รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ

Design and Improvement Toothbrush Machine for Disable People

จัดทำโดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สนับสนุนโดย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

บทคัดย่อ

บุคคลพิการมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท เช่น บุคคลพิการทางขา ทางสายตา หรือทางแขน เป็นต้น ความพิการเหล่านี้อาจจะเป็นมาแต่กำเนิด หรือเกิดจากอุบัติเหตุ แต่ไม่ว่าจะเป็นความพิการแบบใดก็ตาม ย่อมทำให้การใช้ชีวิตประจำวันไม่สะดวกสบายเหมือนบุคคลปกติทั่วไป จึงทำให้มีการสร้างเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ขึ้นมาเพื่อนช่วยเหลือบุคคลพิการเหล่านี้ให้ได้รับความสะดวก หรือสิทธิต่างๆ เหมือนบุคคลปกติ โดยเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นหรือดัดแปลงจากที่มีอยู่เดิม นำมาผลิตเป็นอุปกรณ์หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มขีดความสามารถของผู้พิการ ให้สามารถทำงานหรือกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันได้แบบพึ่งพิงตัวเอง (Independent living) หรือพึ่งพิงผู้อื่นน้อยที่สุด และมีส่วนร่วมในสังคมได้อย่างเต็มที่ ทั้งนี้ครอบคลุมไปถึงการให้บริการ การประยุกต์ใช้และการนำไปปฏิบัติเพื่อลดอุปสรรคในการทำกิจกรรมของผู้พิการ เช่น การสร้างเครื่องช่วยฟัง การสร้างทางเท้าคนตาบอด หรือการประดิษฐ์ขาเทียม เป็นต้น

โครงงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันของผู้พิการทางแขน ให้สามารถพึ่งพาตนเองได้และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น จึงได้จัดทำเครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขนขึ้นเป็นต้นแบบ โดยการประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATmega32 มาเป็นตัวควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ DC เครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขนนี้สามารถปรับตำแหน่งของแปรงให้เหมาะสมกับช่องปาก ปรับขนาดเข้ากับความสูงของผู้ใช้ได้ตั้งแต่ 140 – 175 เซนติเมตร และสามารถใช้กับผู้ที่ถนัดซ้ายและถนัดขวาได้ จากการทดสอบประสิทธิภาพของโครงงานพบว่าสามารถแปรงฟันให้เข้าถึงเนื้อฟันได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนฟันทั้งหมด ส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ที่ไม่สามารถแปรงฟันได้เนื่องจากการแปรงฟันซี่ในสุดทำให้เกิดอาการอาเจียนในบางบุคคล

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลและหน่วยงานหลายๆ ส่วน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงขอขอบคุณผู้สนับสนุนและช่วยเหลือดังนี้

1. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำหรับการสนับสนุนงบประมาณการดำเนินงานในโครงการวิจัย
2. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนสถานที่ในการดำเนินงานโครงการวิจัย
3. ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านด้านการประมวลผลสัญญาณ สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือสถานที่ สำหรับเก็บข้อมูลและวิเคราะห์สัญญาณในการดำเนินงานวิจัยในโครงการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 คำนำ	3
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	4
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	14
2.4 ไอซีขับมอเตอร์ IC L293D	24
2.5 วิธีแปรงฟันแบบโรทารี่	27
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	29
3.1 คำนำ	29
3.2 วิธีการดำเนินการ	29
3.3 แนวความคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยแปรงฟัน	29
3.4 ขั้นตอนการสร้าง	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 คำนำ	39
4.2 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ	39
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	49
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุป	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก 53

ก. คู่มือการใช้งานเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ 53

ข. Data sheet 62

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

คนเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่า ทั้งนี้เพราะคนเป็นกำลังสำคัญในการ พัฒนาประเทศในทุกๆ ด้าน แต่ในทุกๆ สังคมมิได้มีบุคคลที่มีความรู้ ความสามารถ เท่าเทียมกันทั้งหมดยังมีบุคคลประเภทหนึ่ง ซึ่งมีความ ผิดปกติหรือความ บกพร่องทางด้านร่างกาย ทางสติปัญญา หรือทาง จิตใจ ทำให้เป็นอุปสรรค ในการดำรงชีวิต การประกอบ อาชีพ และ การได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมต่างๆ ของสังคม ซึ่งเราเรียกบุคคล เหล่านี้ว่า คนพิการ ในปัจจุบันนี้มีเทคโนโลยีต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย และมีการสร้างเครื่องมือเครื่องใช้ที่ทันสมัย แต่เครื่องมือที่ช่วยเหลือบุคคลพิการก็ยังมีอยู่อย่างจำกัด

บุคคลพิการมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท เช่น บุคคลพิการทางขา ทางสายตา หรือทางแขน เป็นต้น ความพิการเหล่านี้อาจจะเป็นมาแต่กำเนิด หรือเกิดจากอุบัติเหตุ แต่ไม่ว่าจะเป็นความพิการแบบใดก็ตาม ย่อมทำให้การใช้ชีวิตประจำวันไม่สะดวกสบายเหมือนบุคคลปกติทั่วไป จึงทำให้มีการสร้างเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ขึ้นมาเพื่อนช่วยเหลือบุคคลพิการเหล่านี้ให้ได้รับความสะดวกหรือสิทธิต่างๆ เหมือนบุคคลปกติ โดยเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นหรือดัดแปลงจากที่มีอยู่เดิมนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มขีดความสามารถของผู้พิการ ให้สามารถทำงานหรือกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันได้แบบพึ่งพิงตัวเอง (Independent living) หรือพึ่งพิงผู้อื่นน้อยที่สุด และมีส่วนร่วมในสังคมได้อย่างเต็มที่ ทั้งนี้ครอบคลุมไปถึงการให้บริการ การประยุกต์ใช้และการนำไปปฏิบัติเพื่อลดอุปสรรคในการทำกิจกรรมของผู้พิการ เช่น การสร้างเครื่องช่วยฟัง การสร้างทางเท้าคนตาบอด หรือการประดิษฐ์ขาเทียม เป็นต้น สำหรับบุคลพิการทางแขนนั้นก็มีอยู่ไม่น้อย และยังต้องการความช่วยเหลือหรือเครื่องมือต่างๆ อยู่มาก เพราะแขนเป็นอวัยวะที่สำคัญมากของมนุษย์ ถ้ายิ่งไม่มีมือหรือแขนทั้งสองข้างก็ย่อมจะทำให้ชีวิตประจำวันมีความลำบากมาก ถึงแม้จะมีการใช้เท้าเพื่อช่วยในการทำกิจกรรมต่างๆก็ตาม แต่ก็ต้องใช้การฝึกฝนเป็นอย่างมาก และก็ยังไม่สะดวกในอีกหลายๆกิจกรรม ถ้าจะใช้เท้าโดยเฉพาะกิจกรรมประจำวันที่ต้องทำเป็นประจำ เช่น การรับประทานอาหาร หรือการทำความสะอาดร่างกาย เป็นต้น แน่นอนถ้ามีคนอื่นมาช่วยเหลือกิจกรรมเหล่านี้ย่อมไม่มีปัญหากับบุคคลพิการ แต่จะกลับกลายเป็นภาระของผู้ที่ดูแลช่วยเหลือ ถ้ามีเครื่องมือที่ทำให้บุคคลพิการสามารถช่วยเหลือตัวเองได้ในกิจกรรมเหล่านี้ก็ย่อมเป็นผลดีกับทั้งผู้ดูแลและตัวบุคคลพิการเอง การแปรงฟันก็เป็นกิจกรรมหนึ่งที่สำคัญ เพราะสุขภาพในช่องปากมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต ผู้จัดทำจึงนำเทคโนโลยีของไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการสร้างเครื่องมือเพื่อช่วยเหลือบุคคลพิการทางแขนให้แปรงฟันด้วยตนเองได้ และยังช่วยใน

การแบ่งเบาภาระของผู้ดูแล ทำให้มีเวลาเพื่อทำภารกิจอื่นมากขึ้น เครื่องมือชิ้นนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อและใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนพิการ

1.2.2 ประสานงานกับหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐ และเอกชน ทั้งในและต่างประเทศ เพื่อก่อให้เกิดเครือข่าย ของการวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยี สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนพิการ

1.2.3 ออกแบบและพัฒนาเครื่องอำนวยความสะดวกสำหรับคนพิการและให้การสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมไทย ในการนำผลงานวิจัย ไปผลิตในเชิงพาณิชย์

1.2.4 เผยแพร่ และแลกเปลี่ยนข้อมูล งานวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยี สิ่งอำนวยความสะดวก เพื่อนำไปสู่ การพัฒนาร่วม กับสถาบันการศึกษาอื่น

1.2.5 เผยแพร่ความรู้ และประโยชน์ ของเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก ให้กับสังคมวงกว้าง เพื่อให้บุคคลทั่วไปตระหนักถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนพิการ และประโยชน์ที่ทุกคนในสังคมได้รับร่วมกัน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ

1.3.2 สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ

1.3.3 วิเคราะห์ความต้องการและความสามารถของเครื่องต้นแบบ รวมถึงการพิจารณาในแง่มุมของการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนพิการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ออกแบบและสร้างเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ

1.4.2 สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยสู่การประชุมวิชาการ รวมถึงถ่ายทอดสู่บุคคลที่สนใจ

1.4.3 นำองค์ความรู้ที่ได้มาพัฒนาเพื่อสร้างนวัตกรรมใหม่ต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก (Assistive Technology) สำหรับคนพิการได้รับการคิดค้นและพัฒนาอย่างมาก ก่อให้เกิดนวัตกรรมต่างๆ ที่เข้ามามีบทบาทสำคัญและช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนพิการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการศึกษา เนื่องจากเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกช่วยเพิ่มโอกาส ทางด้านการศึกษาและสังคมให้กับคนพิการ เอื้ออำนวยให้คนพิการสามารถพัฒนาศักยภาพของตนเองในการเรียนรู้สิ่งต่างๆ มีความพร้อมในด้านการศึกษามากยิ่งขึ้น ลดข้อจำกัดด้านต่างๆ ในการเข้าถึงการเรียนการสอน แต่การจะใช้เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั้น ต้องตอบสนองความต้องการจำเป็นของคนพิการแต่ละบุคคลให้มากที่สุด โดยการปรับใช้เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกให้เหมาะสมและตรงตามความต้องการของแต่ละบุคคล เนื่องจาก แต่ละบุคคลมีข้อจำกัดต่างๆ และการดำรงชีวิตที่แตกต่างกัน เช่น คนพิการด้านร่างกายจะมีข้อจำกัดในด้านการเคลื่อนไหว หรือการเดินทาง แต่ข้อจำกัดของแต่ละบุคคลในความพิการประเภทนี้ก็จะแตกต่างกันออกไป บางคนสามารถเคลื่อนไหวได้ดี บางคนไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยตนเอง บางคนมีปัญหา ด้านการใช้แขนและมือ เป็นต้น ดังนั้น การเลือกใช้เทคโนโลยีฯ ให้เหมาะสมกับคนพิการแต่ละบุคคลจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกที่ช่วยในการเข้าถึงทางด้านการศึกษาหรือการเรียนรู้ [1]

เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก หมายถึงเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นหรือดัดแปลงจากที่มีอยู่เดิม นำมาผลิตเป็นอุปกรณ์หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มขีดความสามารถของผู้พิการให้สามารถทำงานหรือกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันได้แบบพึ่งพิงตัวเอง (Independent living) หรือพึ่งพิงผู้อื่นน้อยที่สุด และมีส่วนร่วมในสังคมได้อย่างเต็มที่ ทั้งนี้ครอบคลุมไปถึงการให้บริการการประยุกต์ใช้และการนำไปปฏิบัติเพื่อลดอุปสรรคในการทำกิจกรรมของผู้พิการ และอุปกรณ์เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก หมายถึง อุปกรณ์ต่างๆ ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ หรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งวางจำหน่ายทั่วไป ดัดแปลง หรือผลิตขึ้นมาเฉพาะบุคคล เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มเติมดูแลรักษา หรือพัฒนาความสามารถในการทำกิจกรรมต่างๆ ของผู้พิการที่ใช้อุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งอุปกรณ์เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกนี้หมายรวมถึงเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน (Low Technology) ไปจนถึงเทคโนโลยีขั้นสูง (High Technology) ประเภทอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) อุปกรณ์ช่วยในการเห็น (Visual Aids)
2) อุปกรณ์ช่วยในการได้ยิน (Hearing Aids)
3) อุปกรณ์ช่วยในการเขียน (Writing Aids)
4) อุปกรณ์ช่วยในการอ่าน (Reading Aids)
5) อุปกรณ์ช่วยดำเนินชีวิตประจำวัน(Daily Living Aids)
6) อุปกรณ์ช่วยจัดท่าทางและที่นั่ง (Positioning and Seating)
7) คอมพิวเตอร์และการใช้งานคอมพิวเตอร์ (Computer and Computer Access)
8) อุปกรณ์ช่วยการสื่อสาร (Communication Aids)
9) อุปกรณ์พละศึกษาและนันทนาการ(Physical and Recreation Aids)

ดังนั้นเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก (Assistive Technology) เป็นวิทยาการที่มุ่งพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการให้พ้นจากอุปสรรคที่ทำให้คนพิการมีสมรรถนะที่ด้อยกว่าคนปกติทั้งในด้านการดำเนินชีวิตประจำวัน การศึกษา และการประกอบอาชีพ วิทยาการของเทคโนโลยีด้านนี้จึงต้องคำนึงถึง สภาพความพิการ อันได้แก่ ความพิการทางกาย ทางตา ทางหู ทางสติปัญญา และทางการเรียนรู้ ในการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกให้ตรงกับความต้องการ เฉพาะของผู้พิการแต่ละประเภท การพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวก จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือ ของผู้ที่เกี่ยวข้องหลายสาขา นอกจากความรู้เทคโนโลยีแกนหลักแล้วยังต้องใช้ความรู้ทางด้านการแพทย์ การบำบัดการศึกษาพิเศษ วิศวกรรมการฟื้นฟูสมรรถภาพ (Rehabilitation Engineering) รวมทั้งการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ต้องคำนึงถึงส่วนติดต่อใช้งาน (User Interface) กับผู้พิการ ซึ่งมีความต้องการพิเศษ [1] ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เคยศึกษา วิจัย พัฒนาอุปกรณ์สำหรับบุคคลพิการ [2] โดยมุงเน้นพัฒนาสู่งานอุตสาหกรรมต่อไป

อีกทั้งในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาดำเนินการพัฒนาและวิจัยสิ่งอำนวยความสะกวดสำหรับบุคคลพิการมาขึ้นเช่น การออกแบบ Web site สำหรับบุคคลพิการ [3] การพัฒนาระบบควบคุมรถเข็นคนพิการด้วยคอมพิวเตอร์ [4] การออกแบบระบบควบคุมสำหรับบุคคลพิการ [5] และคอมพิวเตอร์สำหรับบุคลแขนพิการ [6] เป็นต้น

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.1 ทำความรู้จักกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้กันในบ้านเราก็มีอยู่หลากหลายตระกูล คุณสมบัติและโครงสร้างก็จะมีทั้งเหมือนและแตกต่างกัน การเลือกใช้ก็จะขึ้นอยู่กับความถนัดของผู้ใช้และความเหมาะสมของชิ้นงาน ซึ่งเป็นหลักตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เหมาะกับการทำงานที่

ต้องการราคาไม่แพง คุณภาพดี การคำนวณไม่ซับซ้อน และสามารถนำไปใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้ ดังนั้นจึงนำมาประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการต่อไป

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิตอลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิพจะมีหน่วยความจำ Port อยู่ในชิพเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุมคือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่างๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ, ส่วนอินพุท/เอาท์พุท บางส่วนเข้าไปในตัวไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อจะให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานการควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรด้านการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เป็นต้น

Microcontroller = Microprocessor + Memory + I/O

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่นๆ (Embedded systems) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์ เตาอบไมโครเวฟ เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้ในงานควบคุมหลายประการ เช่น

1) ชิพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก
2) วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อย
3) ช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร
4) มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย
5) ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูลและหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันทำให้เลือกใช้กับงานได้อย่างเหมาะสม ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างตระกูล AVR เพื่อใช้ในการทำความเข้าใจ

2.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR นั้นเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดย บริษัท Atmel ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ตัวนี้ซึ่งจะมีระบบ RISC core running หรือจะมีสถาปัตยกรรมแบบ RISC ที่ใช้คำสั่งหนึ่งคำสั่งสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก และยังมีให้เลือกใช้กันหลายเบอร์หลายแบบ โดยจะยกตัวอย่างเบอร์ ATmega32

รูปที่ 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATmega32

2.2.3 คุณสมบัติ

1) สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกออกแบบให้ใช้กับสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) RISC คือ ทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง / 1 Clock หรือ CPU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS / MHz

2) มีคำสั่งในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 131 คำสั่ง

3) หน่วยความจำแบบ Flash ที่ใช้สำหรับการบันทึก Program memory ที่มีขนาด 32 Kbyte (ATmega32)

4) หน่วยความจำแบบ EEPROM สำหรับการบันทึก Data memory ทีมีขนาด 1024 Byte (ATmega32)

5) หน่วยความจำแบบ SRAM ขนาด 2K Byte (ATmega32)

6) ระบบการเปลี่ยนสัญญาณ Analog to digital ขนาด 10 บิต จำนวน 8 Channel

7) กลุ่มรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว

8) พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตขนาด 8 บิต จำนวน 4พอร์ต

9) ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิตอลแบบอะซิงโครนัส (Uart) 1 Channel

10) ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิตอลแบบซิงโครนัส (SPI) 1 Channel

11) ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0-16 MHz (ATmega32)

12) ระบบจะรีเซ็ตแบบอัตโนมัติเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Power on reset)

13) ระบบการกำเนิดความถี่สัญญาณแบบ PWM จำนวน 4 Channel

14) ระบบการตรวจจับระดับสัญญาณอนาลอก (Analog comparator)

15) 6 Sleep mode: Adel, Power save and power down

16) มีระบบการป้องกันการ Copy ข้อมูลภายในของหน่วยความจำ (Lock for software security)

17) มีระบบการตรวจจับการทำงานผิดพลาดของ CPU (Watchdog timer with on chip oscillator)

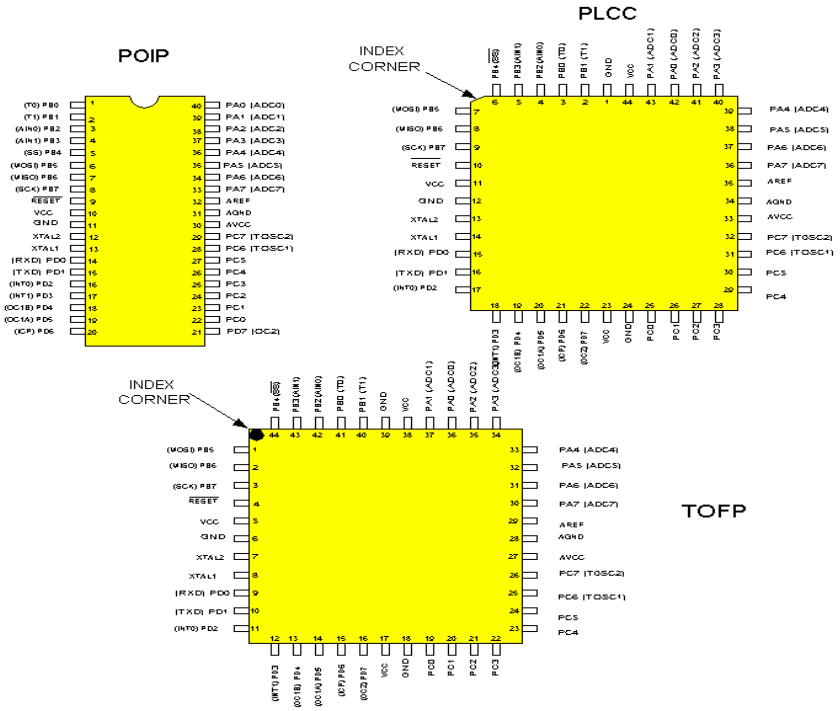
18) ระบบการอินเตอร์รัพท์จากภายนอก (External interrupt)

