักย์เป็นบวกนี้จะผลักดันให้โฮลในผลึกฐาน p เข้าไปสู่บริเวณภายในผลึกฐาน p และดึงดูดอิเล็กตรอนในผลึกฐาน p (เป็นพาหะข้างน้อยรวมตัวอยู่ในบริเวณใกล้กับผิวของ SiO_2) ซึ่งมีคุณลักษณะเป็นฉนวนและป้องกันอิเล็กตรอนไม่ให้ดึงดูดไปยังขั้วเกต

ขณะที่ V_{GS} เพิ่มขึ้น การรวมตัวของอิเล็กตรอนใกล้กับชั้นของ SiO_2 ก็เพิ่มมากขึ้นตามลำดับขณะเดียวกันบริเวณที่มีการกระตุ้น n เกิดการเหนี่ยวนำจากแรงดัน V_{GS} ทำให้มีอิเล็กตรอนหรือ I_D (มีทิศทางตรงข้ามกับอิเล็กตรอน) ไหลระหว่าง ขั้ว D กับขั้ว S ระดับ V_{GS} ทำให้ I_D ไหลเราเรียกว่า แรงดันธรสโธลด์ (Threshold Voltage; V_T) ในสเปคกำหนดให้ V_T เป็น $V_{GS(th)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ถ้าเพิ่ม V_{GS} ให้สูงขึ้น I_D ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้า V_{GS} มีค่าคงที่ และ เพิ่มค่า V_{DS} จะทำให้ I_D ถึงจุดอิ่มตัว (เช่นเดียวกับไดโอด) เนื่องจากขั้วบวกของ V_{DS} ดึงคู่อิเล็กตรอน จึงจะทำให้ปลายของช่องทางเหนี่ยวนำบริเวณใกล้ขั้ว D แคบลง ใกล้ระดับพินช์ออฟ [Pinch-Off (Begining)] ดังรูป (a) เมื่อนำ KVL มาร่วมพิจารณา จะได้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้ว D กับขั้ว G (V_{DG}) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{DG} = V_{DS} - V_{GS} \text{-----} (2.1)$$

ถ้ากำหนดให้ $V_{GS} = 8 \text{ V}$ และ $V_{DS} = 2 \text{ V}$ ก็จะได้ $V_{DG} = -6 \text{ V}$ แต่ถ้าเพิ่ม V_{GS} เป็น 5 V ค่า V_{DG} จะเป็น -3 V (ตาม

สมการที่ 2.1) การลดลงของ V_{DG} ทำให้แรงดึงดูด (จากขั้วบวกของ V_{DS}) ที่มีต่ออิเล็กตรอนอิสระ ในบริเวณช่องทางเหนี่ยวนำลดลง

ด้วย ทำให้ช่องทางเหนี่ยวนำแคบลง ถ้าความกว้างของช่องทางดังกล่าวลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึง จุดพินชออฟ I_D ก็จะถึงจุดอิ่มตัว

ดังที่ได้อธิบายในดีมอสเฟต

คุณลักษณะของขั้วเกรนของมอสเฟตใน รูป (a) เป็นดังรูป (b) ขณะที่ $V_T = 2 \text{ V}$ ที่ $V_{GS} = 8 \text{ V}$ ทำให้เกิด

V_{DS} อิ่มตัว (V_{DSsat}) = 6 V ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{DSsat} กับ V_{GS} ดังนี้

$$V_{DSsat} = V_{GS} - V_T \text{-----} (2.2)$$

สมการที่ 2.2 ทำให้ทราบว่า เมื่อ V_T คงที่และ V_{GS} ยิ่งสูงขึ้นเท่าใด V_{DSsat} ก็ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น

ในรูป (b) ขณะที่ V_T เป็น 2 V ณ ตำแหน่งนี้ $I_D = 0 \text{ mA}$ ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่า ถ้า V_{GS} มีค่าต่ำกว่า V_T ค่า I_D ของมอสเฟตจะเป็นศูนย์หรือไม่มีกระแสไหลนั่นเอง

ถ้าค่า V_{GS} เพิ่มขึ้นจาก V_T เป็น 8 V จะทำให้ระดับการอิ่มตัวของ I_D เพิ่มขึ้นจาก 0 mA เป็น 10 mA แต่เนื่องจากช่วง

ของเกอ์ฟ V_{GS} มีระยะห่างไม่เท่ากัน ดังนั้น I_D ที่เพิ่มขึ้น จึงมีความสัมพันธ์กับ V_{GS} ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นดังสมการต่อไปนี้

$$I_D = k (V_{GS} - V_T)^2 \text{-----} (2.3)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่ของ โครงสร้างมอสเฟต ซึ่งหาค่าได้จาก

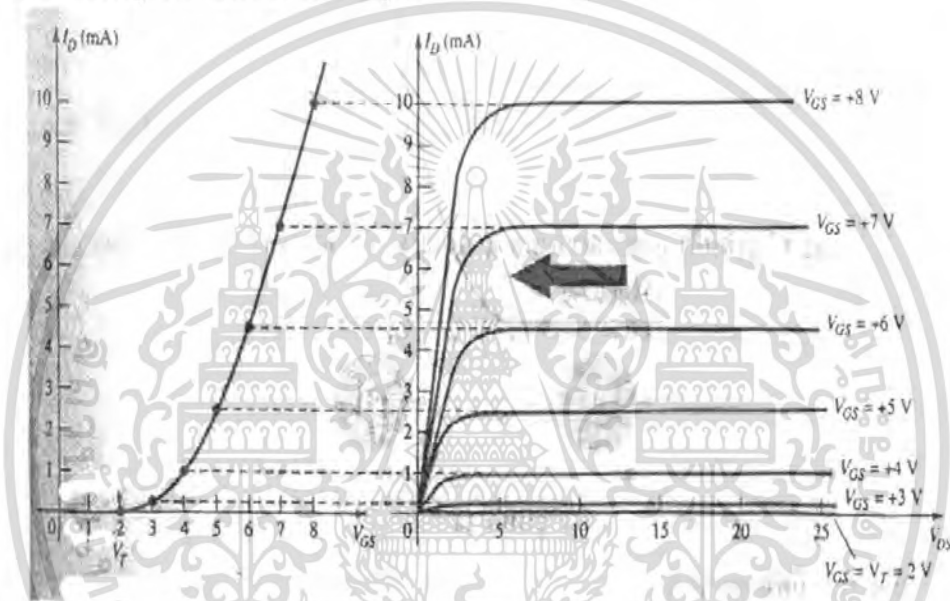
$$k = I_{D(on)} / (V_{GS(on)} - V_T)^2 \text{-----} (2.4)$$

เมื่อ $I_{D(on)}$ และ $V_{GS(on)}$ เป็นกระแสและแรงดันที่ทำให้เกิดจุดเฉพาบน เกอ์ฟคุณลักษณะของมอสเฟต

สมมติแทนค่า $I_{D(on)} = 10 \text{ mA}$ ขณะ $V_{GS} = 8 \text{ V}$ ลงในสมการที่ 4 จะได้ $k = 0.278 \times 10^{-3} \text{ A/V}^2$

แทนค่า k ในสมการที่ 2.3 เพื่อหาค่า I_D สำหรับคุณลักษณะในรูป (b) โดยสมมติ $V_{GS} = 4 \text{ V}$ จะได้ $I_D = 1.11 \text{ mA}$

สำหรับการวิเคราะห์ไฟฟ้ากระแสตรงของเอ็มอสเฟต จะใช้คุณลักษณะถ่ายโอนดังรูปต่อไปนี้ในการแก้ปัญหา

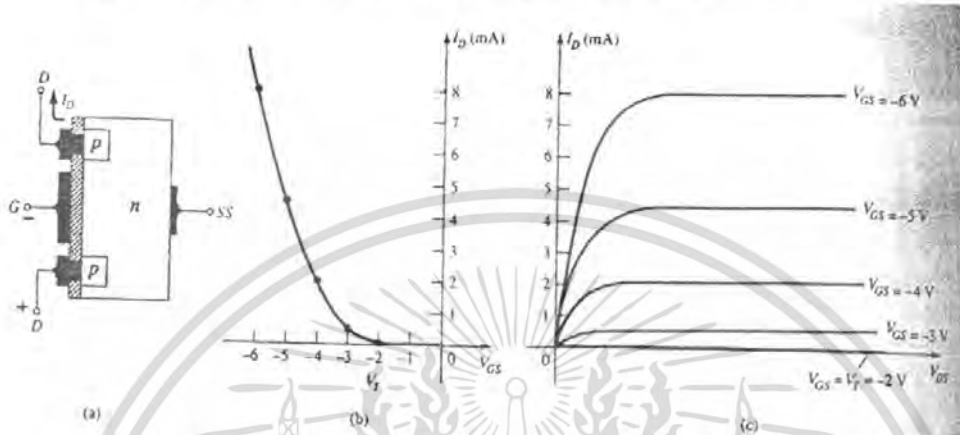


เคอร์ฟถ่ายโอนในรูป แตกต่างจากเคอร์ฟถ่ายโอนที่กล่าวในตอนต้น ๆ เพราะว่าเอ็มอสเฟตแบบแชนแนล n จะมี I_D เพิ่มขึ้นไม่ได้จนกว่า $V_{GS} = V_T$ สมมติว่าเราจะเขียนเคอร์ฟถ่ายโอนที่มี $k = 0.5 \times 10^{-3} \text{ A/V}^2$ และ $V_T = 4 \text{ V}$ เมื่อนำสมการที่ 3 มาร่วมพิจารณา จะได้

$$I_D = 0.5 \times 10^{-3} (V_{GS} - 4 \text{ V})^2$$

อิมอสเฟตแบบเซนแนล p

โครงสร้างของอิมอสเฟตแบบเซนแนล p มีลักษณะตรงข้ามกับแบบเซนแนล n

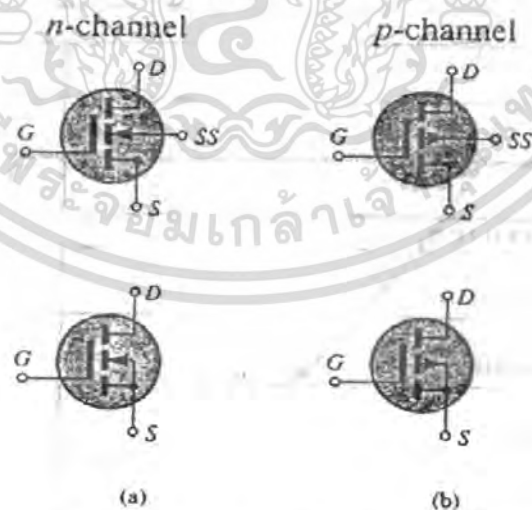


รูปที่ 2.19 โครงสร้างเบื้องต้นของอิมอสเฟตแบบเซนแนล p

กล่าวคือ ขั้ว D และขั้ว S ต่อกับผลึกฐาน n และบริเวณที่มีการกระตุ้น p (p-doped regions) แต่ขั้วของแรงดันและทิศทางกระแสตรงข้ามกับแบบเซนแนล n นอกจากนี้คุณลักษณะของเคอร์ฟลายโอน ก็แสดงค่าที่ด้านตรงข้าม

สัญลักษณ์ (Symbol)

สัญลักษณ์ของอิมอสเฟตแบบเซนแนล p และเซนแนล n เป็นดังรูป



จะเห็นได้ว่าสัญลักษณ์แสดง โครงสร้างแท้จริงของอุปกรณ์เส้นประเชื่อมระหว่างขั้ว

D กับ ขั้ว S แสดงว่าไม่มี

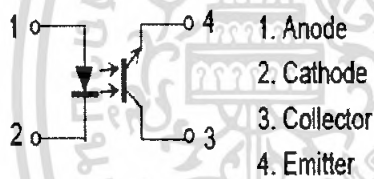
เซนแนลระหว่างขั้วทั้งสอง (ขณะไม่ได้รับการไบอัส) ซึ่งเป็นความแตกต่างประการเดียวระหว่าง

สัญลักษณ์ของอิมอสเฟตกับอิมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 Sensor Optical Encoder

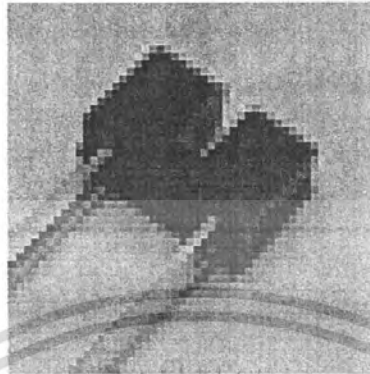
กลุ่มผู้ใช้ Sensor ก้ามปู โครงสร้างจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง,ตัวจับแสงซึ่งถูกคั่นกลางด้วยแผ่นจานกลมๆ ที่มีการทำรูเจาะไว้รอบๆแผ่น โดยตำแหน่งของแต่ละรูจะเป็นการกำหนดขนาดขององศา หลักการทำงานของเซนเซอร์ก้ามปู ตัว Sensor จะส่งสัญญาณ Photo Electric ผ่านแสงไปถึงขาจับ เป็นแบบส่องทะลุ ถ้า สัญญาณ Photo Electric ที่ Sensor ทะลุแผ่นจานกลมๆไปที่ตัวรับจะส่งค่าลอจิก 1 (แรงดันเท่ากับ 5 V) จากแรงที่ส่งมาจะพบว่าแรงดันมีค่าน้อยกว่า 5 V จึงต้องปรับแรงดันให้มีค่าเท่ากับ 5 V เพื่อให้มีค่าเท่ากับตัวแรงดันที่ Board จะรับได้ โดยการต่อตัวต้านทาน R เท่ากับ 330Ω ต่อเข้ากับ Anode และ Collector ขึ้นไฟเลี้ยง เพื่อเป็นการปรับแรงดันให้มีค่าเท่ากับ 5 V การปรับแรงดันนี้เรียกว่า Pull Up แต่ ถ้าสัญญาณ Photo Electric ไม่สามารถทะลุแผ่นจานกลมๆไปที่ตัวรับได้ ค่าลอจิกเท่ากับ 0 แต่เราพบค่าลอจิกที่ส่งมามีค่ามากกว่า 0 ดังนั้นเราจึงต่อตัวต้านทาน R เท่ากับ $2M\Omega$ จากขา Emitter ลงกราวด์ เพื่อให้ขนาดของสัญญาณที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 0 ให้มากที่สุด



วิธีการกำหนดขนาดขององศาเราใช้หลักของ Binary code ดังแสดงในตาราง

เซนเซอร์ตัวที่ 1	เซนเซอร์ตัวที่ 2	เซนเซอร์ตัวที่ 3	องศา
0	0	0	0
0	0	1	10
0	1	0	20
0	1	1	30
1	0	0	40
1	0	1	50
1	1	0	60
1	1	1	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 เซนเซอร์กันปู



รูปที่ 2.21 การต่อเซนเซอร์กับแผ่นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 อัตราเร็วเชิงมุม(angular speed)

อัตราเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลมที่กล่าวมาแล้วนั้นคือความยาวของเส้นโค้งที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในเวลา 1 วินาที ซึ่งเราอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อัตราเร็วเชิงเส้น (v)

แต่ในที่นี่ยังมีอัตราเร็วอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นการบอกอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมที่จุดศูนย์กลาง เนื่องจากการกวาดไปของรัศมี ใน 1 วินาที เรียกว่า อัตราเร็วเชิงมุม (ω) อ่านว่า โอเมก้า นิยามอัตราเร็วเชิงมุม (ω) คือ มุมที่รัศมีกวาดไปได้ใน 1 วินาทีที่มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที เป็นมุมที่จุดศูนย์กลางที่รองรับความยาวส่วนโค้งของวงกลมที่เคลื่อนที่ในเวลา 1 วินาที อัตราเร็วเชิงมุมเป็นปริมาณสเกลาร์ หน่วย เรเดียนต่อวินาที หาค่าได้จาก

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \text{-----(2.5)}$$

เมื่อ ω คือ อัตราเร็วของวัตถุรอบแกนหมุน หน่วยคือ เรเดียนต่อวินาที

$\Delta\theta$ คือ มุมที่วัตถุกวาดไปในเวลาสั้น หน่วยคือ เรเดียน

$\theta = 2\pi$ เรเดียน

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ หน่วย วินาที

บทที่ 3

หลักการออกแบบ

3.1 แนวทางการออกแบบชุดขากลั่นแบบ

การออกแบบแบบจำลองการเดินของมนุษย์ให้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดต้องเกิดจากการศึกษาจากตัวต้นแบบอย่างด่งแท้ ซึ่งในที่นี้คือขาและลักษณะการเดินของมนุษย์ จากการศึกษาในเรื่องสรีระวิทยาช่วงล่างของมนุษย์ ลักษณะการเดินของมนุษย์ ผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการเดินของมนุษย์ที่ข้อต่างๆ ทั้งหมด คือ ระยะขจัดในแนวตั้งฉากและขนานกับพื้นโลก การส่งผ่านกำลังของกล้ามเนื้อ โดยมีแนวทางการออกแบบดังนี้

ข้อสะโพก

เป็นแบบ ball & socket ซึ่งสามารถหมุนได้รอบจุดหมุนแต่ในโครงการนี้ กำหนดให้หมุนได้สองทิศทาง คือ ตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา รอบแกนเพียงแกนเดียววางขนานกับพื้นโลก

ข้อเข่า

เป็นข้อแบบบานพับ hinge type ซึ่งสามารถหมุนได้แบบบานพับและหมุนได้รอบจุดหมุนได้อีกเล็กน้อย ซึ่งในโครงการนี้กำหนดให้หมุนได้สองทิศทาง คือ ตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา รอบแกนเพียงแกนเดียววางขนานกับพื้นโลก เช่นเดียวกับข้อสะโพก

ข้อเท้า

เป็นข้อที่หมุนได้รอบจุดหมุนเช่นเดียวกับข้อสะโพก ซึ่งในโครงการนี้กำหนดให้หมุนได้ 2 ทิศทาง คือตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา รอบแกนเดียววางขนานกับพื้นโลกหมุนในลักษณะตะกุกไปข้างหน้า เช่นเดียวกับข้อสะโพกและข้อเข่า

ในการเดินของมนุษย์กล้ามเนื้อจะเป็นตัวต้นกำลังและส่งผ่านกำลังก่อให้เกิดการหมุนของข้อต่อต่างๆ ซึ่งในโครงการนี้กำหนดให้ใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังและใช้โซ่เป็นตัวผ่านกำลังไปยังเฟืองที่ยึดติดอยู่กับแผ่นอะลูมิเนียมท่อนบนและท่อนล่าง