19) Timer/Counter ขนาด 8 บิต 2 Channel

20) Timer/Counter ขนาด 16 บิต 1 Channel

21) Vcc: 4.5 - 5.5 ATmega32

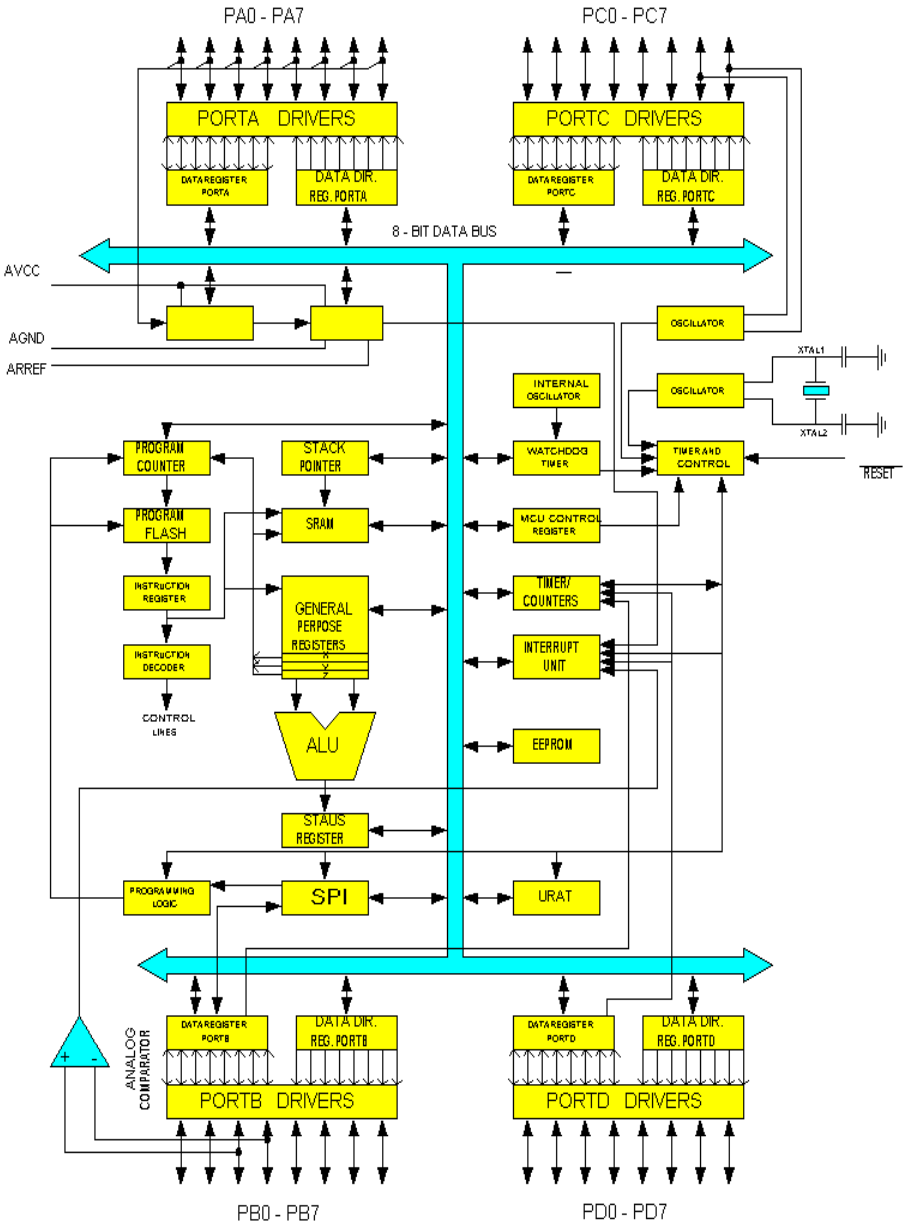
2.2.4 โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขา



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขา [7]

ภายในจะประกอบด้วยรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัวซึ่งแต่ละตัวจะต่อเข้ากับ ALU โดยตรง ทำให้การประมวลผลต่อ 1 คำสั่งที่มีความเร็วกว่า CPU ที่มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC

2.2.5 BLOCK DIAGRAM



รูปที่ 2.3 BLOCK DIAGRAM [8]

2.2.6 รายละเอียดของขาสัญญาณ

1) Vcc คือ ขาจ่ายไฟให้กับ CPU และ GND คือกราวด์

2) Port A (PA7…PA0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางมีขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ Pull up ภายในแยกจากกันซึ่งสามารถรับกระแส Sink 20mA โดยพอร์ต A ยังใช้เป็นขาอินพุต เพื่อรับสัญญาณอนาลอกในส่วนของการแปลงสัญญาณ Analog to digital

3) Port B (PB7…PB0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางมีขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ Pull up ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส Sink 20mA และยังถูกนำไปใช้งานอื่นๆ อีก

4) Port C (PC7...PC0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางมีขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ Pull up ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส Sink 20mA และยังถูกนำไปใช้งานอื่นๆ อีก

5) Port D (PD7...PD0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ Pull up ภายในจะอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส Sink 20mA และยังถูกนำไปใช้งานอื่นๆ อีก

6) Reset คือ ขารีเซ็ต

7) XTAL 1 เป็นขาอินพุตของ OSE

8) XTAL 2 เป็นขาเอาท์พุตของ OSE

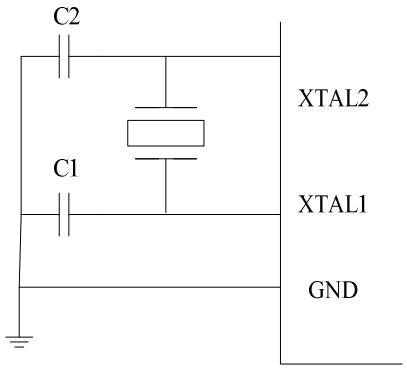
9) AVcc ใช้จ่ายไฟให้กับวงจร Analog to digital

10) AREF เป็นขาแรงดันอ้างอิงที่ใช้งานในส่วนของวงจร Analog to digital

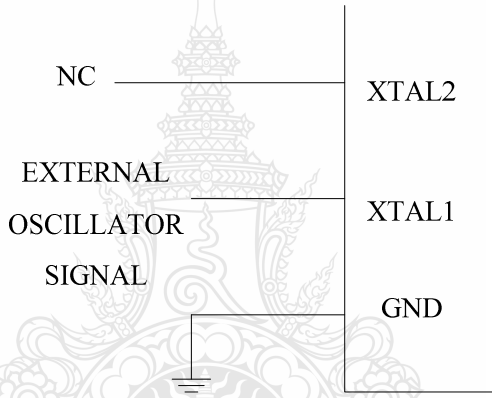
11) AGND เป็นขากราวด์ของวงจร Analog to digital

2.2.7 การใช้งาน CRYSTAL OSCILATOR

โดยขา XTAL 1 เป็นขาอินพุตและขา XTAL 2 เป็นขาเอาต์พุต ซึ่งถ้าต้องการใช้ OSC ภายในจะต้องต่อ Crystal คร่อมที่ขาของ XTAL 1 และ XTAL 2 โดยมี Capacitor ต่อจากขาทั้ง 2 ลงกราวด์ ถ้าต้องการ OSC จากภายนอกให้ปล่อยที่ขา XTAL 2 ลอยและป้อน Clock เข้าที่ขา XTAL 1 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 และ รูปที่ 2.5



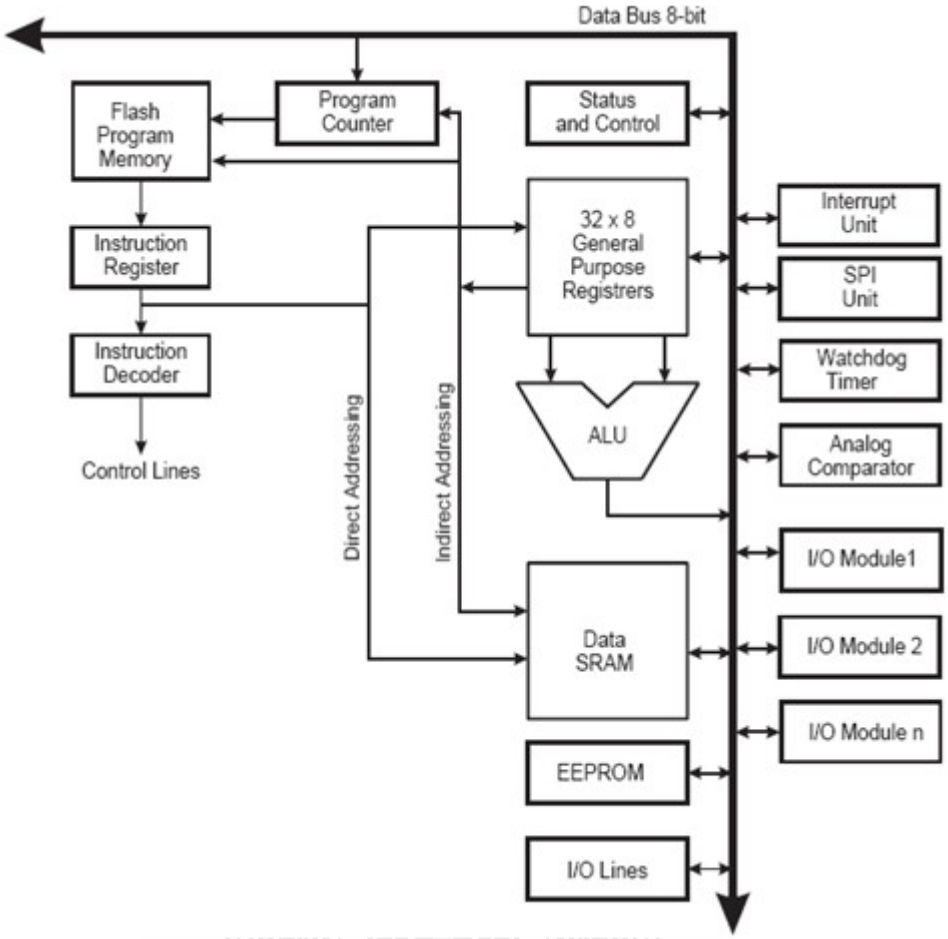
รูปที่ 2.4 การใช้ OSC ภายใน MCU [8]



รูปที่ 2.5 การใช้ OSC ภายนอก MCU [8]

2.2.8 สถาปัตยกรรมภายใน

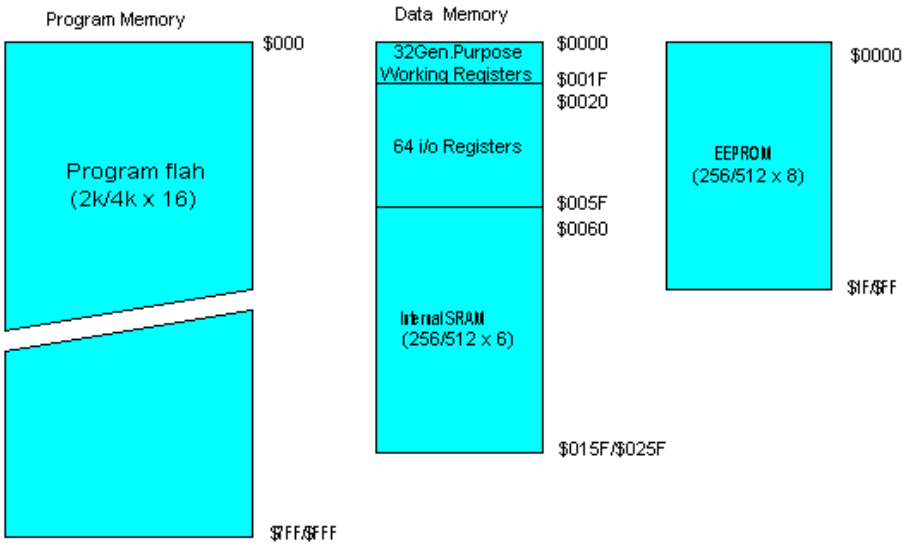
โครงสร้างภายในจะประกอบด้วยรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไปมีขนาด 8 บิตจำนวน 12 ตัวที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ภายใน 1 Clock ซึ่งหมายความว่า MCU ที่จัดการข้อมูลภายในรีจีสเตอร์นี้ใช้งานทั่วไปได้เสร็จภายใน 1 Clock ของสัญญาณนาฬิกาโดยรีจีสเตอร์ R26 - R31 เป็นรีจีสเตอร์ขนาด 8 บิต จำนวน 6 ตัว สามารถจับคู่เพื่อใช้เป็นรีจีสเตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว โดยใช้ชื่อว่ารีจีสเตอร์ X, Y และ Z



รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมแบบ RISC ของ ATmega32 [7]

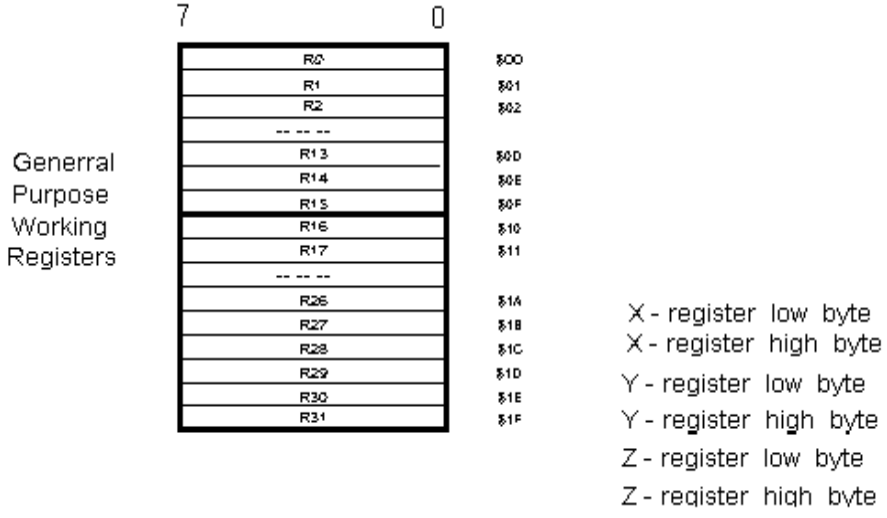
ALU จะสนับสนุนที่การกระทำทางคณิตศาสตร์ระหว่างรีจีสเตอร์กับรีจีสเตอร์ หรือในระหว่างรีจีสเตอร์กับค่าคงที่ซึ่งเรียกใช้ในงานทั่วไปนี้สามารถกระทำได้ โดยการอ้างหน่วยความจำของภายในที่ตำแหน่ง $00 - $1F จำนวน 32 ตำแหน่งและใน MCU ได้จัดแบ่งให้มีรีจีสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของหน่วยอินพุทและเอาต์พุตต่างๆ อีก 64 ตำแหน่งโดยสามารถเรียกใช้งานได้โดยการอ้างตำแหน่งหน่วยความจำที่ตำแหน่ง $20 - $5F ระบบการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้หลักการออกแบบของ Havard ด้วยการแยกที่ตัวระบบบัสของ Program และ Data ออกจากกันโดยโปรแกรมจะมีการประมวลผลด้วย Single level pipelining ซึ่งจะทำให้ตัว CPU สามารถ Fetch และ Execute คำสั่งได้ภายใน 1 คาบเวลาด้วยคำสั่ง Jump และ Call แบบ Relative ที่สามารถกระโดดข้ามการทำงานได้ไกลถึง 2k/4k ซึ่งใน 1 คำสั่งจะใช้รหัสการทำงาน 16 Bits หรือ 1 Word โดยทุกครั้งที่มีการอินเตอร์รัพท์หรือข้ามไปทำงานในตัวโปรแกรมย่อยค่าของ

Program Counter (PC) จะถูกเก็บลง Stack ซึ่งจะใช้พื้นที่หน่วยความจำใน SRAM บางส่วนเพื่อทำเป็นพื้นที่ของ Stack



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของหน่วยความจำ [8]

2.2.9 รีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป

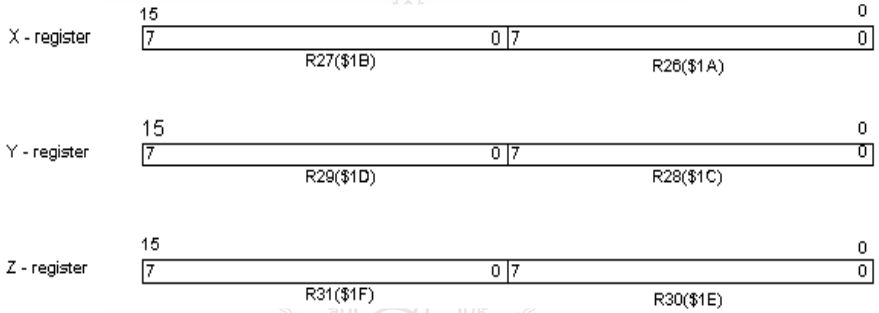


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป [8]

รีจีสเตอร์ทั้งหมดสามารถใช้ชุดคำสั่ง เพื่อจะได้เข้าถึงได้โดยตรงและจะใช้ช่วงเวลาการเข้าถึงเพียง 1 Clock โดยคำสั่ง SBCI, SUBI, CPI, ANDI และ ORI ซึ่งกระทำ ระหว่างรีจีสเตอร์กับค่าคงที่และรีจีสเตอร์กับรีจีสเตอร์และคำสั่ง LDI ที่ใช้โหลดค่าคงที่เข้าไว้ในรีจีสเตอร์ จะต้องใช้งานกับรีจีสเตอร์ R6-R31 ส่วนคำสั่ง SBC, SUB, CP, AND และ OR และคำสั่งใช้งานอื่นๆ สามารถใช้งานได้ในรีจีสเตอร์ทั่วไป

2.2.10 รีจีสเตอร์ X, รีจีสเตอร์ Y และ รีจีสเตอร์ Z

รีจีสเตอร์ R26...R31 สามารถนำมาต่อกันเพื่อทำเป็นรีจีสเตอร์คู่เพื่อไว้ใช้งานเป็นตัวชี้ข้อมูลในชื่อของรีจีสเตอร์ X, Y และ Z



รูปที่ 2.9 รีจีสเตอร์ X, รีจีสเตอร์ Y และรีจีสเตอร์ Z [8]

2.2.11 หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก

ระบบการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพของ AVR คือ ALU ที่สามารถสื่อสารกับข้อมูลโดยตรงกับรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไปได้ทั้ง 32 ตัว โดย ALU ได้มีจัดแบ่งระบบการจัดการข้อมูลไว้ 3 ส่วนคือ ส่วนของการจัดการทางคณิตศาสตร์ ส่วนของการกระทำกับทางลอจิกและในส่วนของการกระทำกับบิต

2.2.12 หน่วยความจำ SRAM

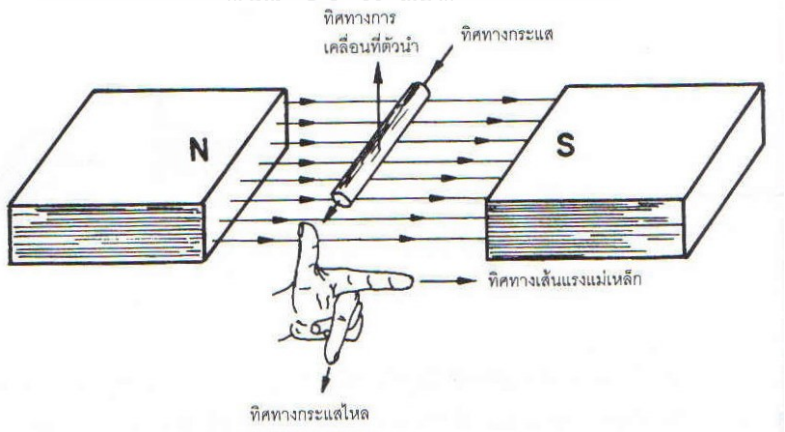
หน่วยความจำภายในตัว MCU จัดไว้ใน 2144 ตำแหน่งที่ไว้สำหรับ ATmega32 โดยหน่วยความจำทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น พื้นที่ของรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป รีจีสเตอร์ใช้งาน I/O และหน่วยความจำที่ภายใน SRAM โดยมี 96 ตำแหน่งแรกจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนของรีจีสเตอร์ และอีก 2048 ตำแหน่งสำหรับ ATmega32 ถูกจัดไว้เป็นส่วนของหน่วยความจำภายในตัว SRAM การเข้าถึงข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วนคือ Direct, Indirect with displacement, Indirect with pre-decrement และ Indirect with post increment