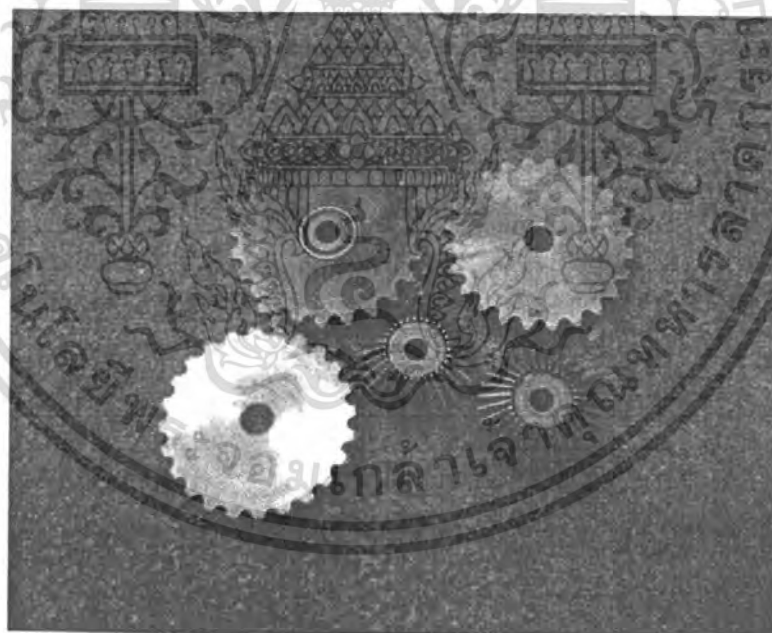
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลักษณะการทำงานของชุดขากลัดกันแบบ

จากการศึกษาในเรื่องกายวิภาคศาสตร์การเคลื่อนไหว สรีระของมนุษย์ และลักษณะการเดินของมนุษย์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่า ในการเดินของมนุษย์สิ่งที่สำคัญของมนุษย์ในการเดินต่างๆ เช่น กระดูกซึ่งทำหน้าที่เสมือนแกนหลักของของท่อนขาและทำให้ขาคงรูปอยู่ได้ ข้อต่อซึ่งทำหน้าที่เสมือนจุดหมุนทำให้เกิดการเคลื่อนที่รอบจุดหมุนในหลายๆแกน กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังและส่งผ่านกำลัง ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่รอบๆข้อต่อในทิศทางที่แตกต่างกันไปแต่ละข้อต่อ โดยการหดและขยายตัวของกล้ามเนื้อ เป็นที่สลับซับซ้อน ยากที่จะเข้าใจและจำลองแบบได้

ดังนั้นโครงการงานชิ้นนี้จึงจำลองแบบโดยจำลองเฉพาะชิ้นส่วนที่สำคัญและจำเป็นมากที่สุดเท่านั้น ซึ่งมีรายละเอียดของชิ้นส่วนที่จำลองมามีดังนี้

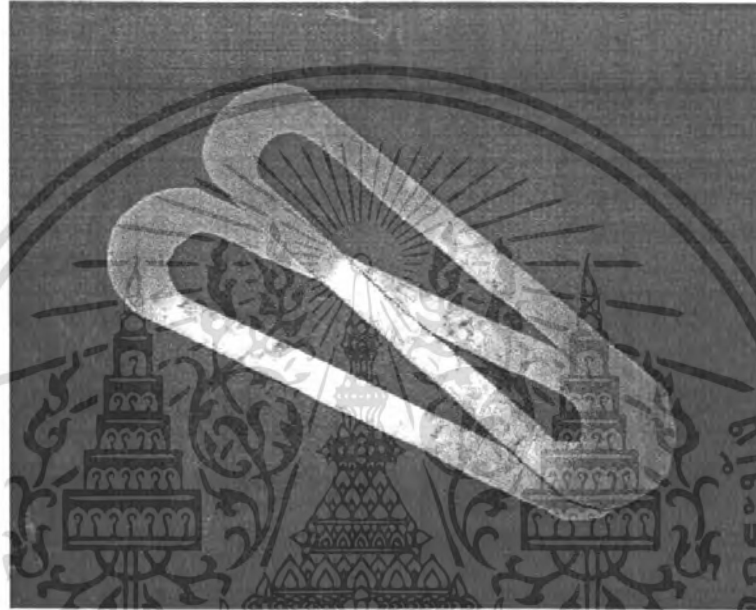
ใช้เฟืองขนาดต่างๆ แทนข้อต่อสำคัญทั้ง 2 คือข้อสะโพก ข้อเข่า



รูปที่ 3.1 เฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้แผ่นอะลูมิเนียมทำหน้าที่เป็นเสมือนแกนหลักและทำให้ซากรูปอยู่ได้แทนกระดูก
ท่อนขาและท่อนแข้ง โดยจะนำแผ่นอะลูมิเนียมมาประกบโดยให้มีระยะห่างกันตาม
ขนาดของแกนค้ำระยะ แทนการเป็นแกนกลางแกนเดี่ยวของกระดูก

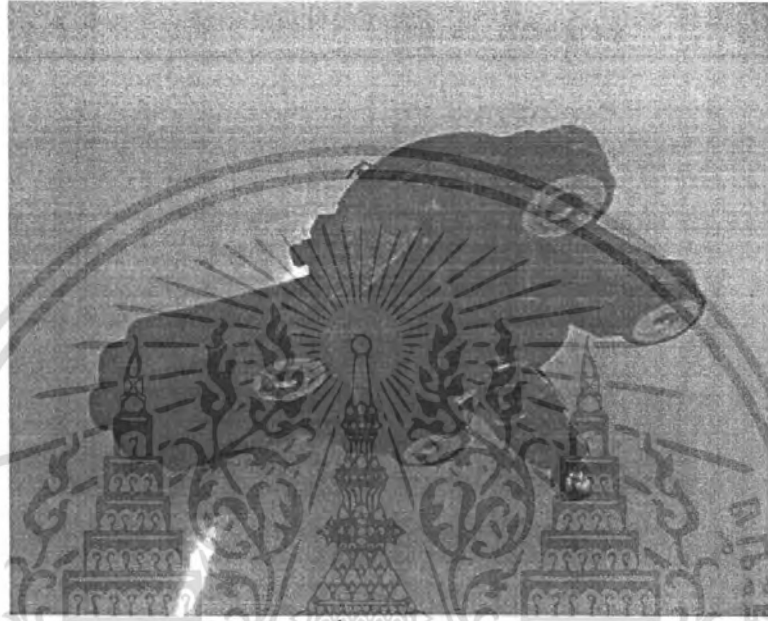


รูปที่ 3.2 แผ่นอะลูมิเนียม

- แกนสะโพกในรูปหน้าที่
- แกนส่วนแข้งในรูปหน้าที่
- เท้าในรูปหน้าที่

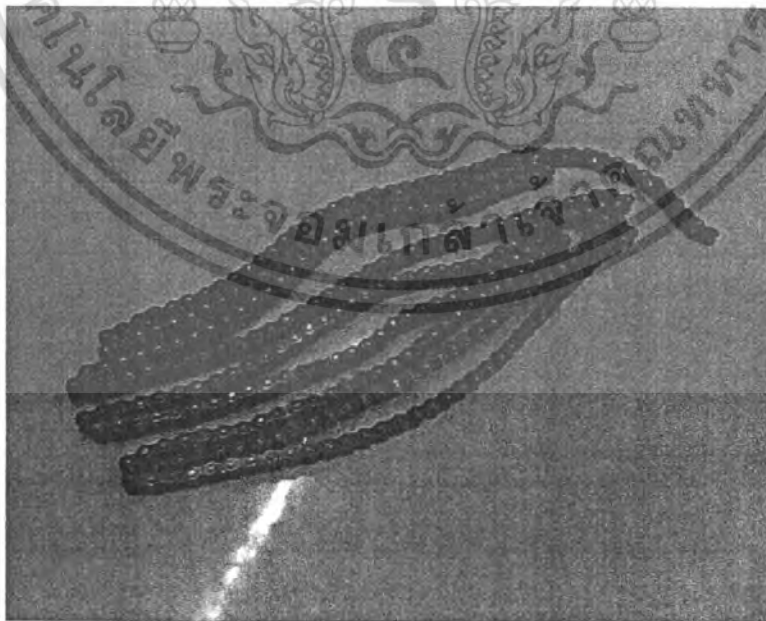
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้มอดอร์ซึ่งมีกำลังมากพอสมควร (ในที่นี้ใช้มอดอร์ที่ปิดน้ำฝนของรถยนต์) ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้เกิดการหมุนของข้อต่อต่างๆ ทุกๆข้อและการเคลื่อนของชิ้นส่วนต่างๆ ขึ้น



รูปที่ 3.3 มอดอร์

- ใช้โซ่เป็นตัวส่งผ่านกำลังไปยังข้อเข้า โดยส่งผ่านเฟืองที่ข้อสะโพกและส่งกำลังไปยังข้อสะโพกโดยตรง



รูปที่ 3.4 โซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ต่อกันในแบบคาร์ลิงตันผสมซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์แบบเอ็น-พี-เอ็น และ พี-เอ็น-พี ต่อกันดังรูปเพื่อจะทำให้เฟทเริ่มทำงาน

โดยการเลือกเฟทใช้เฟทเบอร์ IRFZ44N ที่สามารถให้กระแสได้มากที่สุดที่ 49แอมแปร์ที่แรงดันที่ป้อนให้กับเกตเทียบกับขอสมีค่าเท่ากับ 10 โวลต์และสามารถทนแรงดันได้ 55 โวลต์และมีไดโอดให้กระแสไหลเป็นฟลายวิลต์สำหรับทรานซิสเตอร์ไว้แล้วภายในตัวเอง โดยมีค่าของความเก็บประจุที่บริเวณของเกตมากที่สุดเท่ากับ 1470 พิโคฟารัด เลือกใช้ค่าความต้านทานในการคายประจุของเกตเท่ากับ 1.2 กิโลโอห์มจะได้เวลาในการคายประจุคือ

$$t = 5RC$$

$$= 5 * 1200 * 1470 * 10^{-12} \text{ วินาที}$$

$$= 8.82 * 10^{-6} \text{ วินาที}$$

จะทำให้ได้ค่าความถี่มากที่สุดที่สามารถใช้ได้คือ 113.38 กิโลเฮิรตซ์

ค่าของกระแสที่สามารถทำให้เฟทสามารถเริ่มทำงานได้คือ 25 ไมโครแอมแปร์ ค่าของเบต้า(β)ทรานซิสเตอร์ จากที่วัดได้คือ 470 ค่าของอัตราขยายกระแสคือ $\beta_1 \beta_2 = 220.9 * 10^3$ มากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ โดยค่าของแรงดันเริ่มต้นที่สามารถทำให้เฟททำงานได้คือ 2.0-4.0 โวลต์แต่ในการออกแบบจะให้ค่าของแรงดันนี้มีค่าเท่ากับแรงดันที่มากที่สุดที่เฟทสามารถขับกระแสได้คือ 10 โวลต์ในการออกแบบใช้ค่าแรงดันนี้มีค่าเท่ากับ 11.3 โวลต์ก็จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับทรานซิสเตอร์พี-เอ็น-พีลบกับค่าของแรงดันของขาเบสกับอิมิตเตอร์ และเฟทก็สามารถทนค่าแรงดันที่เกตได้เท่ากับ 20 โวลต์ซึ่งก็เป็นค่าแรงดันที่เฟทสามารถทนได้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองที่ได้ทำเพื่อทดสอบสภาวะการทำงานว่ามีความเป็นไปได้และความถูกต้องมากน้อยเพียงใด

การทดลอง

ทดลองการหมุนของมอเตอร์

ทดลองการควบคุมองศาการเคลื่อนที่เลียนแบบของขามนุษย์

จุดประสงค์

เพื่อตรวจสอบการหมุนของมอเตอร์

เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์การหมุนของมอเตอร์ตามองศา

เพื่อทดสอบการรับน้ำหนักของขาเมื่อมีการใช้งานจริง

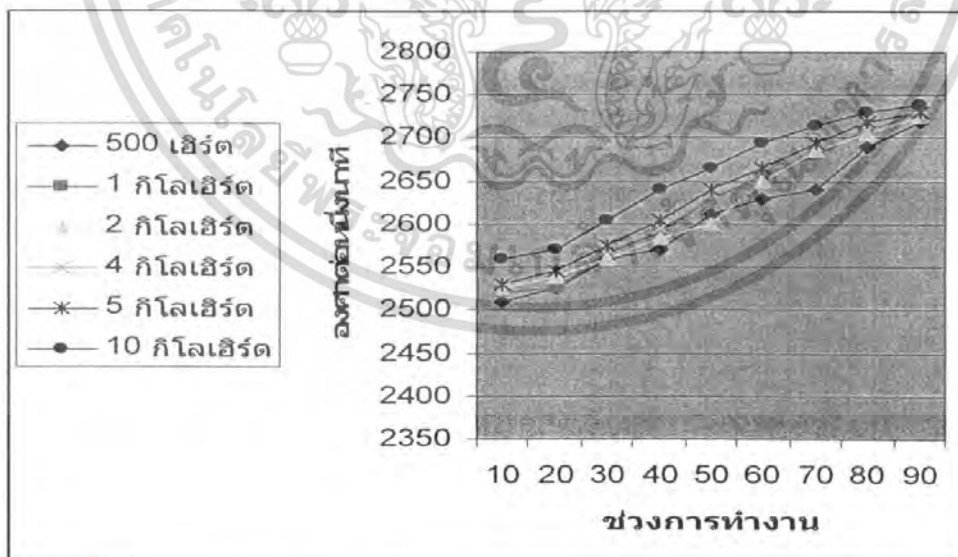
วิธีการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมให้มอเตอร์หมุนตามค่าความถี่ที่กำหนด
2. เริ่มทำการทดลองโดยการสั่งให้มอเตอร์แต่ละตัวหมุน
3. เพิ่มน้ำหนักภาระของมอเตอร์แต่ละตัวขึ้น และทำการทดลอง
4. ทำการบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลองแสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ตัวที่ 1 (รอบต่อนาที)

ความถี่ (Hz) ช่วง การ ทำงาน(%)	500	1000	2000	4000	5000	10000
10	2510	2520	2525	2525	2530	2560
20	2525	2525	2540	2545	2545	2570
30	2560	2565	2560	2570	2575	2605
40	2570	2590	2585	2595	2605	2640
50	2610	2630	2600	2635	2640	2665
60	2630	2655	2650	2675	2665	2695
70	2640	2680	2685	2700	2695	2715
80	2690	2710	2705	2710	2720	2730
90	2720	2730	2725	2735	2730	2740

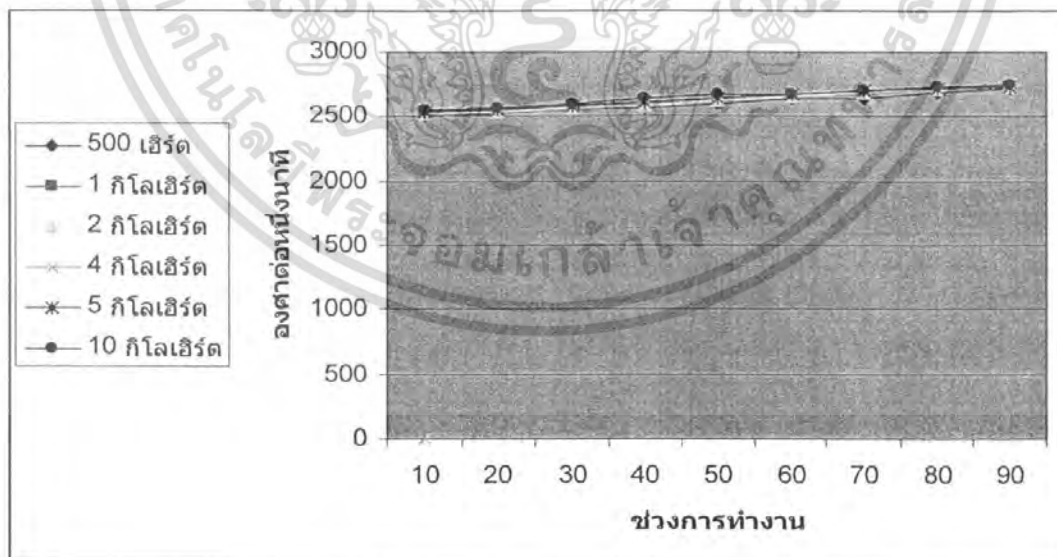


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลองแสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ตัวที่ 2 (รอบต่อนาที)

ความถี่ (Hz) ช่วง การ ทำงาน(%)	500	1000	2000	4000	5000	10000
10	2505	2520	2525	2525	2535	2555
20	2525	2530	2540	2545	2555	2570
30	2565	2555	2565	2570	2575	2600
40	2570	2590	2585	2595	2605	2635
50	2600	2625	2620	2635	2635	2665
60	2635	2655	2655	2675	2665	2675
70	2640	2675	2685	2700	2695	2705
80	2680	2710	2715	2710	2720	2730
90	2710	2730	2725	2735	2730	2740

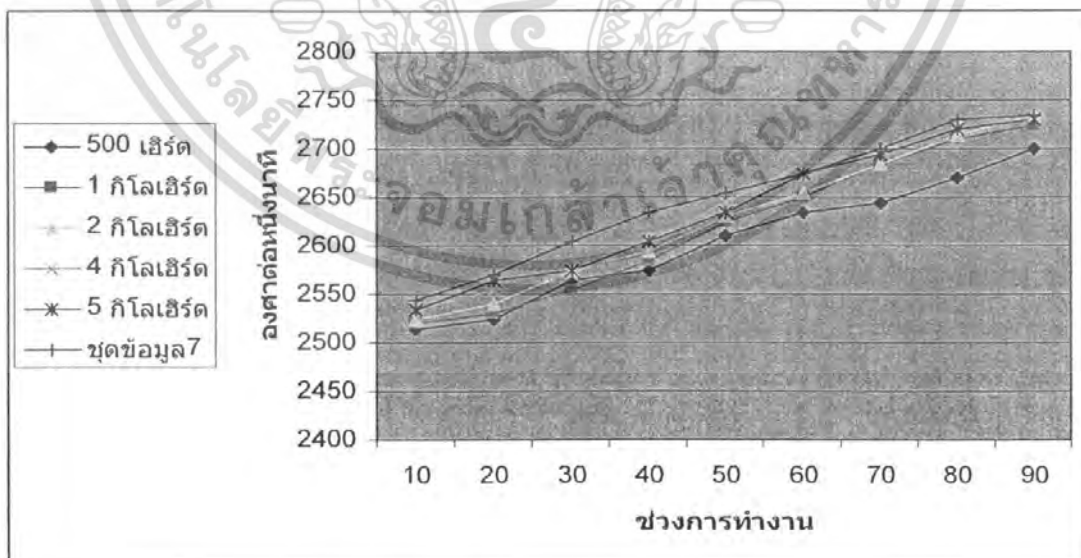


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ตารางบันทึกผลการทดลองแสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ตัวที่ 3 (รอบต่อนาที)