2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.3.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในอดีตมีนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่าน คือ ไฮน์ริช เลนซ์ ชาวเยอรมัน และ เซอร์จอห์น อัมโบรส เฟรมมิ่ง ชาวอังกฤษ ได้ทดลองและพบหลักการการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ เมื่อมีลวดตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น และทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดตัวนำจะไหลในทิศทางที่ต้านการหมุนของขดลวดตัวนำนั้น ซึ่งกฎในเรื่องทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้านี้เรียกว่ากฎของเลนซ์

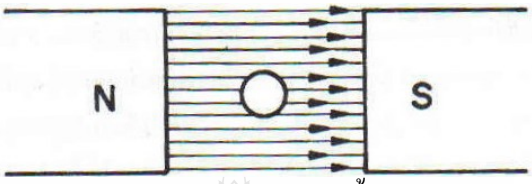
เซอร์เฟรมมิ่งได้ค้นพบวิธีพิจารณาว่าการหมุนของมอเตอร์จะหมุนไปในทางใดนั้น ถ้าทราบทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าก็จะพบความสัมพันธ์ดังนี้คือ ถ้าทราบทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก ทิศทางการไหลของกระแสในตัวนำ จะทำให้ทราบทิศทางการหมุนของขดลวดตัวนำได้ การค้นพบนี้เรียกว่ากฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง ความสัมพันธ์สามารถหาได้โดยการใช้มือซ้าย กางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ให้นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำ นิ้วชี้ชี้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก และนิ้วกลางชี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง [9]

ถ้าลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ลวดตัวนำนั้น ดังนั้นถ้าลวดตัวนำนี้วางอยู่ในสนามแม่เหล็กอื่น สนามแม่เหล็กทั้งสองจะทำปฏิกิริยากันทันที โดยที่เส้นแรงแม่เหล็กนั้นจะไม่ตัดกัน ดังนั้นจึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กนั้นเกิดผลักกันเป็นเหตุให้ที่ด้านหนึ่งจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมาก ส่วนอีกด้านหนึ่งเส้นแรงแม่เหล็กหนีห่างออกไปจากกัน ผลก็คือจะมีสนามแม่เหล็กหนาแน่นมากที่ด้านหนึ่ง และจะมีความหนาแน่น

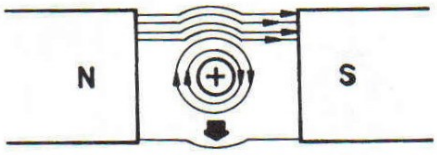
น้อยอีกด้านหนึ่งแสดงดังรูปที่ 2.11 (ค) และรูปที่ 2.11 (ง) เส้นแรงแม่เหล็กนั้นมีความพยายามที่จะผลักตนเองออกห่างจากเส้นแรงแม่เหล็กอื่นเสมอ ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจากตัวนำดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก) และรูปที่ 2.11 (ข) นี้จะพยายามผลักเส้นแรงแม่เหล็กเส้นอื่นให้หนีห่างออกไป จะทำให้ผลักลวดตัวนำเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน และถ้ากระแสที่ไหลในตัวนำเปลี่ยนทิศทางจากเดิมคือกระแสไหลออกดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ค) เปลี่ยนเป็นกระแสไหลเข้าดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ง) เส้นแรงแม่เหล็กก็จะพยายามผลักตัวนำให้เคลื่อนที่ลงด้านล่าง



(ก) เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก

(ข) เส้นแรงแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำที่มีกระแส

(ค) ตัวนำเคลื่อนที่ขึ้น



(ง) ตัวนำเคลื่อนที่ลง

รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่ขดลวดตัวนำ [9]

การที่ลวดตัวนำต้องเคลื่อนที่นี้จะต้องเคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก จึงทำให้มีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในลวดตัวนำนั้นจำนวนหนึ่ง การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้เป็นไปตามกฎของเลนซ์ โดยทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะต้านกับการเคลื่อนที่ที่ทำให้ลวดตัวนำนั้นเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจากภายนอกเข้าไปในลวดตัวนำ หรือเมื่อพิจารณาโดยใช้กฎมือซ้ายสำหรับมอเตอร์แล้ว จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในลวดตัวนำจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าต่อต้าน หรือมีแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Counter e.m.f. or back e.m.f.) ใช้สัญลักษณ์ E_c หรือ E_b ซึ่งมันจะเกิดขึ้นในลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เสมอ

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีผลต่อการใช้งานจริงในอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์จึงมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ลบด้วยแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ เขียนเป็นสมการได้คือ

$$I_a R_a = V - E_b$$

หรือ

$$E_b = V - I_a R_a \qquad (2.1)$$

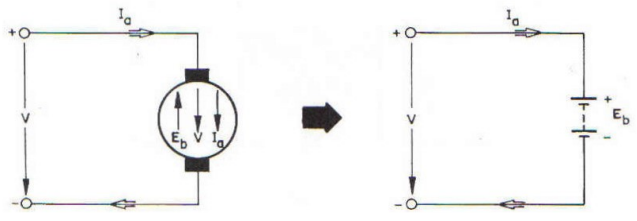
เมื่อ E_b = แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (V)

V = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (V)

I_a = กระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ (A)

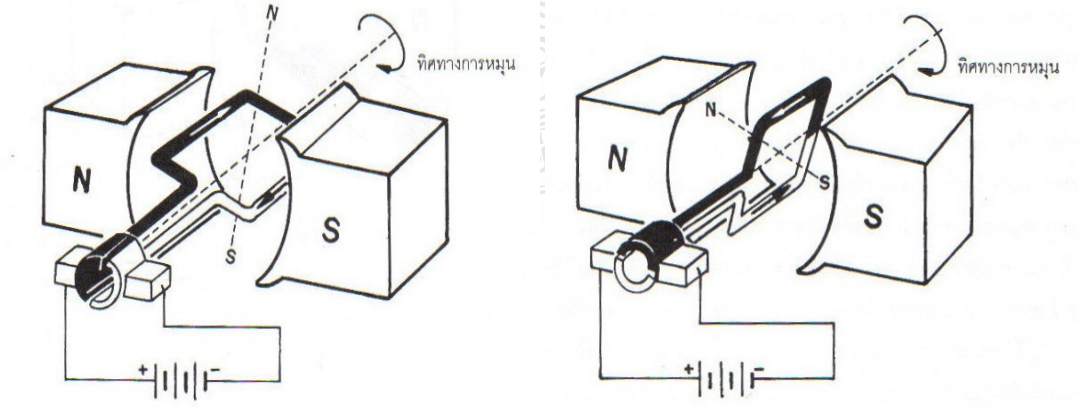
R_a = ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Ohm)

ค่าของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับนี้จะมีค่าไม่เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่เกิดขึ้นสามารถเขียนเปรียบเทียบได้เหมือนกับในอาร์เมเจอร์นั้นมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงซ่อนอยู่ และจ่ายไฟออกมาตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปดังแสดงในรูปที่ 2.12

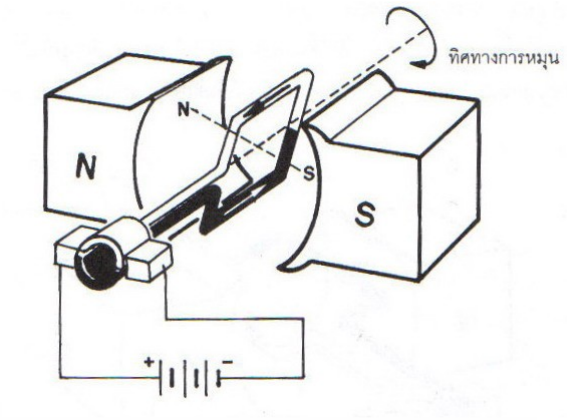


รูปที่ 2.12 วงจรเทียบเคียงของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ [9]

จากรูปที่ 2.13 เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วยขดลวดที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยปลายของขดลวดทั้งสองข้างต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ด้านละซี่ ซึ่งจะมีแปรงถ่านต่อไว้ และแปรงถ่านทั้งสองต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก ขดลวดตัวนำนั้นจะต้องหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก เมื่อขดลวดอยู่ ณ ตำแหน่งที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ก) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ทำให้ด้านบนของขดลวดเป็นขั้วเหนือและด้านล่างของขดลวดเป็นขั้วใต้ตามกฎมือขวา ขั้วแม่เหล็กของขดลวดจะถูกดูดหรือถูกผลักขึ้นอยู่กับว่าเป็นขั้วเหมือนกันหรือต่างกัน ทำให้ขดลวดหมุนได้ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งเป็นความพยายามที่จะทำให้ขั้วต่างกันเข้ามาหากัน และต่อมาเมื่อมีขดลวดหมุนมาอยู่ที่ 90 องศา คือตำแหน่งที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ข) กระแสที่ไหลผ่านขดลวดจะเปลี่ยนทิศทาง (กลับทาง) ทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ขดลวดนั้นกลับขั้ว ดังนั้นขณะนี้จะกลายเป็นขั้วเหมือนกันผลักกัน ลวดตัวนำก็จะหมุนเลยต่อไปอีก ซึ่งเป็นการหมุนได้เพราะขั้วเหมือนกันผลักกัน แต่ถ้าขดลวดหมุนไปครบรอบ 180 องศา คือตำแหน่งที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ค) ปฏิกิริยาเช่นเดียวกับเมื่ออยู่ตำแหน่งที่ 2 จะเกิดขึ้นใหม่อีกครั้ง คือกระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะเปลี่ยนทิศทาง ขั้วแม่เหล็กที่ขดลวดจะกลายเป็นขั้วต่างกันผลักออกจากกันอีก ผลก็คือมอเตอร์จะหมุนได้ตลอดเวลา ดังนั้นคอมมิวเตเตอร์จึงมีบทบาทกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำให้กระแสที่ไหลเข้าขดลวดกลับทางได้ทันทีที่ขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันกำลังเผชิญหน้ากัน เมื่อกลับทางไหลก็จะทำให้ขั้วของสนามแม่เหล็กมี่ขดลวดอาร์เมเจอร์เปลี่ยนให้ผลักจากกันต่อมอเตอร์ก็จะหมุนได้ตลอดเวลา



(ก) (ข)



(ค)

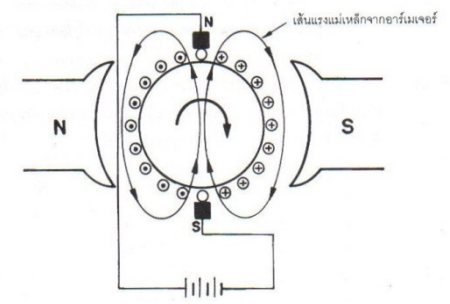
รูปที่ 2.13 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย [9]

(ก) ขดลวดตัวนำตำแหน่งที่ 1

(ข) ขดลวดตัวนำตำแหน่งที่ 2

(ค) ขดลวดตัวนำตำแหน่งที่ 3

แต่ถ้าอาร์เมเจอร์ที่ใช้ขดลวดหลายชุด แต่ละชุดก็จะเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกันกับขดลวด 1 ชุด ในขณะที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กซึ่งจะมีขั้วดังแสดงในรูปที่ 2.14 ขั้วเหนือของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดอาร์เมเจอร์จะดูดเข้าหาขั้วใต้ของขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กหลัก แรงดึงดูดกันนี้ทำให้มีแรงผลักหนุนที่อาร์เมเจอร์ ทำให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เกิดแรงบิดที่สม่ำเสมอราบเรียบไม่กระตุก เพราะมีขดลวดหลายๆ ชุด ที่อยู่ติดกันผลัดกันทำงานทีละชุดตามลำดับ การที่มีขดลวดหลายๆ ชุดเช่นนี้จึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กลัพธ์ที่อาร์เมเจอร์ขึ้นค่าหนึ่งซึ่งเปรียบเหมือนว่ามีค่าคงที่ หรือสนามแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์จะอยู่ในตำแหน่งที่คงที่ในขณะที่อาร์เมเจอร์กำลังหมุนอยู่



รูปที่ 2.14 การเกิดสนามแม่เหล็กที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ [9]

แรงที่กระทำบนขดลวดตัวนำต่อหนึ่งขดในขณะที่มีกระแสไหลผ่านตัวนำนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนกระแสที่ไหล ความเข้มของสนามแม่เหล็กและความยาวของตัวนำในสัดส่วนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก (หรือความยาวของตัวนำส่วนที่ใช้งานจริง) แรงที่เกิดขึ้นนี้ใช้สัญลักษณ์ F สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.2

$$F = BlI \qquad (2.2)$$

เมื่อ F = แรงที่กระทำที่ขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton, N)

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์ต่อตารางเมตร (Weber per Square meter) หรือเทสลา (Tesla, T)

l = ความยาวของตัวนำในส่วนที่ผ่านสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเมตร (Meter, m)

I = กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere, A)

จากสมการที่ 2.2 จะเห็นว่า ถ้าสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ และความยาวของขดลวดตัวนำมีค่าคงที่ แรงผลักหรือแรงที่กระทำก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดตัวนำเพียงอย่างเดียว

แรงบิด (Torque) แรงบิดที่เกิดขึ้นนี้ใช้สัญลักษณ์ T และสามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

แรงบิด = แรง x ระยะทาง

หรือ

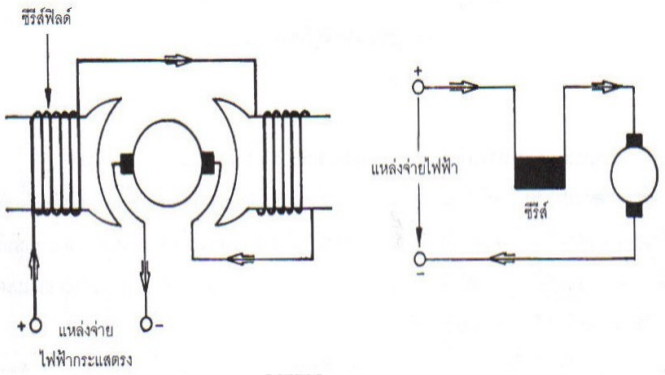
$$T = F \times r \qquad (2.3)$$

เมื่อ T = แรงบิดที่เกิดขึ้นมีหน่วยวัดเป็นนิวตันเมตร (Newton-meter, N-m)

r = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเพลาถึงตัวนำมีหน่วยวัด เป็นเมตร (Meter, m)

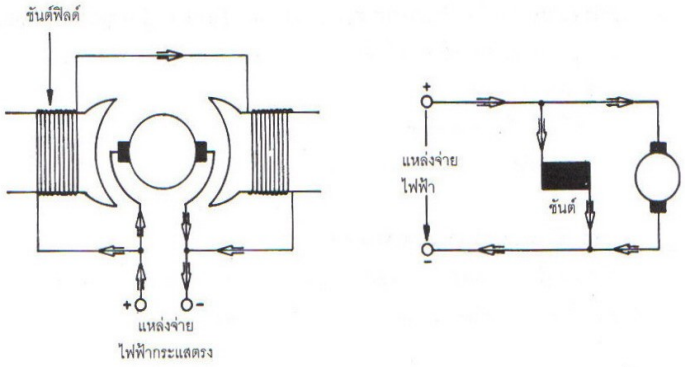
ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Type of direct current motor) แบ่งตามลักษณะของการต่อขดลวดฟิลด์คอยล์ได้ 3 ชนิดคือ ซีรีส์มอเตอร์ (Series motor) ชันต์มอเตอร์ (Shunt motor) และคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound motor)

1) ซีรีส์มอเตอร์ (Series motor) เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กพันไว้ด้วยลวดเส้นใหญ่ เรียกว่าขดซีรีส์ฟิลด์ และต่ออนุกรมเข้ากับอาร์เมเจอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ขดซีรีส์ฟิลด์จะมีความต้านทานต่ำ



รูปที่ 2.15 ซีรีส์มอเตอร์ [9]

2) ชันต์มอเตอร์ (Shunt motor) เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กพันด้วยลวดเส้นเล็ก เรียกว่าขดชันต์ฟิลด์ ขดลวดนี้ต่อขนานอยู่กับอาร์เมเจอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ขดชันต์ฟิลด์จะมีความต้านทานสูง

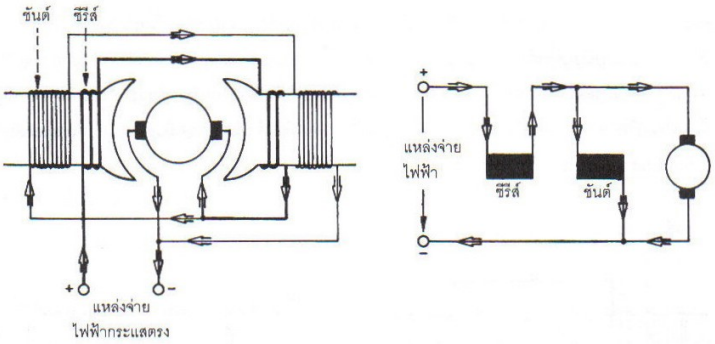


รูปที่ 2.16 ชันต์มอเตอร์ [9]

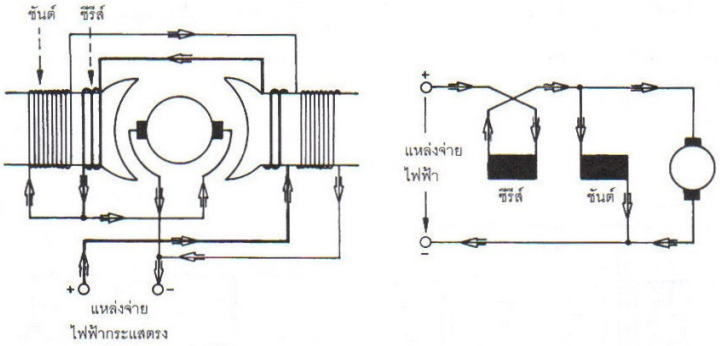
3) คอมปาวด์มอเตอร์ (Compound motor) เป็นตัวมอเตอร์ที่มีขดลวดสนามแม่เหล็ก 2 ชุด พันอยู่บนขั้วแม่เหล็กอันเดียวกัน โดยชุดแรกคือขดชันต์ฟิลด์ซึ่งจะพันไว้ด้านในสุดของขั้วแม่เหล็ก ส่วนชุดที่สองคือขดลวดซีรีฟิลด์จะพันไว้ด้านนอกเป็นลวดเส้นใหญ่และมีจำนวนรอบ

เพียงเล็กน้อย คอมปาวด์มอเตอร์ยังแบ่งตามลักษณะของการต่อขดลวดชันต์ฟิลด์ออกเป็นอีก 2 ชนิด คือ

- ช๊อตชันต์คอมปาวด์มอเตอร์ (Short shunt compound motor) โดยคอมปาวด์มอเตอร์ชนิดนี้จะนำขดลวดชุดชันต์ฟิลด์ต่อคร่อมเข้ากับอาร์เมเจอร์ก่อน แล้วจึงต่ออนุกรมเข้ากับขดซีรีส์ฟิลด์ แล้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 2.17 และถ้าเมื่อต่อแล้วมีผลทำให้กระแสที่ไหลในขดซีรีส์ฟิลด์มีทิศทางไปในทางเดียวกันกับกระแสที่ไหลในขดลวดชันต์ฟิลด์แล้ว เรียกช๊อตชันต์คอมปาวด์มอเตอร์ตัวนี้ว่า ช๊อตชันต์คิวมูเลทีฟคอมปาวด์มอเตอร์ (Short shunt cumulatively compound motor) แต่ถ้าต่อแล้วทำให้กระแสที่ไหลในขดซีรีส์ฟิลด์มีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสที่ไหลในขดชันต์ฟิลด์ เรียกมอเตอร์นี้ว่า ช๊อตชันต์ดิฟเฟอเรนเชียลคอมปาวด์มอเตอร์ (Short shunt differentially compound motor)