ความถี่ (Hz) ช่วง การ ทำงาน(%)	500	1000	2000	4000	5000	10000
10	2515	2520	2525	2535	2535	2545
20	2525	2530	2540	2555	2565	2570
30	2565	2555	2575	2570	2575	2605
40	2575	2585	2595	2605	2605	2635
50	2610	2625	2630	2645	2635	2655
60	2635	2650	2655	2685	2675	2675
70	2645	2685	2685	2700	2695	2700
80	2670	2710	2715	2710	2720	2730
90	2700	2725	2735	2735	2730	2735



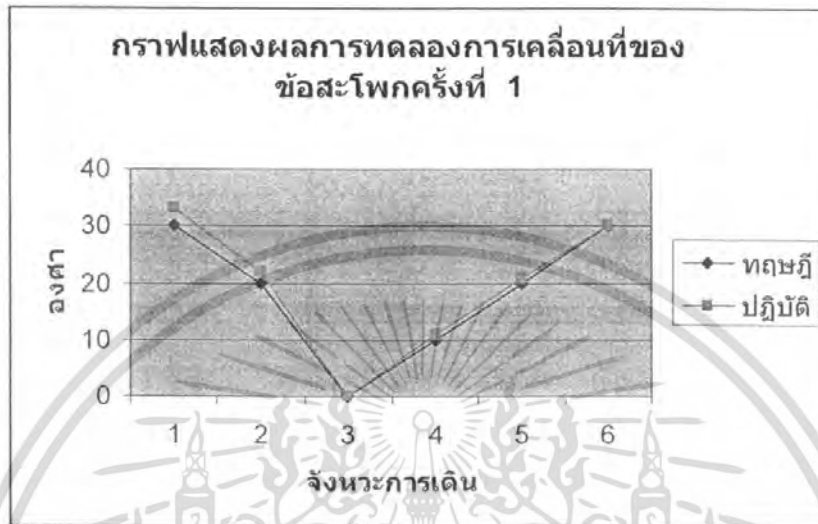
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ตารางบันทึกผลการทดลองการเคลื่อนที่ของขา ครั้งที่ 1

จังหวะการเดิน	ข้อสะโพก (องศา)		error (%)	ข้อหัวเข่า (องศา)		error (%)	ข้อเท้า (องศา)		error (%)
	ทฤษฎี	ทดลอง		ทฤษฎี	ทดลอง		ทฤษฎี	ทดลอง	
1. ส้นเท้าแตะพื้น (heel strike)	30	33	10	0	0	0	0	0	0
2. เท้าวางราบ (foot flat)	20	22	10	20	21	5	0	0	0
3. ยืนกลาง (mid stance)	0	0	0	15	10	33.33	10	11	10
4. มีอัตราเร่ง (acceleration)	10	11	10	40	42	5	20	21	5
5. แกว่งกลาง (mid swing)	20	21	5	50	52	4	-10	-11	10
6. ลดอัตราเร่ง (deceleration)	30	30	0	60	60	0	-20	-21	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อสะโพกครั้งที่ 1



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อเข่าครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ตารางบันทึกผลการทดลองการเคลื่อนที่ของขา ครั้งที่ 2

จังหวะการเดิน	ข้อสะโพก (องศา)		error (%)	ข้อหัวเข่า (องศา)		error (%)	ข้อเท้า (องศา)		error (%)
	ทฤษฎี	ทดลอง		ทฤษฎี	ทดลอง		ทฤษฎี	ทดลอง	
1. ส้นเท้าแตะพื้น (heel strike)	30	33	10	0	0	0	0	0	0
2. เท้าวางราบ (foot flat)	20	22	10	20	21	5	0	0	0
3. ขึ้นกลาง (mid stance)	0	0	0	15	10	33.33	10	11	10
4. มีอัตราเร่ง (acceleration)	10	11	10	40	42	5	20	21	5
5. แกว่งกลาง (mid swing)	20	21	5	50	52	4	-10	-11	10
6. ลดอัตราเร่ง (deceleration)	30	30	0	60	60	0	-20	-21	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อสะโพกครั้งที่ 2



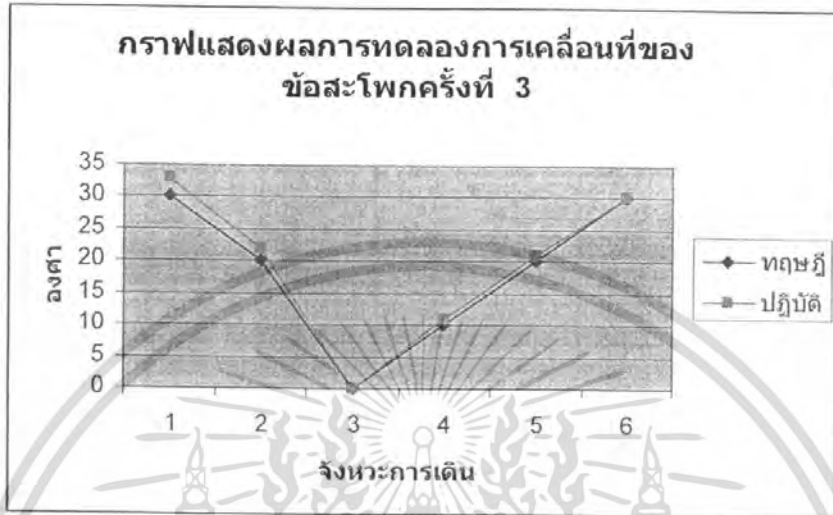
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อหัวเข่าครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ตารางบันทึกผลการทดลองการเคลื่อนที่ของขา ครั้งที่ 3

จังหวะการเดิน	ข้อสะโพก (องศา)		error (%)	ข้อหัวเข่า (องศา)		error (%)	ข้อเท้า (องศา)		error (%)
	ทฤษฎี	ทดลอง		ทฤษฎี	ทดลอง		ทฤษฎี	ทดลอง	
1. ส้นเท้าแตะพื้น (heel strike)	30	33	10	0	0	0	0	0	0
2. เท้าวางราบ (foot flat)	20	22	10	20	21	5	0	0	0
3. ยืนกลาง (mid stance)	0	0	0	15	10	33.33	10	11	10
4. มีอัตราเร่ง (acceleration)	10	11	10	40	42	5	20	21	5
5. แกว่งกลาง (mid swing)	20	21	5	50	52	4	-10	-11	10
6. ลดอัตราเร่ง (deceleration)	30	30	0	60	60	0	-20	-21	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อสะโพกครั้งที่ 3



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้อเข่าครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ตารางแสดงอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ในข้อต่างๆเมื่อไม่มีการรับน้ำหนัก

ตำแหน่งของมอเตอร์	อัตราเร็วเชิงมุม ครั้งที่ 1 (เรเดียนต่อวินาที)	อัตราเร็วเชิงมุม ครั้งที่ 2 (เรเดียนต่อวินาที)	อัตราเร็วเชิงมุม ครั้งที่ 3 (เรเดียนต่อวินาที)
สะโพก	0.25	0.27	0.26
หัวเข่า	0.20	0.21	0.20
ข้อเท้า	0.10	0.10	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ตารางแสดงอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ในข้อต่างๆเมื่อมีการรับน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม

ตำแหน่งของมอเตอร์	อัตราเร็วเชิงมุม ครั้งที่ 1 (เรเดียนต่อวินาที)	อัตราเร็วเชิงมุม ครั้งที่ 2 (เรเดียนต่อวินาที)	อัตราเร็วเชิงมุม ครั้งที่ 3 (เรเดียนต่อวินาที)
สะโพก	-	-	-
หัวเข่า	-	-	-
ข้อเท้า	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ตารางแสดงอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ในข้อต่างๆเมื่อมีการรับน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

ตำแหน่งของมอเตอร์	อัตราเร็วเชิงมุม ครั้งที่ 1 (เรเดียนต่อวินาที)	อัตราเร็วเชิงมุม ครั้งที่ 2 (เรเดียนต่อวินาที)	อัตราเร็วเชิงมุม ครั้งที่ 3 (เรเดียนต่อวินาที)
สะโพก	-	-	-
หัวเข่า	-	-	-
ข้อเท้า	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 สรุป

มอเตอร์(Motor) คืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยความเร็วการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงเป็นสัดส่วนกับค่าของแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และค่าทอร์กเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ การควบคุมความเร็วจะประสบความสำเร็จได้โดยปรับค่าแรงดันตั้งผลการทดลองเราจะพบว่ายิ่งเราเพิ่มช่วงในการทำงานให้มีค่ามากขึ้นความเร็วในการหมุนของมอเตอร์จะมีค่าเพิ่มมากยิ่งขึ้น ทิศทางของการหมุนของมอเตอร์สามารถเปลี่ยนได้โดยการกลับขั้วขั้วแม่เหล็ก หรือการกลับทิศทางกระแสในตัวอาร์เมเจอร์ แต่จะไม่เกิดขึ้นเมื่อทำทั้งสองอย่างพร้อมกัน

เมื่อทำการทดลองการเคลื่อนที่ของขาสองท่อน โดยกำหนดให้มีจังหวะการเคลื่อนที่เปลี่ยนแบบมนุษย์พบว่าองศาที่ทำการทดลองได้นั้นมีความคลาดเคลื่อน แต่เนื่องจากองศาที่ผิดพลาดไปนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะการเดินมากนัก หรือไม่ทำให้ผู้ป่วยได้รับบาดเจ็บได้เนื่องจากไม่ได้มีการฝืนธรรมชาติของมนุษย์ หากต้องการให้ได้องศาที่ต้องการต้องใช้อุปกรณ์ที่มีการป้อนกลับขององศา และใช้เทคนิคการควบคุมแบบ พีไอดี(PID control) หรือการควบคุมแบบฟัซซี่โลจิก(fuzzy logic control) ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อไปได้

การทดลองไม่สามารถทำการทดลองเมื่อให้น้ำหนักภาระกับมอเตอร์ได้เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานไม่สามารถจ่ายพลังงานตามที่มอเตอร์ต้องการได้ และเหตุที่มอเตอร์หมุนไม่เท่ากันเมื่อจ่ายพลังงานให้มอเตอร์กลับทางเนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้มีประสิทธิภาพต่ำมาก

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

มอเตอร์ และแหล่งจ่ายที่ใช้มีประสิทธิภาพต่ำเกินไปทำให้ไม่สามารถทดลองได้ครอบคลุมทุกค่าภาระน้ำหนัก อีกทั้ง ระบบขับเคลื่อนชุดขาที่ยังมีการทำงานที่ไม่สมบูรณ์แบบทำให้มอเตอร์ต้องรับภาระหนักมาก แหล่งจ่ายพลังงานที่มีข้อจำกัดด้านพลังงานไม่สามารถจ่ายได้เต็มที่ ตัวตรวจจับตำแหน่งที่ทำงานเองมีความละเอียดน้อยเกินไป ทำให้ยากที่จะสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้หมุนในองศาที่ต้องการได้

แนวทางแก้ไขคือ เปลี่ยนมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น จัดหาแหล่งจ่ายพลังงานที่สามารถจ่ายพลังงานได้สูงๆ ตัวตรวจจับตำแหน่งความละเอียดสูง

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้รับความรู้เกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ จากชุดตรวจจับตำแหน่ง ศึกษาทำเดินปกติของ มนุษย์เพื่อนำไปหาแนวทางแก้ไข ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- Donald G. Fink and H. Wayne Beaty, *Standard Handbook for Electrical Engineers, Eleventh Edition*, McGraw-Hill, New York, 1978, ISBN 0-07-020974-X.
- Edwin J. Houston and Arthur Kennelly, *Recent Types of Dynamo-Electric Machinery*, copyright American Technical Book Company 1897, published by P.F. Collier and Sons New York, 1902
- www.wikipedia.com , Wikimedia Foundation. Inc This page was last modified 13:08, 2 February 2007 คั้นเมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2550
- ประจัน พลังสันติสุข, *Pic works*, สำนักพิมพ์แอมพอท์เทค, กรุงเทพฯ, 2549
- กานดา ใจภักดี, *วิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว*, บริษัทสำนักพิมพ์ดวงกมล จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 3 พ.ศ. 2542

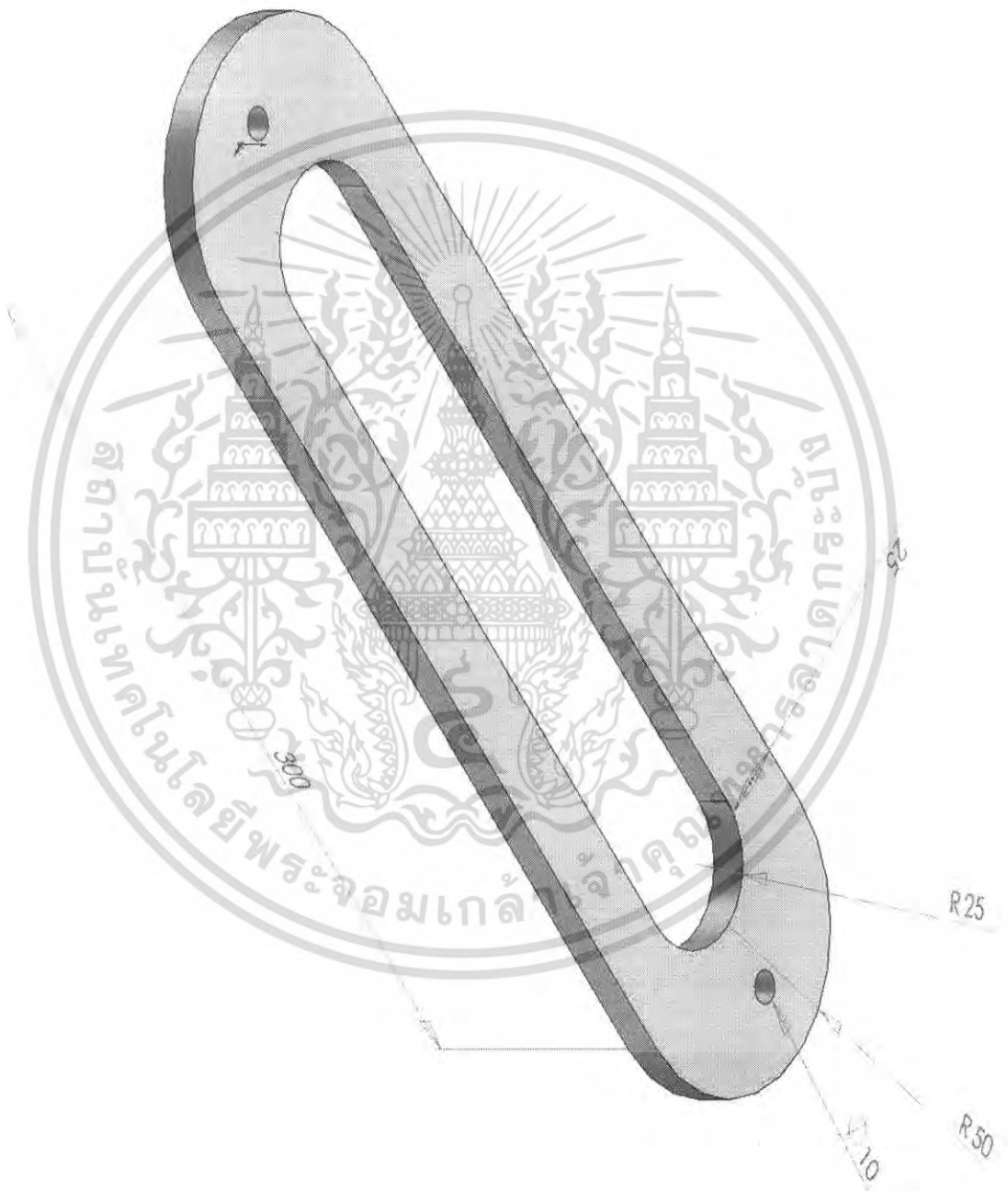


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

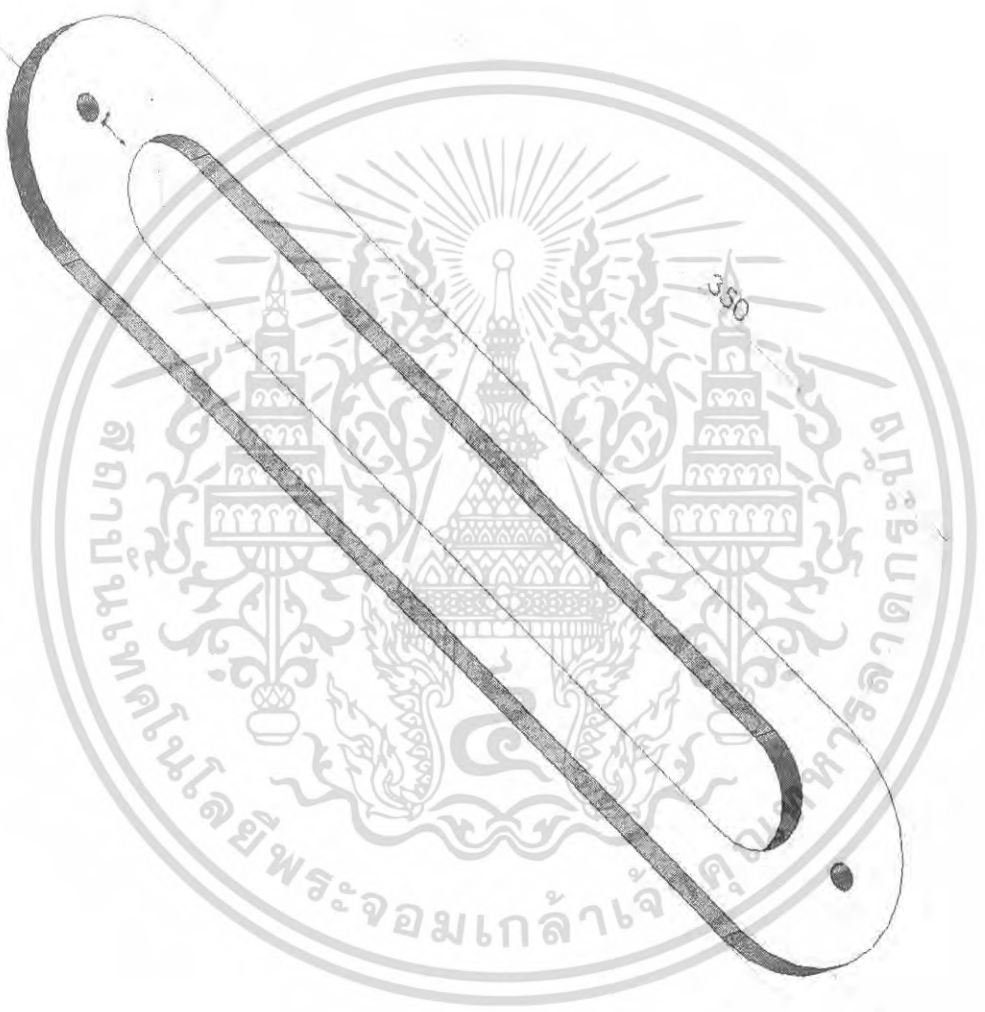


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



R 50

R 25



01

25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <compat/deprecated.h>
#include <stdio.h>