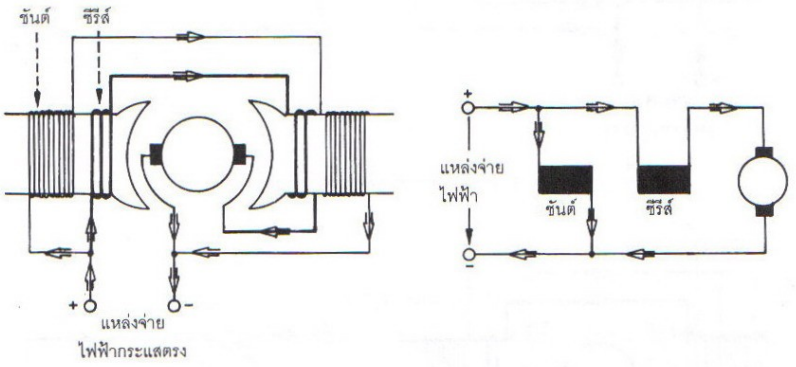
(ก) ช๊อตชันต์คิวมูเลทีฟคอมปาวด์มอเตอร์



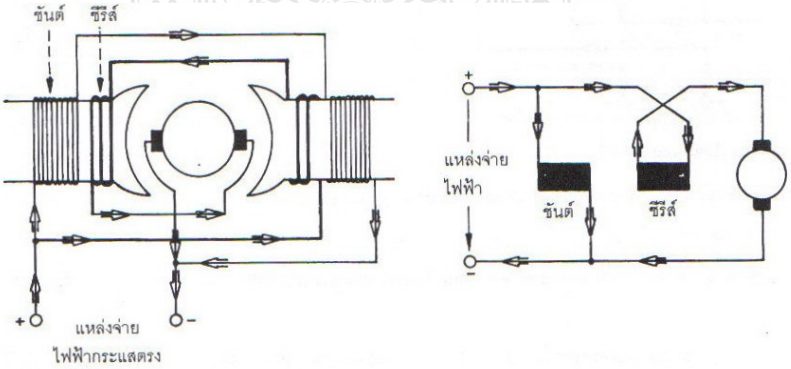
(ข) ช๊อตชันต์ดิฟเฟอเรนเชียลคอมปาวด์มอเตอร์

รูปที่ 2.17 ช๊อตชันต์คอมปาวด์มอเตอร์ [9]

- ลองชันต์คอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt compound motor) ตัวของคอมปาวด์มอเตอร์ชนิดนี้จะนำขดลวดชุดซีรีส์ฟิลด์ต่ออนุกรมเข้ากับอาร์เมเจอร์ก่อน แล้วจึงนำขดชันต์ฟิลด์มาต่อคร่อมเข้าทั้งขดซีรีส์ฟิลด์และอาร์เมเจอร์ แล้วจึงต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 2.18 และถ้าเมื่อต่อแล้วมีผลทำให้กระแสที่ไหลในขดซีรีส์ฟิลด์มีทิศทางไปในทางเดียวกันกับมีกระแสที่ไหลในขดลวดชันต์ฟิลด์แล้ว เรียกการต่อแบบนี้ว่าลองชันต์คิวมูเลทีฟคอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt cumulatively compound motor) แต่ถ้าต่อไว้แล้วทำให้มีกระแสที่ไหลในขดซีรีส์ฟิลด์มีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับกระแสที่ไหลในขดชันต์ฟิลด์ เรียกมอเตอร์นี้ว่า ลองชันต์ดิฟเฟอเรนเชียลคอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt differentially compound motor)



(ก) ลองชันต์คิวมูเลทีฟคอมปาวด์มอเตอร์



(ข) ลองชันต์ดิฟเฟอเรนเชียลคอมปาวด์มอเตอร์

รูปที่ 2.18 ลองชันต์คอมปาวด์มอเตอร์ [9]

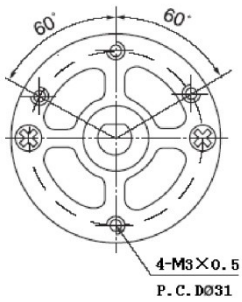
2.3.2 ตัวอย่างมอเตอร์ที่ใช้งาน

มอเตอร์กระแสตรงที่มีการทดรอบการหมุนมอเตอร์ ที่มีการทดรอบภายในจะมีเฟืองเพื่อเพิ่มกำลังให้กับมอเตอร์หรือเพิ่มแรงบิด โดยมอเตอร์กระแสตรงที่นำมาทดรอบ เช่น มอเตอร์เกียร์ เซอร์โวมอเตอร์

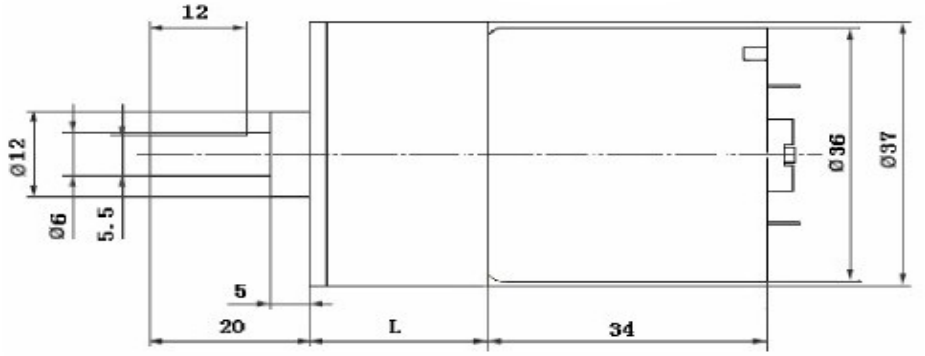
รูปที่ 2.19 มอเตอร์ชนิด ZGA37RG [10]

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของมอเตอร์

Part. number	Voltage	No-load speed	No-load current	Rated speed	Rated current	Rated Torque	Stall Torque
	VDC	PRM	AMP	RPM	AMP	Kg.cm	Kg.cm
ZGA37RG 104	12	48	0.1	36	0.271	3.02	4.53
ZGA37RG 267	12	12	0.1	7	0.271	8.36	12.5



รูปที่ 2.20 ขนาดด้านบนของมอเตอร์ [10]

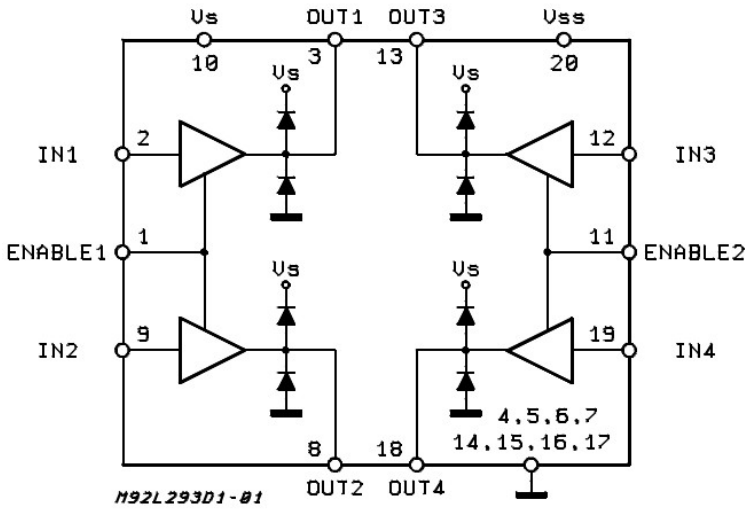


รูปที่ 2.21 ขนาดด้านข้างของมอเตอร์ [10]

2.4 ไอซีขับมอเตอร์ IC L293D

IC L293D (Push-pull four channel driver with diodes) ไอซีที่สำหรับใช้ในการควบคุมมอเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวได้ในตัวเดียว เป็นวงจรรวมชนิด Monolithic แรงดันไฟสูง กระแสไฟสูง ออกแบบมา 4 ช่อง เพื่อตอบรับระดับของลอจิกและการขับโหลดของมาตรฐาน DTL และ TTL (เช่น รีเลย์ โซลินอยด์ มอเตอร์ ดีซี และมอเตอร์ สเตปปิ้ง) สวิตช์พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ อุปกรณ์นี้เหมาะสำหรับใช้ในการประยุกต์สวิตชิ่งที่ความถี่ถึง 5 KHz รายละเอียดของ IC L293D มีดังนี้

1) กระแสไฟฟ้าสามารถออกจากเอาต์พุต 600 mA ต่อช่อง
2) กระแสไฟฟ้าออกจากเอาต์พุต 1.2 A peak ต่อช่อง
3) ป้องกันความร้อนสูง
4) แรงดันอินพุตของลอจิก “0” มีค่าตั้งแต่ 0V ถึง 1.5 V
5) มีไดโอดเชื่อมต่อภายใน

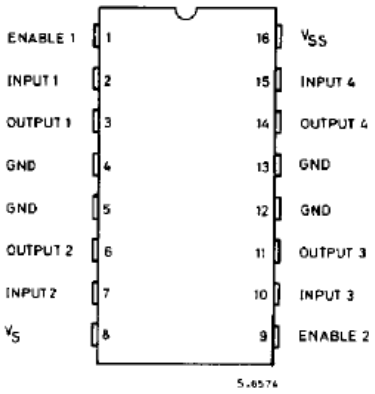


รูปที่ 2.22 วงจรภายใน IC เบอร์ L293D [11]

จากโครงสร้างภายในตัวของ IC L293D จะเห็นได้ว่าจะประกอบด้วยที่วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge จำนวน 2 วงจรซึ่งสามารถใช้ขับ DC มอเตอร์ได้ 2 ตัว โดยเป็นอิสระต่อกันเนื่องจากแต่ละวงจรภายใน IC L293D จะมีอินพุตที่แยกกัน

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของ IC เบอร์ L293D

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_s	Supply Voltage	36	V
V_{ss}	Logic Supply voltage	36	V
V_i	Input voltage	7	V
V_{en}	Enable voltage	7	V
I_o	Peak output current (100 µS non repetitive)	1.2	A
P_{tot}	Total power dissipation at	5	W
$T_{stg,}\ Tj$	Storage and junction temperature	-40 to 150	^oC



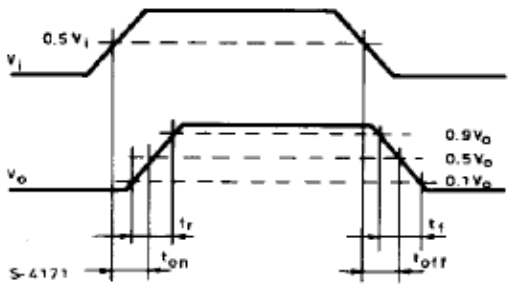
รูปที่ 2.2 ขาต่อของ IC เบอร์ L293D [11]