#define F_CPU 8000000UL //define your clock here
#include <util/delay.h>

#define motor PORTC
#define motor_DDR DDRC
#define motor_DDR_OUT
(1<<DDC5)|(1<<DDC4)|(1<<DDC3)|(1<<DDC2)|(1<<DDC1)|(1<<DDC0)

#define motor1f 0
#define motor1b 1
#define motor2f 2
#define motor2b 3
#define motor3l 4
#define motor3r 5

#define motor_on(x) sbi(motor,x);
#define motor_off(x) cbi(motor,x);

//prototype function//////////
void allmotor_off ();
void delay_ms (uint8_t i);
void heelstrike();
void footflat();
void midstance();
void acceleration();
void midstance();
void deacceleration();
void init_position();

//////////
//////////Global variable//////////
unsigned int temp1,temp1_1,temp1_2,temp1_3,temp2,temp2_1,temp2_2,temp2_3;
unsigned int temp3,temp3_1,temp3_2,temp3_3,sensor0,sensor1,sensor2;
//////////

void delay_ms (uint8_t i)
{
    for (;i>0;i--)
    {
        _delay_ms(1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}

void allmotor_off ()
{
    motor_off(0);
    motor_off(1);
    motor_off(2);
    motor_off(3);
    motor_off(4);
    motor_off(5);
    delay_ms(1);
}

void init_position()
{
    while ((sensor0!=4)|(sensor1!=0)|(sensor2!=4))
    {
        if (sensor0>4)
            motor_on(motor1f);
        if (sensor0<4)
            motor_on(motor1b);
        if (sensor1>0)
            motor_on(motor2f);
        if (sensor2>4)
            motor_on(motor3l);
        if (sensor2<4)
            motor_on(motor3r);
    }
}

void heelstrike()
{
    while ((sensor0!=7)|(sensor1!=0))
    {
        if (sensor0<4)
            motor_on(motor1f);

        if (sensor1>0)
            motor_on(motor2f);

        if (sensor2>4)
            motor_on(motor3l);
        if (sensor2<4)
            motor_on(motor3r);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

void footflat()
{
    while ((sensor0!=6)|(sensor1!=2))
    {
        if (sensor0<6)
            motor_on(motor1f);
        if (sensor0>6)
            motor_on(motor1b);

        if (sensor1>0)
            motor_on(motor2b);
        if (sensor1<0)
            motor_on(motor2f);

        if (sensor2>4)
            motor_on(motor3l);
        if (sensor2<4)
            motor_on(motor3r);
    }
}

void midstance()
{
    while ((sensor0!=4)|(sensor1!=2))
    {
        if (sensor0<4)
            motor_on(motor1f);
        if (sensor0>4)
            motor_on(motor1b);

        if (sensor1>1)
            motor_on(motor2b);
        if (sensor1<1)
            motor_on(motor2f);

        if (sensor2>4)
            motor_on(motor3l);
        if (sensor2<4)
            motor_on(motor3r);
    }
}

void acceleration()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    while ((sensor0!=5)||(sensor1!=4))
    {

        if (sensor0<5)
            motor_on(motor1f);
        if (sensor0>5)
            motor_on(motor1b);

        if (sensor1>4)
            motor_on(motor2b);
        if (sensor1<4)
            motor_on(motor2f);

        if (sensor2>4)
            motor_on(motor3l);
        if (sensor2<4)
            motor_on(motor3r);
    }
}

void deacceleration()
{
    while ((sensor0!=7)||(sensor1!=5))
    {

        if (sensor0<7)
            motor_on(motor1f);
        if (sensor0>7)
            motor_on(motor1b);

        if (sensor1>5)
            motor_on(motor2b);
        if (sensor1<5)
            motor_on(motor2f);

        if (sensor2>4)
            motor_on(motor3l);
        if (sensor2<4)
            motor_on(motor3r);
    }
}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

int main ()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
DDRA=(0<<DDA5)|(0<<DDA4)|(0<<DDA3)|(0<<DDA2)|(0<<DDA1)|(0<<DDA0);
  DDRB=(0<<DDB3);
  DDRD=(0<<DDD3)|(0<<DDD2);
  PORTA=0x00;
  PORTB=0x00;
  PORTC=0x00;
  PORTD=0x00;

//interrupt section/////
  SREG = (1<<7); //set to Enable Global interrupt
  GICR = (1<<INT1)|(1<<INT0)|(1<<INT2); //choose source of interrupt
  MCUCR|=(0<<ISC11)|(1<<ISC10)|(0<<ISC01)|(1<<ISC00);
  //ISC1X for int1 and ISC0X for int0 ,01 for any change
  //and 10 for falling edge ,11 for rising edge
  MCUCSR = (1<<ISC2); //int2 type int 1 for high 0 for low
  PORTC= 0x00;
  delay_ms(100);
  allmotor_off();
  init_position();
  while(1)
  {
    heelstrike();
    footflat();
    midstance();
    acceleration();
    midstance();
    deacceleration();
    midstance();
    acceleration();
    midstance();
    footflat();
  }

return 0;
}

```

```

ISR (INT0_vect) //from int0
{
  allmotor_off();
  temp3=PINA;
  temp2=PINB;
  temp1=PIND;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
////////////////////////////////////
```

```
if ((temp1==0x04)|(temp1==0x0C))  
    temp2_1=(1<<0);  
else  
    temp2_1=(0<<0);
```

```
if(temp3&0x01)  
    temp2_2=(1<<1);  
else  
    temp2_2=(0<<1);
```

```
if(temp3&0x02)  
    temp2_3=(1<<2);  
else  
    temp2_3=(0<<2);
```

```
sensor0=(temp2_1)|(temp2_2)|(temp2_3);
```

```
////////////////////////////////////
```

```
if ((temp1==0x08)|(temp1==0x0C))  
    temp1_1=(1<<0);  
else  
    temp1_1=(0<<0);
```

```
if(temp3&0x04)  
    temp1_2=(1<<1);  
else  
    temp1_2=(0<<1);
```

```
if(temp3&0x08)  
    temp1_3=(1<<2);  
else  
    temp1_3=(0<<2);
```

```
sensor1=(temp1_1)|(temp1_2)|(temp1_3);
```

```
if (temp2==0x04)  
    temp3_1=(1<<0);  
else  
    temp3_1=(0<<0);
```

```
if(temp3&0x10)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        temp3_2=(1<<1);
    else
        temp3_2=(0<<1);

    if(temp3&0x20)
        temp3_3=(1<<2);
    else
        temp3_3=(0<<2);

    sensor2=(temp3_1)|(temp3_2)|(temp3_3);
}

ISR (INT1_vect) //from int1
{
    allmotor_off();
    temp3=PINA;
    temp2=PINB;
    temp1=PIND;

    //////////////////////////////////////
    //////////////////////////////////////

    if ((temp1==0x04)|(temp1==0x0C))
        temp2_1=(1<<0);
    else
        temp2_1=(0<<0);

    if(temp3&0x01)
        temp2_2=(1<<1);
    else
        temp2_2=(0<<1);

    if(temp3&0x02)
        temp2_3=(1<<2);
    else
        temp2_3=(0<<2);

    sensor0=(temp2_1)|(temp2_2)|(temp2_3);
    //////////////////////////////////////
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        temp1_1=(1<<0);
    else
        temp1_1=(0<<0);

    if(temp3&0x04)
        temp1_2=(1<<1);
    else
        temp1_2=(0<<1);

    if(temp3&0x08)
        temp1_3=(1<<2);
    else
        temp1_3=(0<<2);

    sensor1=(temp1_1)|(temp1_2)|(temp1_3);

    if (temp2==0x04)
        temp3_1=(1<<0);
    else
        temp3_1=(0<<0);

    if(temp3&0x10)
        temp3_2=(1<<1);
    else
        temp3_2=(0<<1);

    if(temp3&0x20)
        temp3_3=(1<<2);
    else
        temp3_3=(0<<2);

    sensor2=(temp3_1)|(temp3_2)|(temp3_3);

```

```

////////////////////////////////////

```

```

}

```

```

ISR (INT2_vect)/* External Interrupt Request 2 */

```

```

{
    temp3=PINA;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
temp2=PINB;
temp1=PIND;
////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
if ((temp1==0x04)|(temp1==0x0C))
    temp2_1=(1<<0);
else
    temp2_1=(0<<0);
```

```
if(temp3&0x01)
    temp2_2=(1<<1);
else
    temp2_2=(0<<1);
```

```
if(temp3&0x02)
    temp2_3=(1<<2);
else
    temp2_3=(0<<2);
```

```
sensor0=(temp2_1)|(temp2_2)|(temp2_3);
////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
if ((temp1==0x08)|(temp1==0x0C))
    temp1_1=(1<<0);
else
    temp1_1=(0<<0);
```

```
if(temp3&0x04)
    temp1_2=(1<<1);
else
    temp1_2=(0<<1);
```

```
if(temp3&0x08)
    temp1_3=(1<<2);
else
    temp1_3=(0<<2);
```

```
sensor1=(temp1_1)|(temp1_2)|(temp1_3);
```

```
if (temp2==0x04)
    temp3_1=(1<<0);
else
    temp3_1=(0<<0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(temp3&0x10)
    temp3_2=(1<<1);
else
    temp3_2=(0<<1);

if(temp3&0x20)
    temp3_3=(1<<2);
else
    temp3_3=(0<<2);

sensor2=(temp3_1)|(temp3_2)|(temp3_3);
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
 - 32K Bytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 1024 Bytes EEPROM
 - 2K Byte Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega32L
 - 4.5 - 5.5V for ATmega32
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega32L
 - 0 - 16 MHz for ATmega32
- Power Consumption at 1 MHz, 3V, 25°C for ATmega32L
 - Active: 1.1 mA
 - Idle Mode: 0.35 mA
 - Power-down Mode: < 1 µA



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 32K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega32
ATmega32L
Summary

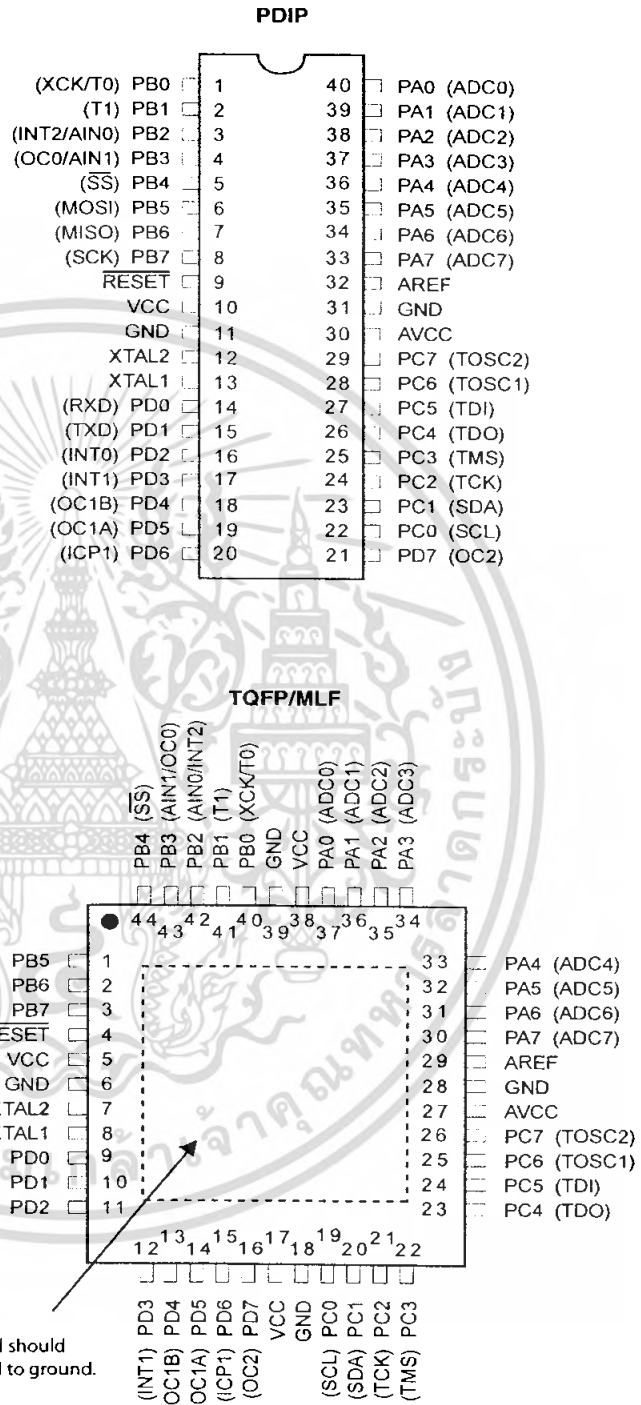


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega32

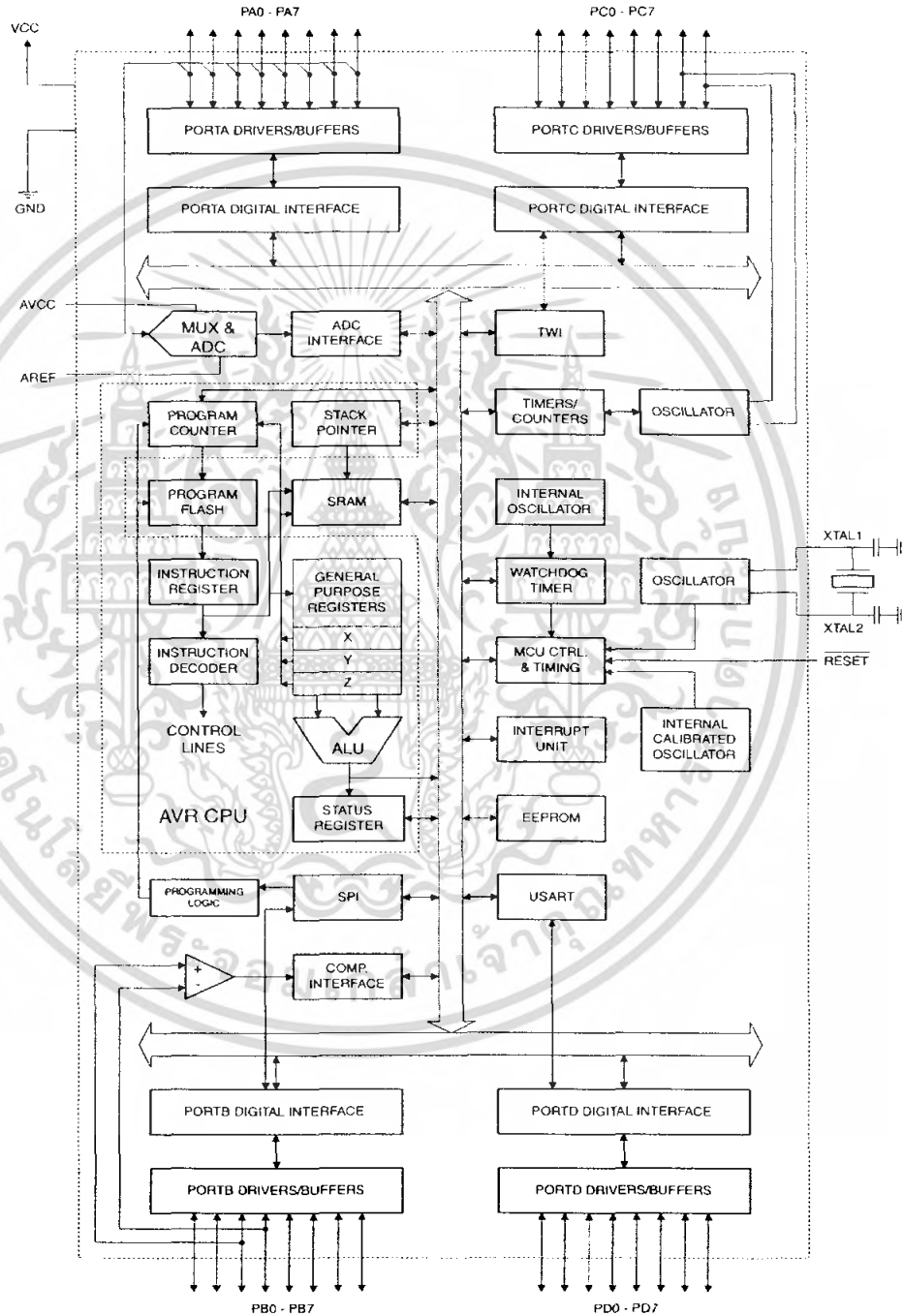


Overview

The ATmega32 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega32 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram





The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega32 provides the following features: 32K bytes of In-System Programmable Flash Program memory with Read-While-Write capabilities, 1024 bytes EEPROM, 2K byte SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, a JTAG interface for Boundary-scan, On-chip Debugging support and programming, three flexible Timer/Counters with compare modes, Internal and External Interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain (TQFP package only), a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the USART, Two-wire interface, A/D Converter, SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next External Interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the Asynchronous Timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except Asynchronous Timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the Asynchronous Timer continue to run.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega32 is a powerful microcontroller that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The ATmega32 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, in-circuit emulators, and evaluation kits.

Pin Descriptions

VCC	Digital supply voltage.
GND	Ground.
Port A (PA7..PA0)	Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter. Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B (PB7..PB0)	<p>Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port B also serves the functions of various special features of the ATmega32 as listed on page 57.</p>
Port C (PC7..PC0)	<p>Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PC5(TDI), PC3(TMS) and PC2(TCK) will be activated even if a reset occurs.</p> <p>The TD0 pin is tri-stated unless TAP states that shift out data are entered.</p> <p>Port C also serves the functions of the JTAG interface and other special features of the ATmega32 as listed on page 60.</p>
Port D (PD7..PD0)	<p>Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port D also serves the functions of various special features of the ATmega32 as listed on page 62.</p>
RESET	<p>Reset Input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 37. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.</p>
XTAL1	<p>Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.</p>
XTAL2	<p>Output from the inverting Oscillator amplifier.</p>
AVCC	<p>AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.</p>
AREF	<p>AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.</p>



Resources

A comprehensive set of development tools, application notes and datasheets are available for download on <http://www.atmel.com/avr>.

Data Retention

Reliability Qualification results show that the projected data retention failure rate is much less than 1 PPM over 20 years at 85°C or 100 years at 25°C.



Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
\$3F (\$5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	10
\$3E (\$5E)	SPH	-	-	-	-	SP11	SP10	SP9	SP8	12
\$3D (\$5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	12
\$3C (\$5C)	OCR0	Timer/Counter0 Output Compare Register								82
\$3B (\$5B)	GICR	INT1	INT0	INT2	-	-	-	IVSEL	IVCE	47, 67
\$3A (\$5A)	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	-	-	-	-	-	68
\$39 (\$59)	TIMSK	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0	82, 112, 130
\$38 (\$58)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	83, 112, 130
\$37 (\$57)	SPMCR	SPMIE	RWWSB	-	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	248
\$36 (\$56)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE	177
\$35 (\$55)	MCUCR	SE	SM2	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	32, 66
\$34 (\$54)	MCUCSR	JTD	ISC2	-	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	40, 67, 228
\$33 (\$53)	TCCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	80
\$32 (\$52)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bits)								82
\$31 ⁽¹⁾ (\$51) ⁽¹⁾	OSSCAL	Oscillator Calibration Register								30
	OCDR	On-Chip Debug Register								224
\$30 (\$50)	SFIOR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	-	ACME	PUD	PSR2	PSR10	56, 85, 131, 198, 218
\$2F (\$4F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	107
\$2E (\$4E)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	110
\$2D (\$4D)	TCNT1H	Timer/Counter1 – Counter Register High Byte								111
\$2C (\$4C)	TCNT1L	Timer/Counter1 – Counter Register Low Byte								111
\$2B (\$4B)	OCR1AH	Timer/Counter1 – Output Compare Register A High Byte								111
\$2A (\$4A)	OCR1AL	Timer/Counter1 – Output Compare Register A Low Byte								111
\$29 (\$49)	OCR1BH	Timer/Counter1 – Output Compare Register B High Byte								111
\$28 (\$48)	OCR1BL	Timer/Counter1 – Output Compare Register B Low Byte								111
\$27 (\$47)	ICR1H	Timer/Counter1 – Input Capture Register High Byte								111
\$26 (\$46)	ICR1L	Timer/Counter1 – Input Capture Register Low Byte								111
\$25 (\$45)	TCCR2	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	125
\$24 (\$44)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bits)								127
\$23 (\$43)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register								127
\$22 (\$42)	ASSR	-	-	-	-	AS2	1CN2UB	OCR2UB	TCR2UB	128
\$21 (\$41)	WDTCR	-	-	-	WDTOE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	42
\$20 ⁽²⁾ (\$40) ⁽²⁾	UBRRH	URSEL	-	-	-	-	UBRR[11:8]			164
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	162
\$1F (\$3F)	EEARH	-	-	-	-	-	-	EEAR9	EEAR8	19
\$1E (\$3E)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte								19
\$1D (\$3D)	EEDR	EEPROM Data Register								19
\$1C (\$3C)	EEDR	-	-	-	-	EERIE	EEMWE	Eewe	EERE	19
\$1B (\$3B)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	64
\$1A (\$3A)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	64
\$19 (\$39)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	64
\$18 (\$38)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	64
\$17 (\$37)	DDRB	ddb7	ddb6	ddb5	ddb4	ddb3	ddb2	ddb1	ddb0	64
\$16 (\$36)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	65
\$15 (\$35)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	65
\$14 (\$34)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	65
\$13 (\$33)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	65
\$12 (\$32)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	65
\$11 (\$31)	DORD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	65
\$10 (\$30)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	65
\$0F (\$2F)	SPDR	SPI Data Register								138
\$0E (\$2E)	SPSR	SPIF	WCOL	-	-	-	-	-	SPI2X	138
\$0D (\$2D)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	136
\$0C (\$2C)	UDR	USART I/O Data Register								159
\$0B (\$2B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	160
\$0A (\$2A)	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	161
\$09 (\$29)	UBRRL	USART Baud Rate Register Low Byte								164
\$08 (\$28)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	199
\$07 (\$27)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	214
\$06 (\$26)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	216
\$05 (\$25)	ADCH	ADC Data Register High Byte								217
\$04 (\$24)	ADCL	ADC Data Register Low Byte								217
\$03 (\$23)	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register								179
\$02 (\$22)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	179





Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
\$01 (\$21)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	TWS2	TWPS1	TWPS0	178
\$00 (\$20)	TWBR	Two-wire Serial Interface Bit Rate Register								177

- Notes:
1. When the OCDEN Fuse is unprogrammed, the OSCCAL Register is always accessed on this address. Refer to the debug-specific documentation for details on how to use the OCSR Register.
 2. Refer to the USART description for details on how to access UBRRH and UCSRC.
 3. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written.
 4. Some of the Status Flags are cleared by writing a logical one to them. Note that the CBI and SBI instructions will operate on all bits in the I/O Register, writing a one back into any flag read as set, thus clearing the flag. The CBI and SBI instructions work with registers \$00 to \$1F only.



Instruction Set Summary

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS					
ADD	Rd, Rr	Add two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr$	Z,C,N,V,H	1
ADC	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr + C$	Z,C,N,V,H	1
ADIW	Rd, K	Add Immediate to Word	$RdH:RdL \leftarrow RdH:RdL + K$	Z,C,N,V,S	2
SUB	Rd, Rr	Subtract two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	Z,C,N,V,H	1
SUBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	$Rd \leftarrow Rd - K$	Z,C,N,V,H	1
SBC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr - C$	Z,C,N,V,H	1
SBCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg	$Rd \leftarrow Rd - K - C$	Z,C,N,V,H	1
SBIW	Rd, K	Subtract Immediate from Word	$RdH:RdL \leftarrow RdH:RdL - K$	Z,C,N,V,S	2
AND	Rd, Rr	Logical AND Registers	$Rd \leftarrow Rd \cdot Rr$	Z,N,V	1
ANDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \cdot K$	Z,N,V	1
OR	Rd, Rr	Logical OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \vee Rr$	Z,N,V	1
ORI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
EOR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rr$	Z,N,V	1
COM	Rd	One's Complement	$Rd \leftarrow \sim Rd$	Z,C,N,V	1
NEG	Rd	Two's Complement	$Rd \leftarrow \sim Rd + 1$	Z,C,N,V,H	1
SBR	Rd, K	Set Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
CBR	Rd, K	Clear Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \cdot (\sim K)$	Z,N,V	1
INC	Rd	Increment	$Rd \leftarrow Rd + 1$	Z,N,V	1
DEC	Rd	Decrement	$Rd \leftarrow Rd - 1$	Z,N,V	1
TST	Rd	Test for Zero or Minus	$Rd \leftarrow Rd \cdot Rd$	Z,N,V	1
CLR	Rd	Clear Register	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rd$	Z,N,V	1
SER	Rd	Set Register	$Rd \leftarrow \$FF$	None	1
MUL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULS	Rd, Rr	Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
FMUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \ll 1$	Z,C	2
FMULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \ll 1$	Z,C	2
FMULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \ll 1$	Z,C	2
BRANCH INSTRUCTIONS					
RJMP	k	Relative Jump	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	2
IJMP		Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	2
JMP	k	Direct Jump	$PC \leftarrow k$	None	3
RCALL	k	Relative Subroutine Call	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	3
ICALL		Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	3
CALL	k	Direct Subroutine Call	$PC \leftarrow k$	None	4
RET		Subroutine Return	$PC \leftarrow Stack$	None	4
RETI		Interrupt Return	$PC \leftarrow Stack$	I	4
CPSE	Rd, Rr	Compare, Skip if Equal	if $(Rd = Rr) PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
CP	Rd, Rr	Compare	$Rd - Rr$	Z, N, V, C, H	1
CPC	Rd, Rr	Compare with Carry	$Rd - Rr - C$	Z, N, V, C, H	1
CPI	Rd, K	Compare Register with Immediate	$Rd - K$	Z, N, V, C, H	1
SBRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	if $(Rr(b)=0) PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
SBRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if $(Rr(b)=1) PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
SBIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if $(P(b)=0) PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
SBIS	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	if $(P(b)=1) PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
BRBS	s, k	Branch if Status Flag Set	if $(SREG(s) = 1) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if $(SREG(s) = 0) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BREQ	k	Branch if Equal	if $(Z = 1) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRNE	k	Branch if Not Equal	if $(Z = 0) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCS	k	Branch if Carry Set	if $(C = 1) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCC	k	Branch if Carry Cleared	if $(C = 0) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRSH	k	Branch if Same or Higher	if $(C = 0) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLO	k	Branch if Lower	if $(C = 1) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRMI	k	Branch if Minus	if $(N = 1) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRPL	k	Branch if Plus	if $(N = 0) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if $(N \oplus V = 0) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if $(N \oplus V = 1) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if $(H = 1) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if $(H = 0) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTS	k	Branch if T Flag Set	if $(T = 1) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTC	k	Branch if T Flag Cleared	if $(T = 0) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if $(V = 1) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if $(V = 0) then PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2





Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
BRIE	k	Branch if Interrupt Enabled	if (I = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRID	k	Branch if Interrupt Disabled	if (I = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
DATA TRANSFER INSTRUCTIONS					
MOV	Rd, Rr	Move Between Registers	Rd ← Rr	None	1
MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	Rd+1:Rd ← Rr+1:Rr	None	1
LDI	Rd, k	Load Immediate	Rd ← K	None	1
LD	Rd, X	Load Indirect	Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc	Rd ← (X), X ← X + 1	None	2
LD	Rd, -X	Load Indirect and Pre-Dec	X ← X - 1, Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, Y	Load Indirect	Rd ← (Y)	None	2
LD	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc	Rd ← (Y), Y ← Y + 1	None	2
LD	Rd, -Y	Load Indirect and Pre-Dec	Y ← Y - 1, Rd ← (Y)	None	2
LDD	Rd, Y+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Y + q)	None	2
LD	Rd, Z	Load Indirect	Rd ← (Z)	None	2
LD	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc	Rd ← (Z), Z ← Z + 1	None	2
LD	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec	Z ← Z - 1, Rd ← (Z)	None	2
LDD	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Z + q)	None	2
LDS	Rd, k	Load Direct from SRAM	Rd ← (k)	None	2
ST	X, Rr	Store Indirect	(X) ← Rr	None	2
ST	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc	(X) ← Rr, X ← X + 1	None	2
ST	-X, Rr	Store Indirect and Pre-Dec	X ← X - 1, (X) ← Rr	None	2
ST	Y, Rr	Store Indirect	(Y) ← Rr	None	2
ST	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc	(Y) ← Rr, Y ← Y + 1	None	2
ST	-Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec	Y ← Y - 1, (Y) ← Rr	None	2
STD	Y+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Y + q) ← Rr	None	2
ST	Z, Rr	Store Indirect	(Z) ← Rr	None	2
ST	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc	(Z) ← Rr, Z ← Z + 1	None	2
ST	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec	Z ← Z - 1, (Z) ← Rr	None	2
STD	Z+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Z + q) ← Rr	None	2
STS	k, Rr	Store Direct to SRAM	(k) ← Rr	None	2
LPM		Load Program Memory	R0 ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	Rd ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc	Rd ← (Z), Z ← Z + 1	None	3
SFM		Store Program Memory	(Z) ← R1:R0	None	-
IN	Rd, P	In Port	Rd ← P	None	1
OUT	P, Rr	Out Port	P ← Rr	None	1
PUSH	Rr	Push Register on Stack	Stack ← Rr	None	2
POP	Rd	Pop Register from Stack	Rd ← Stack	None	2
BIT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS					
SBI	P.b	Set Bit in I/O Register	I/O(P.b) ← 1	None	2
CBI	P.b	Clear Bit in I/O Register	I/O(P.b) ← 0	None	2
LSL	Rd	Logical Shift Left	Rd(n+1) ← Rd(n), Rd(0) ← 0	Z,C,N,V	1
LSR	Rd	Logical Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), Rd(7) ← 0	Z,C,N,V	1
ROL	Rd	Rotate Left Through Carry	Rd(0) ← C, Rd(n+1) ← Rd(n), C ← Rd(7)	Z,C,N,V	1
ROR	Rd	Rotate Right Through Carry	Rd(7) ← C, Rd(n) ← Rd(n+1), C ← Rd(0)	Z,C,N,V	1
ASR	Rd	Arithmetic Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), n=0..6	Z,C,N,V	1
SWAP	Rd	Swap Nibbles	Rd(3..0) ← Rd(7..4), Rd(7..4) ← Rd(3..0)	None	1
BSET	s	Flag Set	SREG(s) ← 1	SREG(s)	1
BCLR	s	Flag Clear	SREG(s) ← 0	SREG(s)	1
BST	Rr, b	Bit Store from Register to T	T ← Rr(b)	T	1
BLD	Rd, b	Bit load from T to Register	Rd(b) ← T	None	1
SEC		Set Carry	C ← 1	C	1
CLC		Clear Carry	C ← 0	C	1
SEN		Set Negative Flag	N ← 1	N	1
CLN		Clear Negative Flag	N ← 0	N	1
SEZ		Set Zero Flag	Z ← 1	Z	1
CLZ		Clear Zero Flag	Z ← 0	Z	1
SEI		Global Interrupt Enable	I ← 1	I	1
CLI		Global Interrupt Disable	I ← 0	I	1
SES		Set Signed Test Flag	S ← 1	S	1
CLS		Clear Signed Test Flag	S ← 0	S	1
SEV		Set Twos Complement Overflow	V ← 1	V	1
CLV		Clear Twos Complement Overflow	V ← 0	V	1
SET		Set T in SREG	T ← 1	T	1
CLT		Clear T in SREG	T ← 0	T	1
SEH		Set Half Carry Flag in SREG	H ← 1	H	1

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
CLH		Clear Half Carry Flag in SREG	H ← 0	H	1
MCU CONTROL INSTRUCTIONS					
NOP		No Operation		None	1
SLEEP		Sleep	(see specific descr. for Sleep function)	None	1
WDR		Watchdog Reset	(see specific descr. for WDR/timer)	None	1
BREAK		Break	For On-Chip Debug Only	None	N/A





Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package ⁽¹⁾	Operational Range		
8	2.7 - 5.5V	ATmega32L-8AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)		
		ATmega32L-8PC	40P6			
		ATmega32L-8MC	44M1			
				ATmega32L-8AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
				ATmega32L-8PI	40P6	
				ATmega32L-8MI	44M1	
				ATmega32L-8AU ⁽²⁾	44A	
		ATmega32L-8PU ⁽²⁾	40P6			
		ATmega32L-8MU ⁽²⁾	44M1			
16	4.5 - 5.5V	ATmega32-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)		
		ATmega32-16PC	40P6			
		ATmega32-16MC	44M1			
				ATmega32-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
				ATmega32-16PI	40P6	
				ATmega32-16MI	44M1	
				ATmega32-16AU ⁽²⁾	44A	
		ATmega32-16PU ⁽²⁾	40P6			
		ATmega32-16MU ⁽²⁾	44M1			

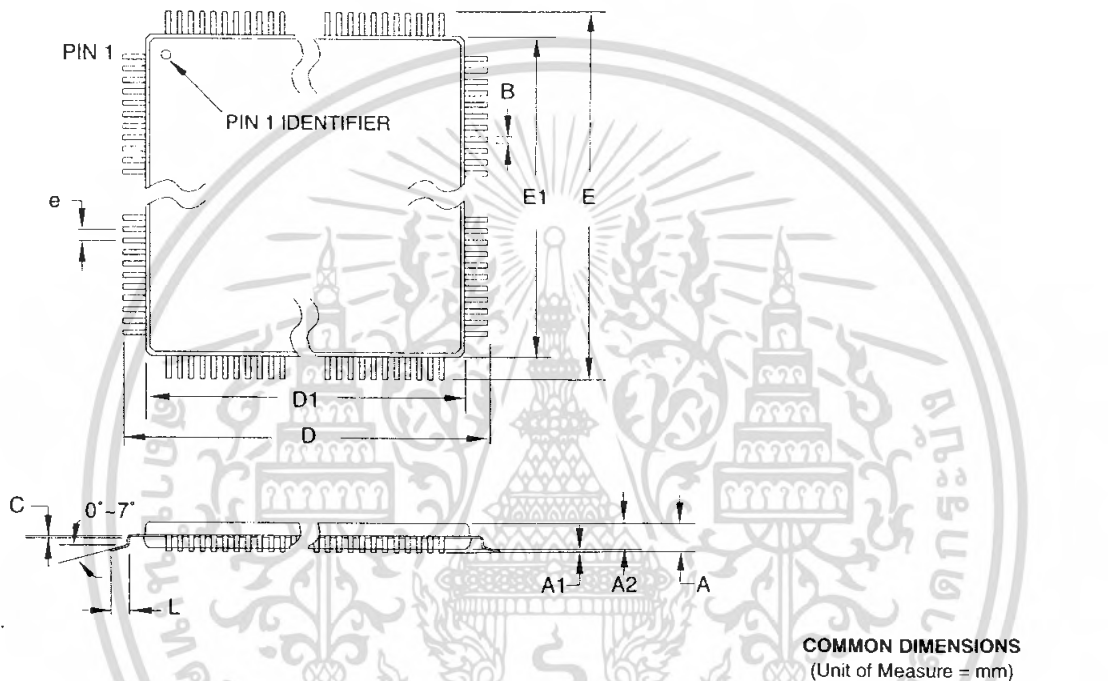
- Notes:
1. This device can also be supplied in wafer form. Please contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. Pb-free packaging alternative. Complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.

Package Type

44A	44-lead, 10 x 10 x 1.0 mm, Thin Profile Plastic Quad Flat Package (TQFP)
40P6	40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44M1	44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm, Quad Flat No-Lead/Micro Lead Frame Package (QFN/MLF)

Packaging Information

44A



- Notes:
1. This package conforms to JEDEC reference MS-026, Variation ACB.
 2. Dimensions D1 and E1 do not include mold protrusion. Allowable protrusion is 0.25 mm per side. Dimensions D1 and E1 are maximum plastic body size dimensions including mold mismatch.
 3. Lead coplanarity is 0.10 mm maximum.

10/5/2001



2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131

TITLE

44A, 44-lead, 10 x 10 mm Body Size, 1.0 mm Body Thickness,
0.8 mm Lead Pitch, Thin Profile Plastic Quad Flat Package (TQFP)

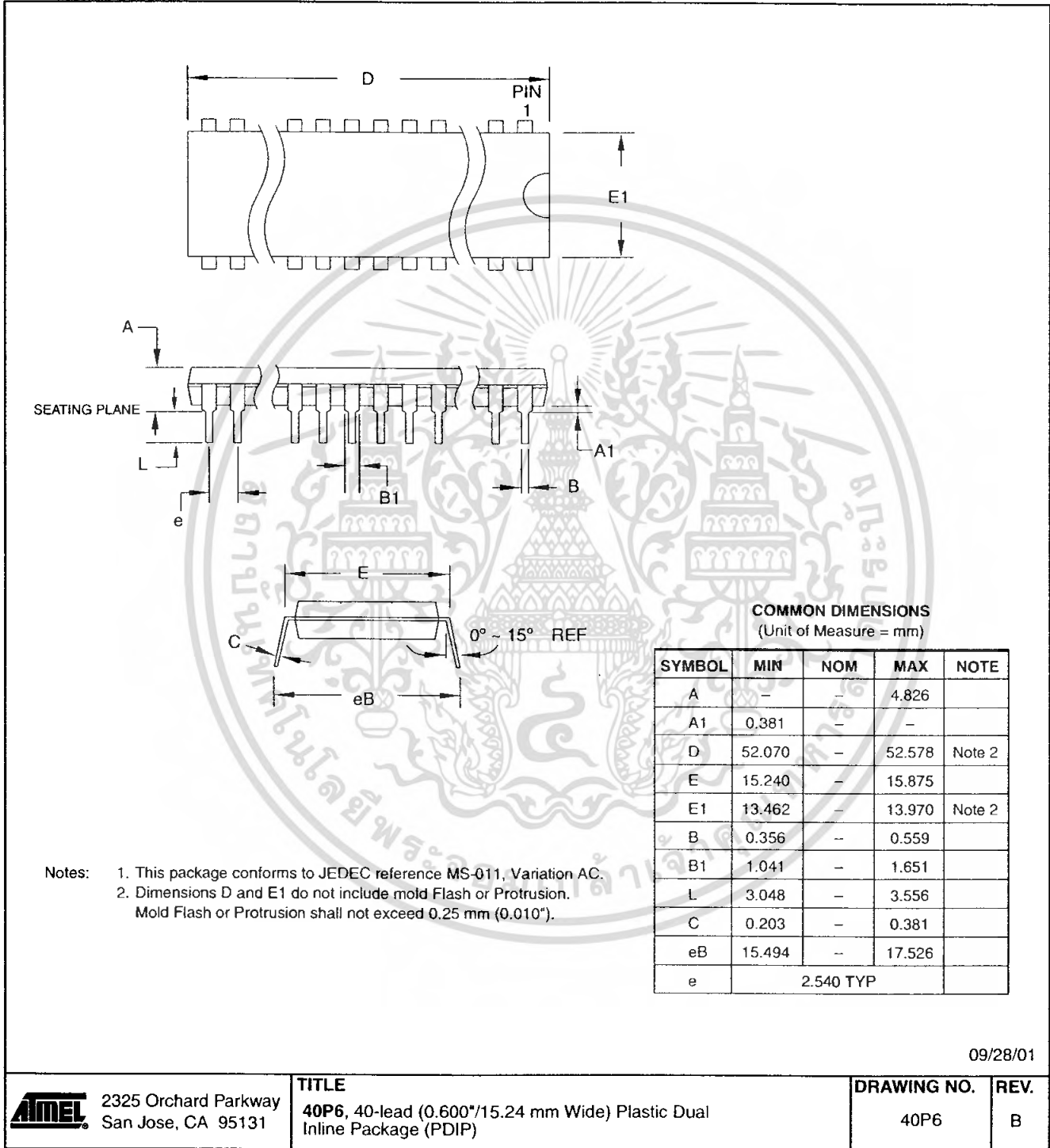
DRAWING NO.

44A

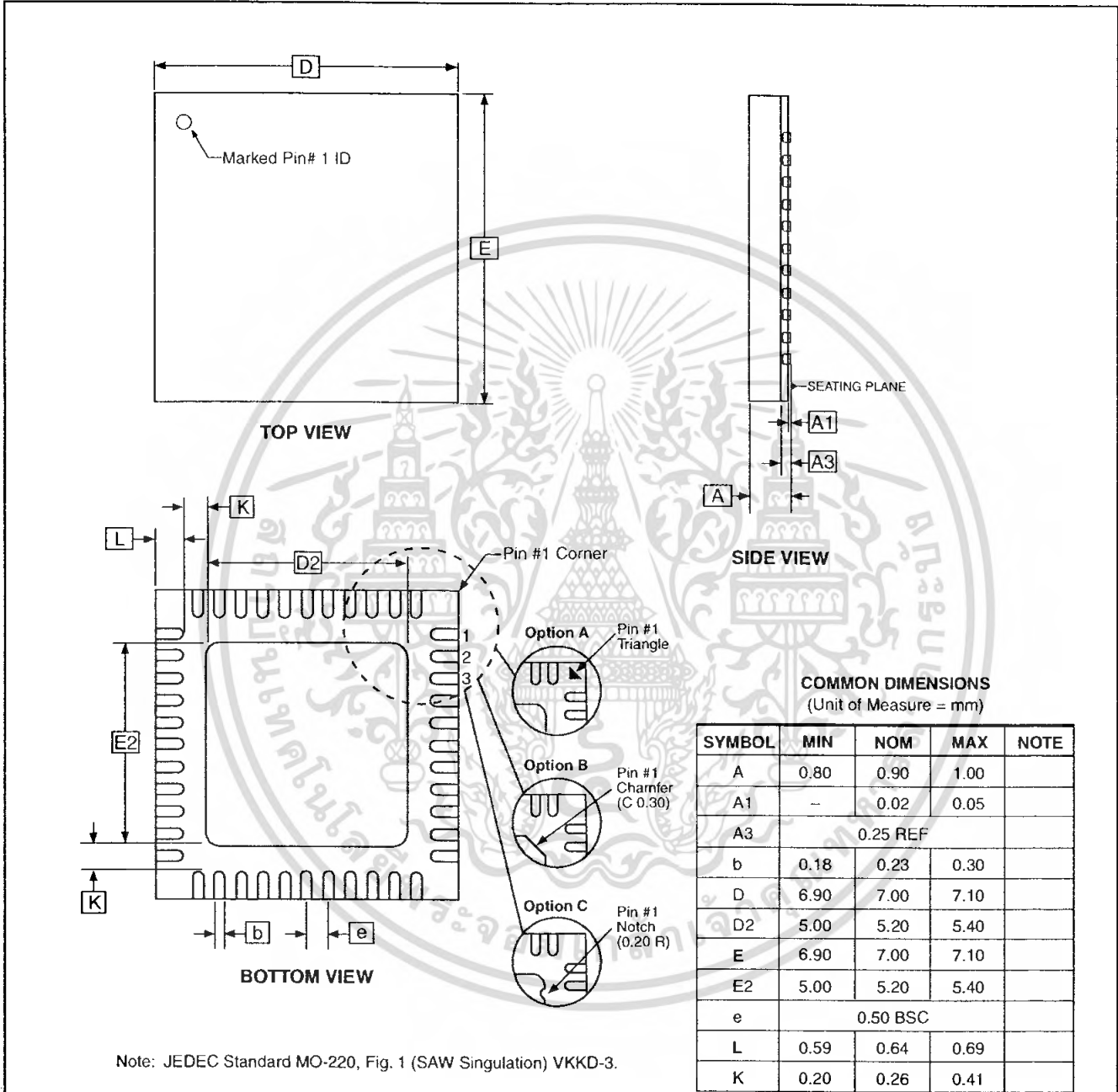
REV.

B





44M1



Note: JEDEC Standard MO-220, Fig. 1 (SAW Singulation) VKKD-3.

5/27/06

2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	TITLE 44M1, 44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm Body, Lead Pitch 0.50 mm, 5.20 mm Exposed Pad, Micro Lead Frame Package (MLF)	DRAWING NO. 44M1	REV. G



Errata

ATmega32, rev. A to F

- First Analog Comparator conversion may be delayed
- Interrupts may be lost when writing the timer registers in the asynchronous timer
- IDCODE masks data from TDI input
- Reading EEPROM by using ST or STS to set EERE bit triggers unexpected interrupt request.

1. First Analog Comparator conversion may be delayed

If the device is powered by a slow rising V_{CC} , the first Analog Comparator conversion will take longer than expected on some devices.

Problem Fix/Workaround

When the device has been powered or reset, disable then enable the Analog Comparator before the first conversion.

2. Interrupts may be lost when writing the timer registers in the asynchronous timer

If one of the timer registers which is synchronized to the asynchronous timer2 clock is written in the cycle before a overflow interrupt occurs, the interrupt may be lost.

Problem Fix/Workaround

Always check that the Timer2 Timer/Counter register, TCNT2, does not have the value 0xFF before writing the Timer2 Control Register, TCCR2, or Output Compare Register, OCR2

3. IDCODE masks data from TDI input

The JTAG instruction IDCODE is not working correctly. Data to succeeding devices are replaced by all-ones during Update-DR.

Problem Fix / Workaround

- If ATmega32 is the only device in the scan chain, the problem is not visible.
- Select the Device ID Register of the ATmega32 by issuing the IDCODE instruction or by entering the Test-Logic-Reset state of the TAP controller to read out the contents of its Device ID Register and possibly data from succeeding devices of the scan chain. Issue the BYPASS instruction to the ATmega32 while reading the Device ID Registers of preceding devices of the boundary scan chain.
- If the Device IDs of all devices in the boundary scan chain must be captured simultaneously, the ATmega32 must be the first device in the chain.

4. Reading EEPROM by using ST or STS to set EERE bit triggers unexpected interrupt request.

Reading EEPROM by using the ST or STS command to set the EERE bit in the EECR register triggers an unexpected EEPROM interrupt request.

Problem Fix / Workaround

Always use OUT or SBI to set EERE in EECR.

Datasheet Revision History

Please note that the referring page numbers in this section are referred to this document. The referring revision in this section are referring to the document revision.

Changes from Rev. 2503J-10/06 to Rev. 2503K-08/07

1. Renamed "Input Capture Trigger Source" to "Input Capture Pin Source" on page 94.
2. Updated "Features" on page 1.
3. Added "Data Retention" on page 6.
4. Updated "Errata" on page 16.
5. Updated "Slave Mode" on page 136.

Changes from Rev. 2503I-04/06 to Rev. 2503J-10/06

1. Updated "Fast PWM Mode" on page 99.
2. Updated Table 38 on page 80, Table 40 on page 81, Table 45 on page 108, Table 47 on page 109, Table 50 on page 125 and Table 52 on page 126.
3. Updated typo in table note 6 in "DC Characteristics" on page 287.
4. Updated "Errata" on page 16.

Changes from Rev. 2503H-03/05 to Rev. 2503I-04/06

1. Updated Figure 1 on page 2.
2. Added "Resources" on page 6.
3. Added note to "Timer/Counter Oscillator" on page 31.
4. Updated "Serial Peripheral Interface – SPI" on page 132.
5. Updated note in "Bit Rate Generator Unit" on page 175.
6. Updated Table 86 on page 218.
7. Updated "DC Characteristics" on page 287.

Changes from Rev. 2503G-11/04 to Rev. 2503H-03/05

1. MLF-package alternative changed to "Quad Flat No-Lead/Micro Lead Frame Package QFN/MLF".
2. Updated "Electrical Characteristics" on page 287
3. Updated "Ordering Information" on page 12.

Changes from Rev. 2503F-12/03 to Rev. 2503G-11/04

1. "Channel" renamed "Compare unit" in Timer/Counter sections, ICP renamed ICP1.
2. Updated Table 7 on page 29, Table 15 on page 37, Table 81 on page 206, Table 114 on page 272, Table 115 on page 273, and Table 118 on page 289.
3. Updated Figure 1 on page 2, Figure 46 on page 100.



4. Updated “Version” on page 226.
5. Updated “Calibration Byte” on page 258.
6. Added section “Page Size” on page 258.
7. Updated “ATmega32 Typical Characteristics” on page 296.
8. Updated “Ordering Information” on page 12.

Changes from Rev. 2503E-09/03 to Rev. 2503F-12/03

1. Updated “Calibrated Internal RC Oscillator” on page 29.

Changes from Rev. 2503D-02/03 to Rev. 2503E-09/03

1. Updated and changed “On-chip Debug System” to “JTAG Interface and On-chip Debug System” on page 35.
2. Updated Table 15 on page 37.
3. Updated “Test Access Port – TAP” on page 219 regarding the JTAGEN fuse.
4. Updated description for Bit 7 – JTD: JTAG Interface Disable on page 228.
5. Added a note regarding JTAGEN fuse to Table 104 on page 257.
6. Updated Absolute Maximum Ratings*, DC Characteristics and ADC Characteristics in “Electrical Characteristics” on page 287.
7. Added a proposal for solving problems regarding the JTAG instruction IDCODE in “Errata” on page 16.

Changes from Rev. 2503C-10/02 to Rev. 2503D-02/03

1. Added EEAR9 in EEARH in “Register Summary” on page 7.
2. Added Chip Erase as a first step in “Programming the Flash” on page 284 and “Programming the EEPROM” on page 285.
3. Removed reference to “Multi-purpose Oscillator” application note and “32 kHz Crystal Oscillator” application note, which do not exist.
4. Added information about PWM symmetry for Timer0 and Timer2.
5. Added note in “Filling the Temporary Buffer (Page Loading)” on page 251 about writing to the EEPROM during an SPM Page Load.
6. Added “Power Consumption” data in “Features” on page 1.
7. Added section “EEPROM Write During Power-down Sleep Mode” on page 22.
8. Added note about Differential Mode with Auto Triggering in “Prescaling and Conversion Timing” on page 204.
9. Updated Table 89 on page 232.

10. Added updated "Packaging Information" on page 13.

Changes from Rev. 2503B-10/02 to Rev. 2503C-10/02

1. Updated the "DC Characteristics" on page 287.

Changes from Rev. 2503A-03/02 to Rev. 2503B-10/02

1. Changed the endurance on the Flash to 10,000 Write/Erase Cycles.
2. Bit nr.4 – ADHSM – in SFIOR Register removed.
3. Added the section "Default Clock Source" on page 25.
4. When using External Clock there are some limitations regards to change of frequency. This is described in "External Clock" on page 31 and Table 117 on page 289.
5. Added a sub section regarding OCD-system and power consumption in the section "Minimizing Power Consumption" on page 34.
6. Corrected typo (WGM-bit setting) for:
 - "Fast PWM Mode" on page 75 (Timer/Counter0)
 - "Phase Correct PWM Mode" on page 76 (Timer/Counter0)
 - "Fast PWM Mode" on page 120 (Timer/Counter2)
 - "Phase Correct PWM Mode" on page 121 (Timer/Counter2)
7. Corrected Table 67 on page 164 (USART).
8. Updated V_{IL} , I_{IL} , and I_{IH} parameter in "DC Characteristics" on page 287.
9. Updated Description of OSCCAL Calibration Byte.
In the datasheet, it was not explained how to take advantage of the calibration bytes for 2, 4, and 8 MHz Oscillator selections. This is now added in the following sections:
Improved description of "Oscillator Calibration Register – OSCCAL" on page 30 and "Calibration Byte" on page 258.
10. Corrected typo in Table 42.
11. Corrected description in Table 45 and Table 46.
12. Updated Table 118, Table 120, and Table 121.
13. Added "Errata" on page 16.





Headquarters

Atmel Corporation
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
USA
Tel: 1(408) 441-0311
Fax: 1(408) 487-2600

International

Atmel Asia
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimshatsui
East Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2721-9778
Fax: (852) 2722-1369

Atmel Europe
Le Krebs
8, Rue Jean-Pierre Timbaud
BP 309
78054 Saint-Quentin-en-
Yvelines Cedex
France
Tel: (33) 1-30-60-70-00
Fax: (33) 1-30-60-71-11

Atmel Japan
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
Tel: (81) 3-3523-3551
Fax: (81) 3-3523-7581

Product Contact

Web Site
www.atmel.com

Technical Support
avr@atmel.com

Sales Contact
www.atmel.com/contacts

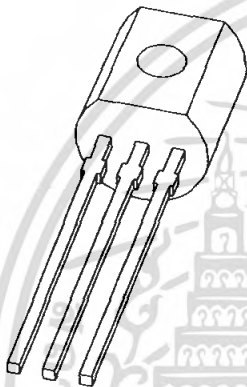
Literature Requests
www.atmel.com/literature

Disclaimer: The information in this document is provided in connection with Atmel products. No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property right is granted by this document or in connection with the sale of Atmel products. EXCEPT AS SET FORTH IN ATMEL'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE LOCATED ON ATMEL'S WEB SITE, ATMEL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER AND DISCLAIMS ANY EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY WARRANTY RELATING TO ITS PRODUCTS INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL ATMEL BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, CONSEQUENTIAL, PUNITIVE, SPECIAL OR INCIDENTAL DAMAGES (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES FOR LOSS OF PROFITS, BUSINESS INTERRUPTION, OR LOSS OF INFORMATION) ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THIS DOCUMENT, EVEN IF ATMEL HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. Atmel makes no representations or warranties with respect to the accuracy or completeness of the contents of this document and reserves the right to make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. Atmel does not make any commitment to update the information contained herein. Unless specifically provided otherwise, Atmel products are not suitable for, and shall not be used in, automotive applications. Atmel's products are not intended, authorized, or warranted for use as components in applications intended to support or sustain life.

© 2007 Atmel Corporation. All rights reserved. Atmel®, logo and combinations thereof, AVR® and others are registered trademarks or trademarks of Atmel Corporation or its subsidiaries. Other terms and product names may be trademarks of others.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 2503KS-AVR-08/07
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET



BC337 NPN general purpose transistor

Product specification
Supersedes data of 1997 Mar 10

1999 Apr 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Philips
Semiconductors

ลิขสิทธิ์ © 1999 Philips Semiconductors. ทุกสิ่งทุกอย่างที่ปรากฏในเอกสารนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า



PHILIPS

NPN general purpose transistor

BC337

FEATURES

- High current (max. 500 mA)
- Low voltage (max. 45 V).

APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification, e.g. driver and output stages of audio amplifiers.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92; SOT54 plastic package. PNP complement: BC327.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

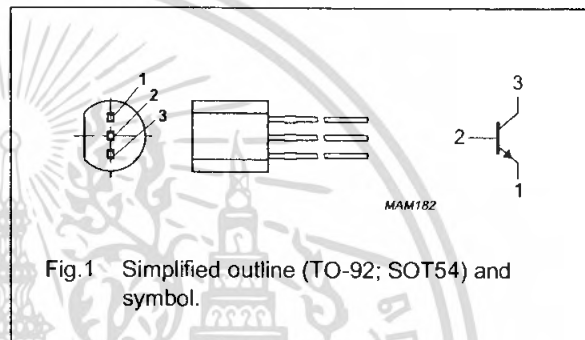


Fig. 1 Simplified outline (TO-92; SOT54) and symbol.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter	–	50	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base	–	45	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	5	V
I_C	collector current (DC)		–	500	mA
I_{CM}	peak collector current		–	1	A
I_{BM}	peak base current		–	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$; note 1	–	625	mW
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		–	150	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

NPN general purpose transistor

BC337

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	0.2	K/mW

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified.

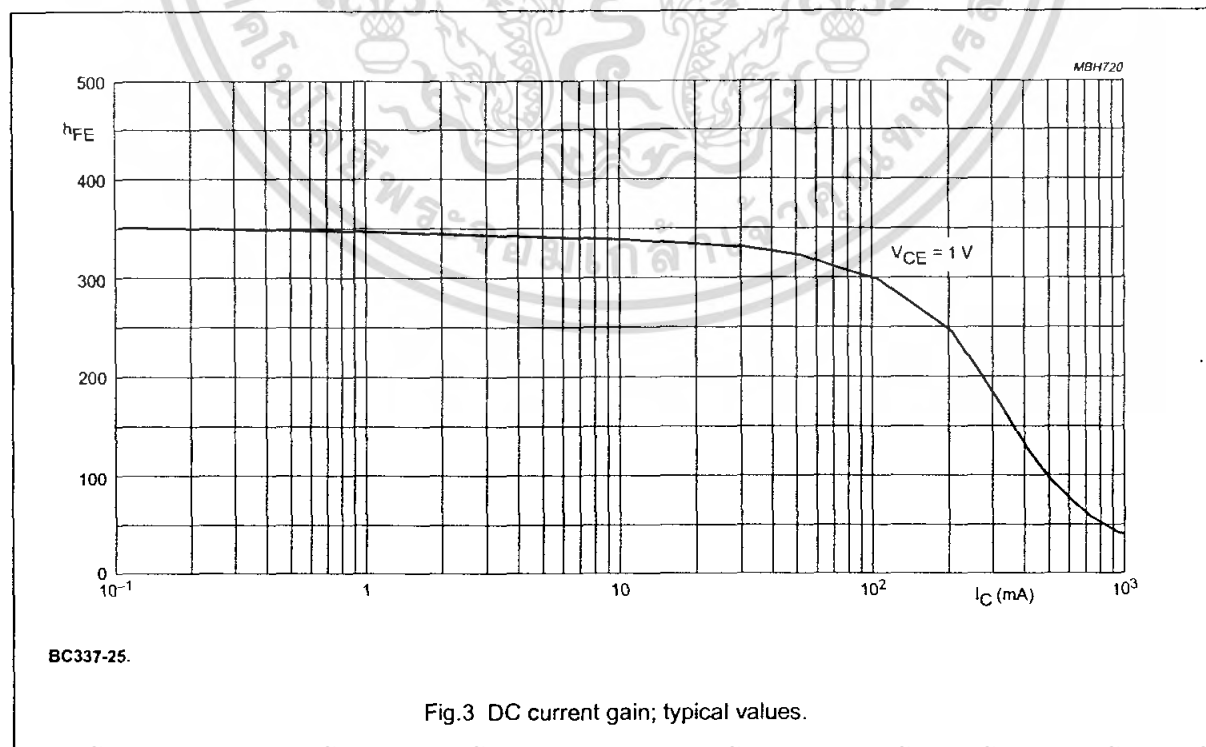
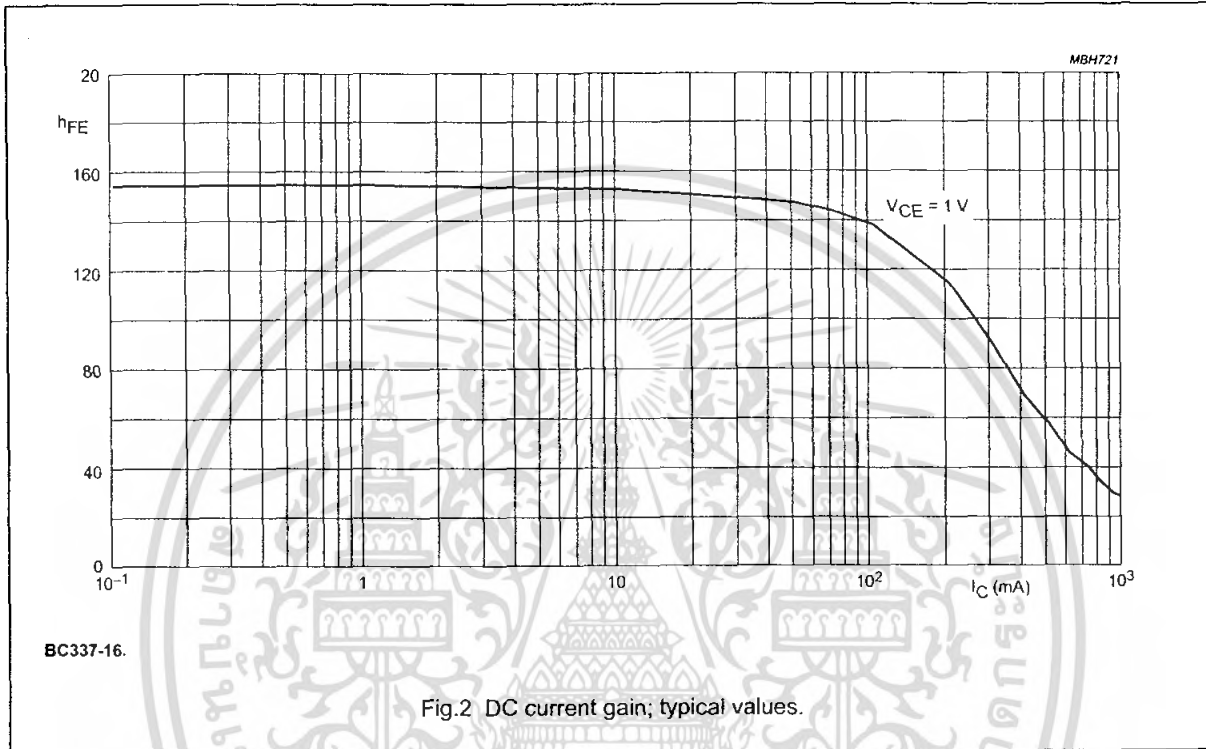
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}$	–	–	100	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}; T_j = 150\text{ °C}$	–	–	5	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	–	–	100	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 100\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4				
	BC337					
	BC337-16					
	BC337-25					
	BC337-40	250	–	600		
	DC current gain	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	40	–	–	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$	–	–	700	mV
V_{BE}	base-emitter voltage	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ note 1	–	–	1.2	V
C_c	collector capacitance	$I_E = I_C = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	5	–	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	–	–	MHz

Note

1. V_{BE} decreases by about 2 mV/K with increasing temperature.

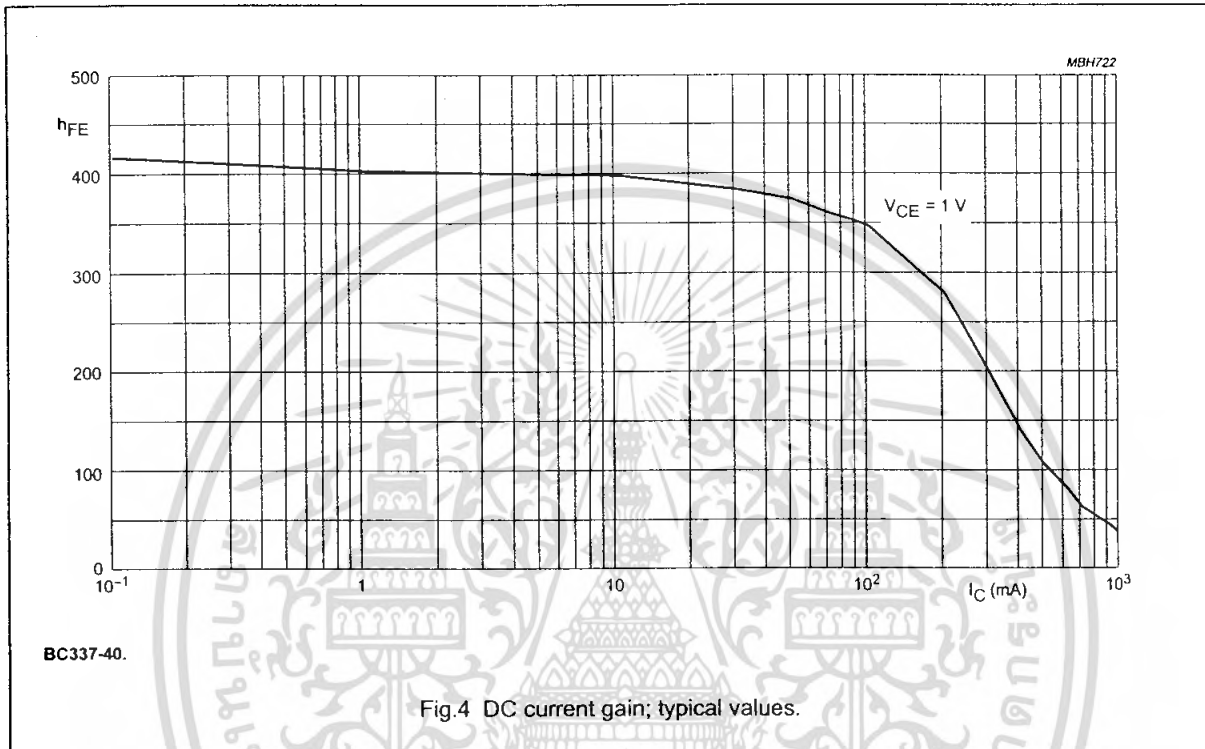
NPN general purpose transistor

BC337



NPN general purpose transistor

BC337



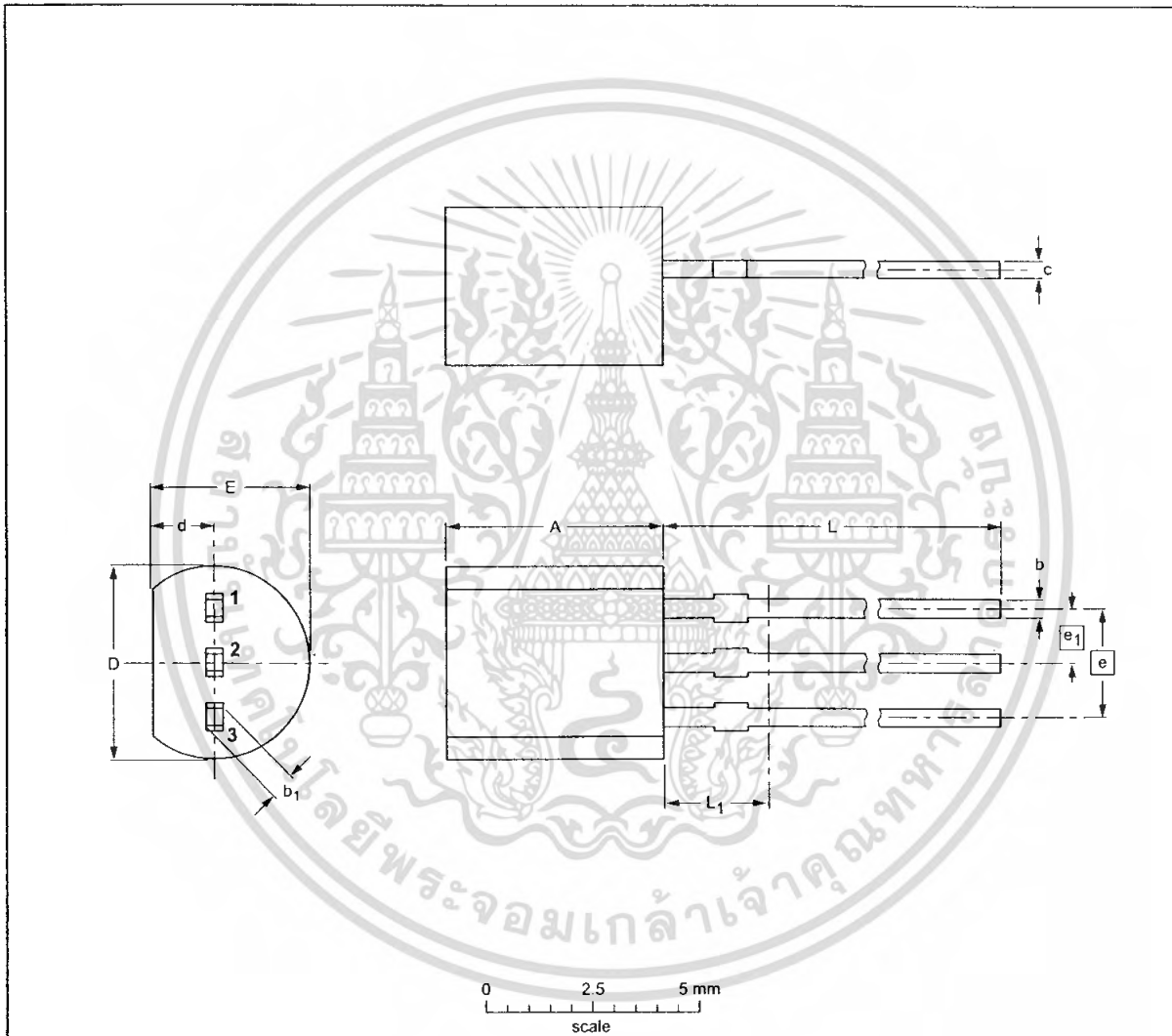
NPN general purpose transistor

BC337

PACKAGE OUTLINE

Plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads

SOT54



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b ₁	c	D	d	E	e	e ₁	L	L ₁ ⁽¹⁾
mm	5.2 5.0	0.48 0.40	0.66 0.56	0.45 0.40	4.8 4.4	1.7 1.4	4.2 3.6	2.54	1.27	14.5 12.7	2.5

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for flow of plastic and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT54		TO-92	SC-43		97-02-28

NPN general purpose transistor

BC337

DEFINITIONS

Data Sheet Status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

Philips Semiconductors – a worldwide company

Argentina: see South America

Australia: 34 Waterloo Road, NORTH RYDE, NSW 2113,
Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466

Austria: Computerstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213,
Tel. +43 1 60 101 1248, Fax. +43 1 60 101 1210

Belarus: Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6,
220050 MINSK, Tel. +375 172 20 0733, Fax. +375 172 20 0773

Belgium: see The Netherlands

Brazil: see South America

Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoproject, 15th floor,
51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA,
Tel. +359 2 68 9211, Fax. +359 2 68 9102

Canada: PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS,
Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087

China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre,
72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG,
Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700

Colombia: see South America

Czech Republic: see Austria

Denmark: Sydhavnsgade 23, 1780 COPENHAGEN V,
Tel. +45 33 29 3333, Fax. +45 33 29 3905

Finland: Sinikallontie 3, FIN-02630 ESPOO,
Tel. +358 9 615 800, Fax. +358 9 6158 0920

France: 51 Rue Carnot, BP317, 92156 SURESNES Cedex,
Tel. +33 1 4099 6161, Fax. +33 1 4099 6427

Germany: Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG,
Tel. +49 40 2353 60, Fax. +49 40 2353 6300

Hungary: see Austria

India: Philips INDIA Ltd, Band Box Building, 2nd floor,
254-D, Dr. Annie Besant Road, Worli, MUMBAI 400 025,
Tel. +91 22 493 8541, Fax. +91 22 493 0966

Indonesia: PT Philips Development Corporation, Semiconductors Division,
Gedung Philips, Jl. Buncit Raya Kav.99-100, JAKARTA 12510,
Tel. +62 21 794 0040 ext. 2501, Fax. +62 21 794 0080

Ireland: Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14,
Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200

Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloni St, PO Box 18053,
TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007

Italy: PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3,
20124 MILANO, Tel. +39 2 6752 2531, Fax. +39 2 6752 2557

Japan: Philips Bldg 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku,
TOKYO 108-8507, Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5077

Korea: Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL,
Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR,
Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880

Mexico: 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905,
Tel. +9-5 800 234 7381, Fax. +9-5 800 943 0087

Middle East: see Italy

Netherlands: Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB,
Tel. +31 40 27 82785, Fax. +31 40 27 88399

New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND,
Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811

Norway: Box 1, Manglerud 0612, OSLO,
Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

Pakistan: see Singapore

Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc.,
106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2108 MCC, MAKATI,
Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474

Poland: Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA,
Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327

Portugal: see Spain

Romania: see Italy

Russia: Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW,
Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919

Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 319762,
Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500

Slovakia: see Austria

Slovenia: see Italy

South Africa: S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale,
2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 7430 Johannesburg 2000,
Tel. +27 11 470 5911, Fax. +27 11 470 5494

South America: Al. Vicente Pinzon, 173, 6th floor,
04547-130 SÃO PAULO, SP, Brazil,
Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 821 2382

Spain: Balmes 22, 08007 BARCELONA,
Tel. +34 93 301 6312, Fax. +34 93 301 4107

Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM,
Tel. +46 8 5985 2000, Fax. +46 8 5985 2745

Switzerland: Allmendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH,
Tel. +41 1 488 2741 Fax. +41 1 488 3263

Taiwan: Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1,
TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2886, Fax. +886 2 2134 2874

Thailand: PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd.,
209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260,
Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793

Turkey: Talatpasa Cad. No. 5, 80640 GÜLTEPE/ISTANBUL,
Tel. +90 212 279 2770, Fax. +90 212 282 6707

Ukraine: PHILIPS UKRAINE, 4 Patrice Lumumba str., Building B, Floor 7,
252042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 268 0461

United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes,
MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421

United States: 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3409,
Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087

Uruguay: see South America

Vietnam: see Singapore

Yugoslavia: PHILIPS, Trg N. Pasica 5/v, 11000 BEOGRAD,
Tel. +381 11 62 5344, Fax. +381 11 63 5777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors,
International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218,
5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

© Philips Electronics N.V. 1999

SCA63

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

115002/00/03/pp8

Date of release: 1999 Apr 15

Document order number: 9397 750 05676

Let's make things better.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ **Philips** ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง **Philips Semiconductors**

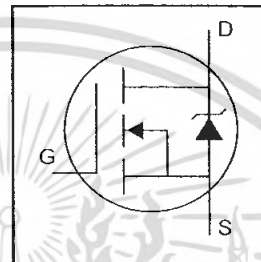


PHILIPS

IRFZ44N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$V_{DSS} = 55V$
$R_{DS(on)} = 17.5m\Omega$
$I_D = 49A$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	49	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	35	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	94	W
	Linear Derating Factor	0.63	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ①	25	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	9.4	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	


Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

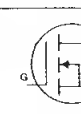
IRFZ44N

International
IOR Rectifier

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.058	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	17.5	m Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	19	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 25A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	63	nC	$I_D = 25A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	14		$V_{DS} = 44V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	23		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	12	—	ns	$V_{DD} = 28V$
t_r	Rise Time	—	60	—		$I_D = 25A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	44	—		$R_G = 12\Omega$
t_f	Fall Time	—	45	—		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	1470	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	360	—		$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	88	—		$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	530 ③	150 ⑥	mJ	$I_{AS} = 25A, L = 0.47\text{mH}$

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	49	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	160		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	63	95	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 25A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	170	260	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 0.48\text{mH}$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 25A$. (See Figure 12)
- ③ $I_{SD} \leq 25A, di/dt \leq 230A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑥ This is a calculated value limited to $T_J = 175^\circ\text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

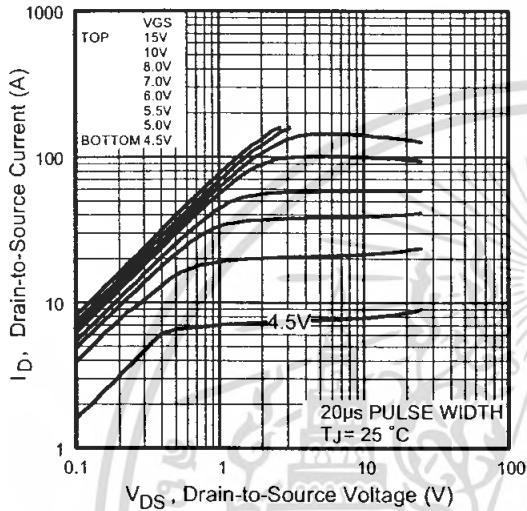


Fig 1. Typical Output Characteristics

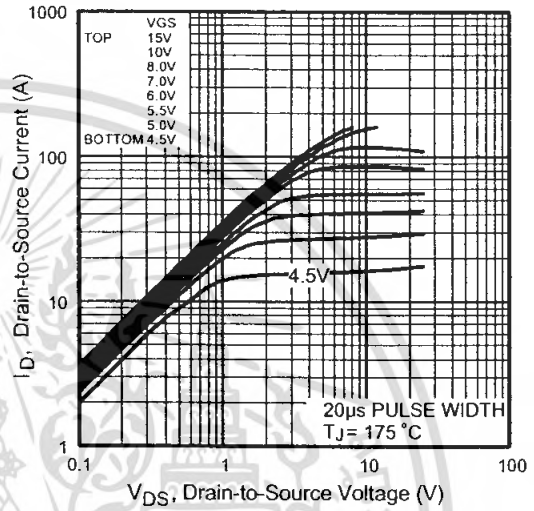


Fig 2. Typical Output Characteristics

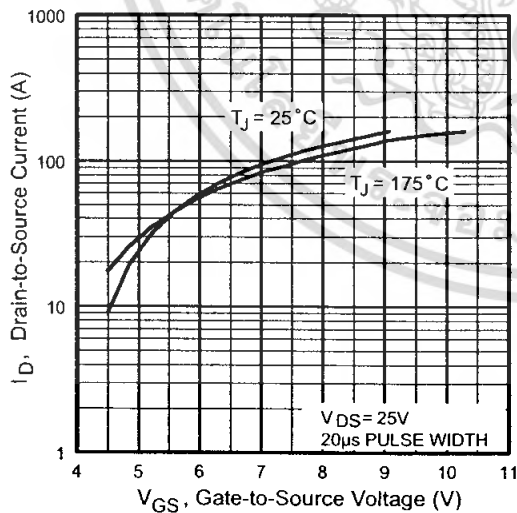


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

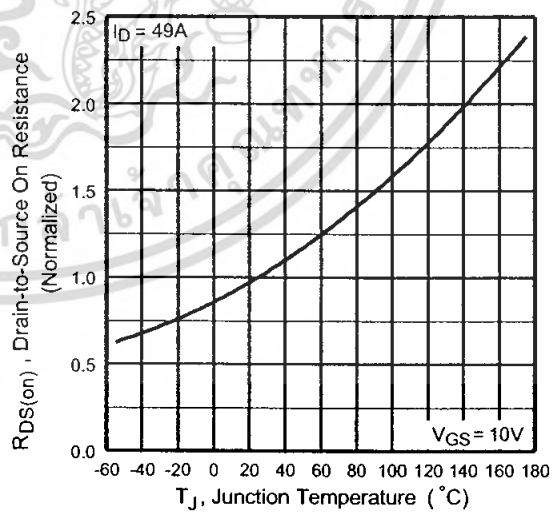


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

IRFZ44N

International
IR Rectifier

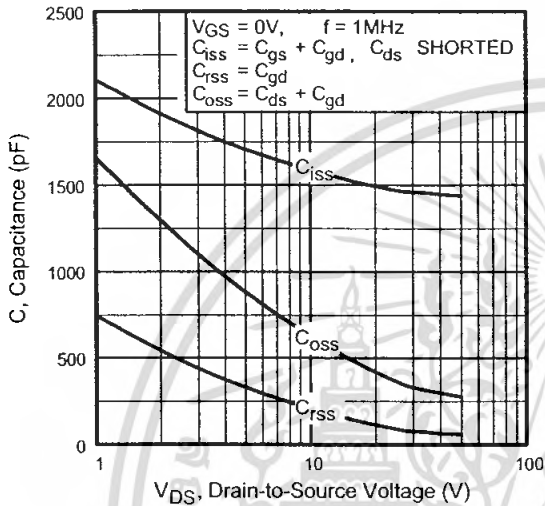


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

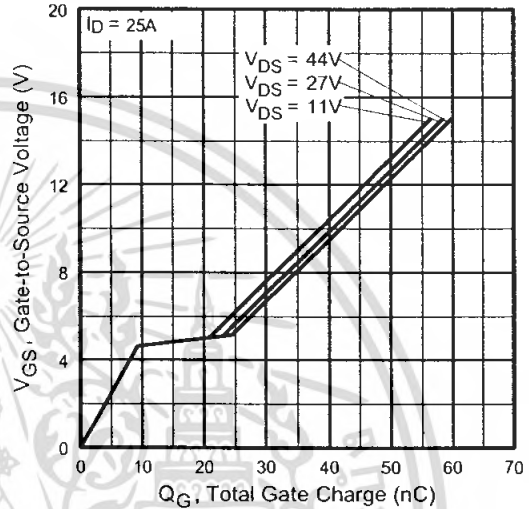


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

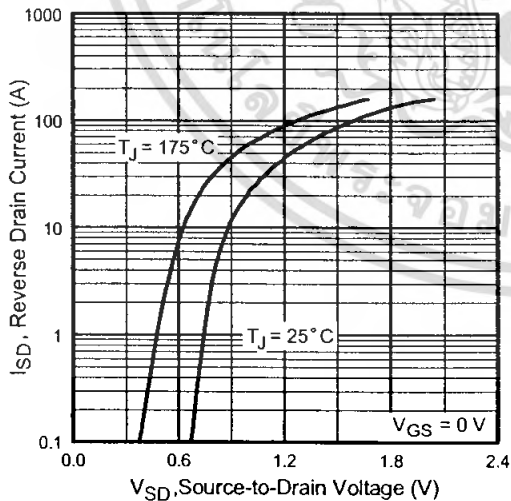


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

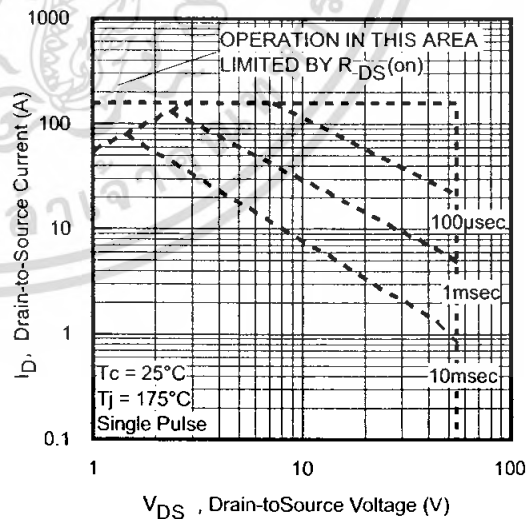


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

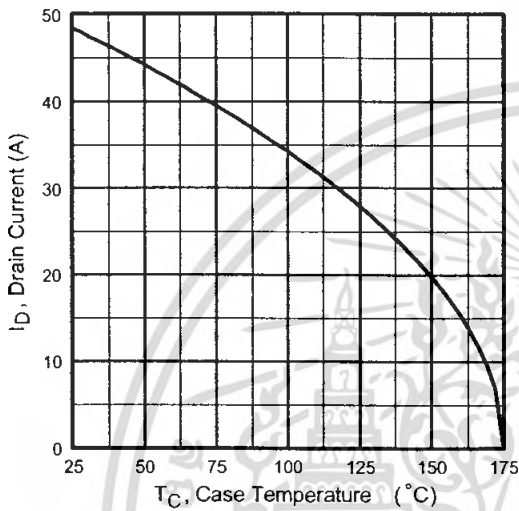


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

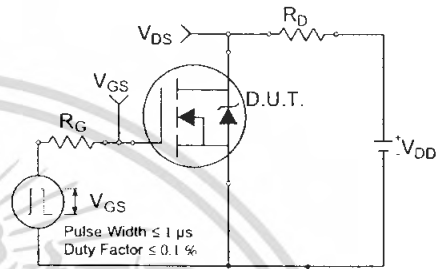


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

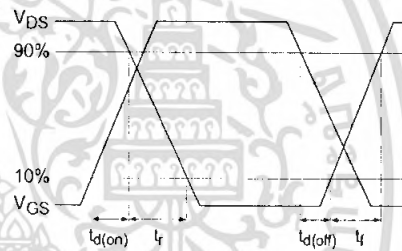


Fig 10b. Switching Time Waveforms

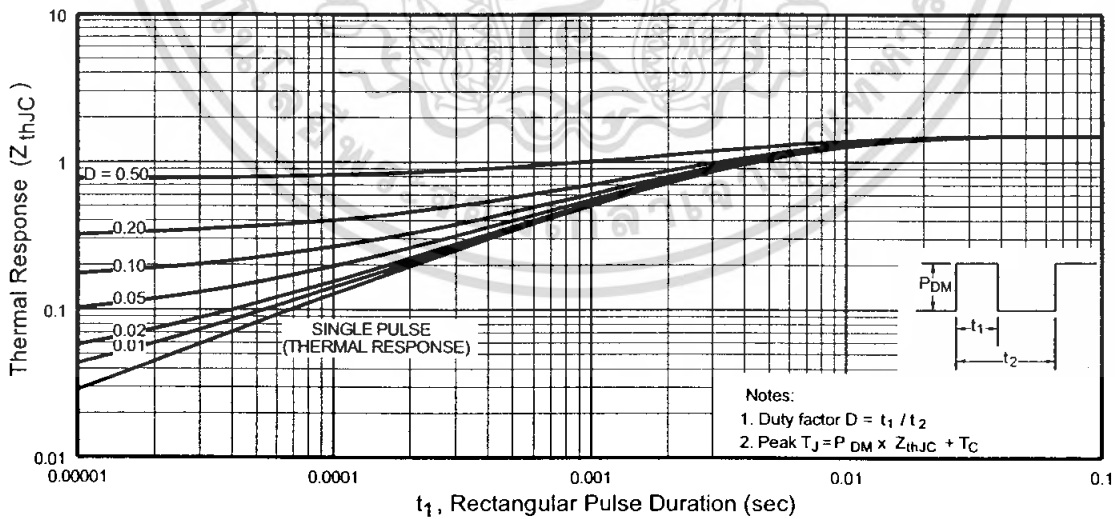


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ44N

International
IR Rectifier

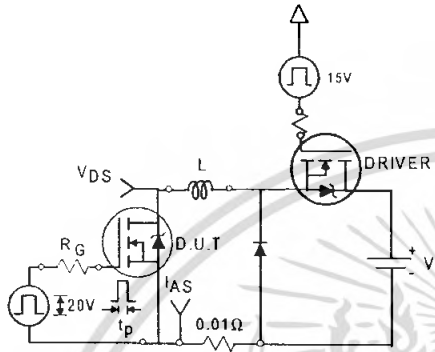


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

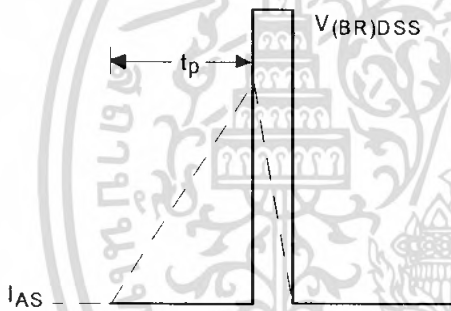


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

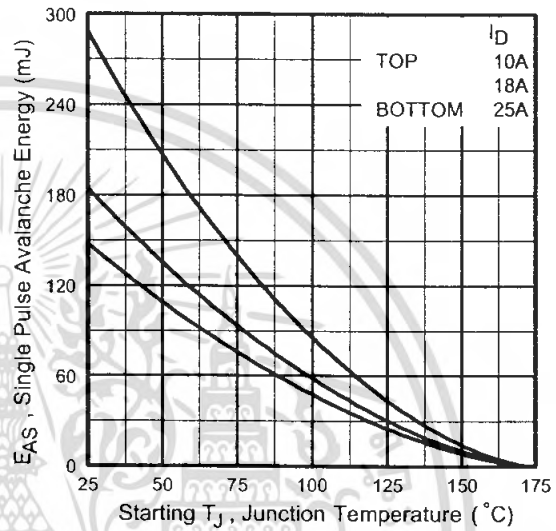


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

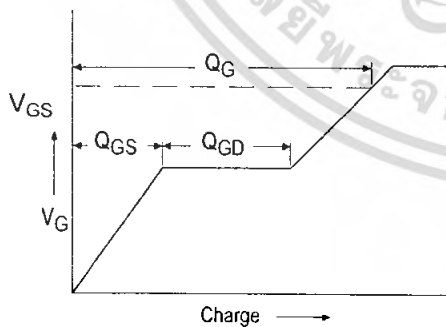


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

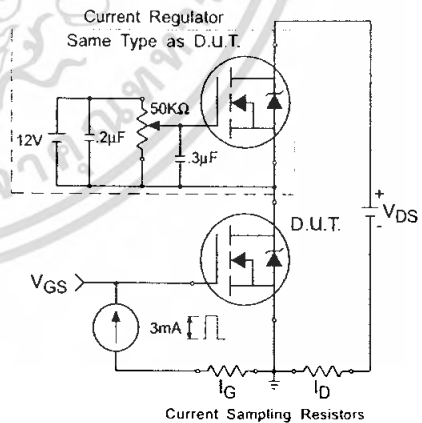


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

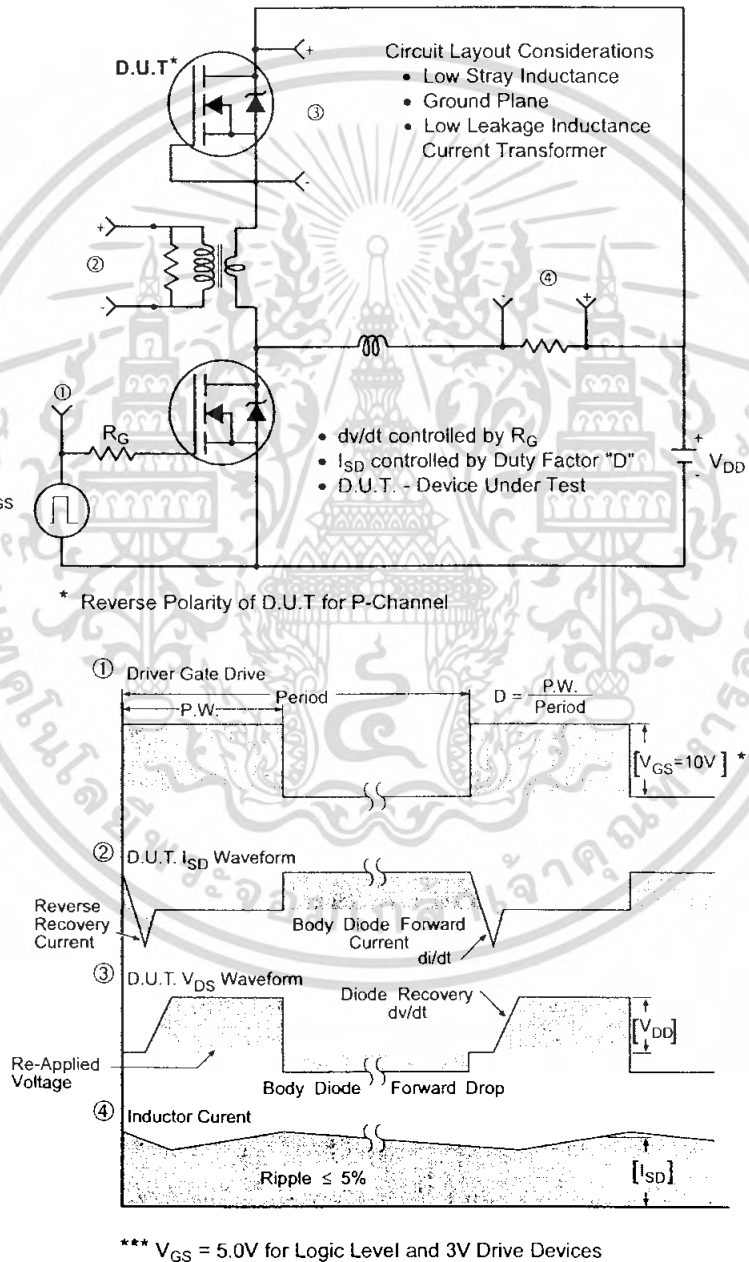


Fig 14. For N-channel HEXFET® power MOSFETs

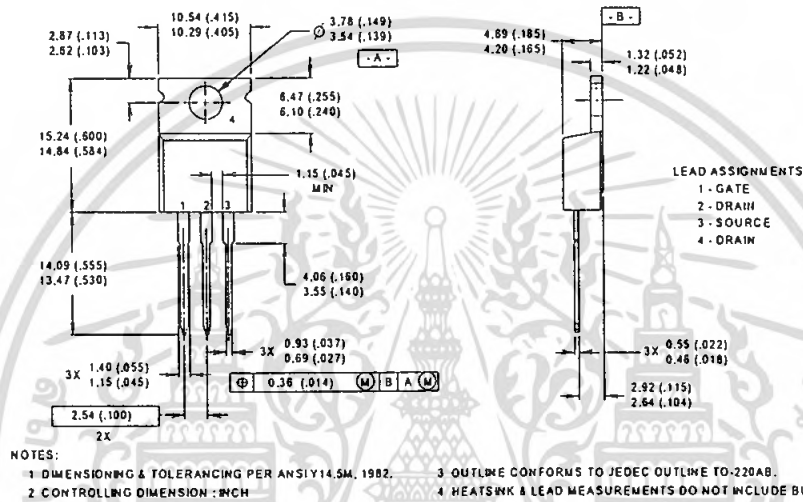
IRFZ44N

International
IR Rectifier

Package Outline

TO-220AB

Dimensions are shown in millimeters (inches)



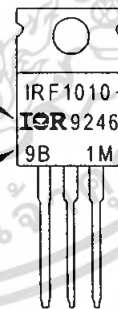
Part Marking Information

TO-220AB

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 9B1M

INTERNATIONAL
RECTIFIER
LOGO

ASSEMBLY
LOT CODE



PART NUMBER

DATE CODE
(YYWW)
YY = YEAR
WW = WEEK

Data and specifications subject to change without notice.
This product has been designed and qualified for the Automotive [Q101] market.
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information.01/01

www.irf.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้