ตารางที่ 2.3 ตารางความจริงของ IC เบอร์ L293D

INPUT	ENABLE (*)	OUTPUT
H	H	H
L	H	L
H	L	Z
L	L	Z

Z = High output impedance

(*) Relative to the considered channel



รูปที่ 2.24 กราฟคุณลักษณะของ IC เบอร์ L293D [11]

2.5 วิธีแปรงฟันแบบโรทารี่

การวางแปรงสีฟันแบบโรทารี่ วางแปรงสีฟันตามแนวนอนให้แนวของแปรงด้ามแปรงขนานกับแนวการเรียงตัวของฟัน วางขนแปรงให้อยู่บริเวณคอฟันกับขอบเหงือก โดยวางบริเวณละ 2 – 3 ซี่ฟันทางด้านแก้มของฟันล่าง ด้านลิ้นของฟันหลัง และด้านริมฝีปากของฟันหน้า ปลายขนแปรงวางทำมุมประมาณ 45 องศากับแกนฟัน และชี้ไปทางปลายรากฟัน ส่วนทางลิ้นของฟันหน้าและฟันเก ให้วางแปรงสีฟันในแนวยืน แปรงครั้งละ 1 ซี่ โดยปลายขนแปรงอยู่บริเวณคอฟันกับขอบเหงือก ทำมุม 45 องศากับด้านลิ้นของฟัน และปลายขนแปรงชี้ไปทางปลายรากฟัน

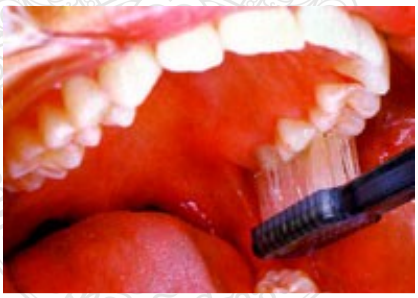
วิธีการแปรงฟัน หลังจากวางปลายขนแปรงถูกต้องแล้ว ให้ออกแรงกดด้วยกล้ามเนื้อเบาๆ จนขอนแปรงงอเล็กน้อย และปลายของขนแปรงสีฟันหนึ่งแถวแทรกเข้าไปในร่องเหงือกและซอกฟันลึกประมาณ 0.5 – 1 มิลลิเมตร แต่ขนแปรงส่วนใหญ่อยู่บริเวณคอฟัน แล้วขยับด้านแปรงสีฟันหมุนมีลักษณะวงกลม ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 เซนติเมตร ประมาณ 20 ครั้ง จึงใช้นิ้วหัวมีมือและนิ้วชี้ปัดแปรงสีฟันตามแนวยืนไปทางด้านบดเคี้ยวในจังหวะสุดท้ายต่อไป วางแปรงบริเวณถัดไป โดยซ้ำบริเวณเดิม 1 ซี่ จนแปรงฟันครบทุกซี่ ส่วนการแปรงฟันด้านบดเคี้ยวของ ฟันบนและฟันล่างให้ถูไป – มา เป็นช่วงสั้นๆ ระยะ 0 – 0.5 เซนติเมตร

รูปที่ 2.25 การแปรงฟันทางด้านแก้มของฟันหลังบน [12]

รูปที่ 2.26 การแปรงฟันทางด้านแก้มของฟันหลังล่าง [12]

รูปที่ 2.27 การแปรงฟันทางด้านเพดานของฟันหลังบน [12]

รูปที่ 2.28 การแปรงฟันทางด้านลิ้นของฟันหลังล่าง [12]



รูปที่ 2.29 การวางแปรงบนด้านบดเคี้ยว [12]

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้าง

3.1 คำนำ

จากทฤษฎีต่างๆ ที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 นำเอาความรู้ที่ได้มาจากทฤษฎีมาใช้งานจริง ซึ่งในบทที่สามนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ 2 ส่วนคือด้านฮาร์ดแวร์และส่วนของซอฟท์แวร์ โดยจะกล่าวถึงลักษณะการทำงานโดยรวมของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น แป้นควบคุม ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรไดร์มอเตอร์ และมอเตอร์ ดังต่อไปนี้

3.2 วิธีการดำเนินการ

วิธีการดำเนินการมีแผนงานวิจัยแบ่งออกเป็นส่วนๆ คือ

3.2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ

1) ทำการออกแบบและเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์

2) ออกแบบและสร้างเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และนำโปรแกรมที่ออกแบบมาประยุกต์ใช้ในเครื่องต้นแบบ

3.2.2 วิเคราะห์และปรับปรุงเครื่องต้นแบบ

1) ทำการวิเคราะห์การทำงานของเครื่องต้นแบบ

2) ปรับปรุงเครื่องต้นแบบ

3.2.3 การนำเครื่องต้นแบบมาประยุกต์ใช้งานจริง

1) นำเครื่องต้นแบบเพื่อทดสอบใช้งานจริงในสภาวะแวดล้อมจริง

2) วิเคราะห์และปรับปรุงเครื่องต้นแบบสำหรับงานจริง

3.2.4 ถ่ายทอดองค์ความรู้

1) นำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยเผยแพร่สู่การประชุมวิชาการ

2) สร้างองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยเพื่อพัฒนานวัตกรรมใหม่ต่อไป

3.2.5 รวบรวมและสรุปผล

1) ทำการสรุปผลงานวิจัย

3.3 แนวความคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยแปรงฟัน

แนวคิดที่ได้คือ เกิดความสงสัยว่า “บุคคลพิการทางแขนแล้วจะแปรงฟันอย่างไร?” ดังนั้นจึงเริ่มมีความคิดที่จะประดิษฐ์อุปกรณ์เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการแปรงฟันขึ้นมา เพราะผู้สร้างผลงานได้เห็นว่าสุขภาพฟันมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตอย่างมาก อุปกรณ์ชิ้นนี้จะช่วยทำให้

บุคคลที่ไม่มีแขนแต่ยังมีเท้าอยู่นั้นได้แปรงฟันสะดวกมากขึ้น (ดีกว่าการใช้เท้าในการแปรงฟัน เพราะต้องใช้เวลาในการฝึกฝนนาน) และยังช่วยแบ่งเบาภาระของผู้ดูแลทำให้มีเวลาว่างในช่วงที่บุคคลพิการกำลังแปรงฟันอยู่

3.3.1 หลักการทำงาน

รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทำงานของเครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขน

อุปกรณ์ชิ้นนี้จะใช้เท้าในการควบคุมโดยเมื่อเปิดปุ่ม “Power” อุปกรณ์ชิ้นนี้จะรอรับคำสั่งจากแป้นควบคุม ที่แป้นควบคุมจะมีปุ่มการทำงานดังนี้คือ

1) “M1” หมายความว่า เลือกการทำงานมอเตอร์ตัวบนสุด (ตัวที่1)

2) “M2” หมายความว่า เลือกการทำงานมอเตอร์ตัวกลาง (ตัวที่2)

3) “M3” หมายความว่า เลือกการทำงานมอเตอร์ตัวล่างสุด (ตัวที่3)

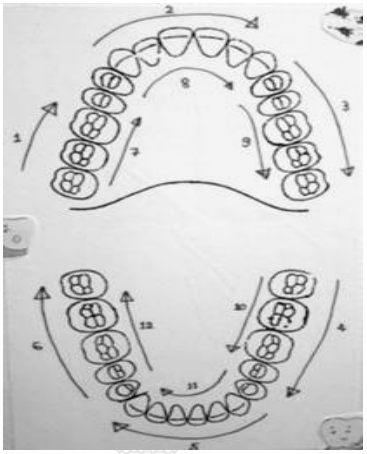
4) “Foot SW ซ้าย” หมายความว่า หมุนมอเตอร์ไปด้านทวนเข็มนาฬิกาอาจจะเป็นซ้าย, ขวา, เข้าหรือออก จะแล้วแต่ว่าเป็นมอเตอร์ตัวไหน

5) “Foot SW ขวา” หมายความว่า หมุนมอเตอร์ไปด้านตรงข้ามกับ “Foot SW ซ้าย”

โดยก่อนอื่นต้องทำให้ตำแหน่งของแปรงตั้งตรงเป็นแนวดิ่งให้ขนแปรงหันเข้าหาผู้ใช้เสียก่อน หลังจากนั้นเหยียบปุ่ม “M2” และ “Foot SW ซ้าย” เพื่อให้แปรงหงายไปด้านหลังให้แปรงพอดีกับหลอดยาสีฟันที่เตรียมไว้ บีบยาสีฟันพอประมาณ จากนั้นเหยียบปุ่ม “Foot SW ขวา” เพื่อให้แปรงกลับมาตั้งในตำแหน่งเดิมและเลือกปุ่มการทำงานตามรายละเอียดข้างต้น เมื่อได้ตำแหน่งของแปรงตามต้องการแล้วกดปุ่ม “แปรงฟัน” ค้างไว้เพื่อเปิดแปรงสีฟันไฟฟ้า เมื่อแปรงฟันเสร็จก็ปล่อยปุ่ม “แปรงฟัน” เพื่อปิดแปรงสีฟันไฟฟ้า ผู้ใช้บ้วนปาก ล้างแปรง และปรับตำแหน่งของแปรงสีฟันให้กลับไปตั้งตรงเหมือนเดิมและกดปุ่ม “Power” เพื่อปิดการทำงานทั้งหมด

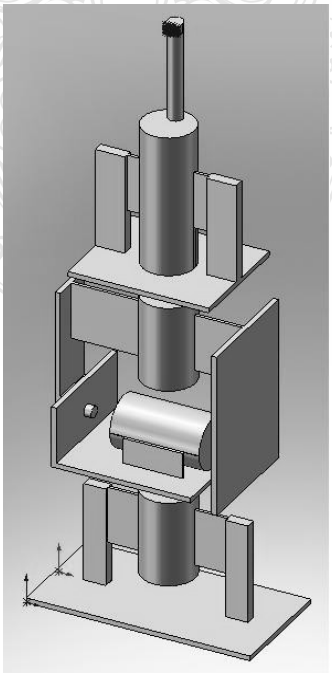
* หมายเหตุ * หากอุปกรณ์มีความผิดพลาดเช่น ทำงานไม่หยุดให้กดปุ่ม “Power” เพื่อตัดกระแส

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงลักษณะของปากและฟัน เพื่อให้แปรงสามารถเข้าถึงความโค้งของฟันทำให้มีสุขภาพในช่องฟันที่ดี

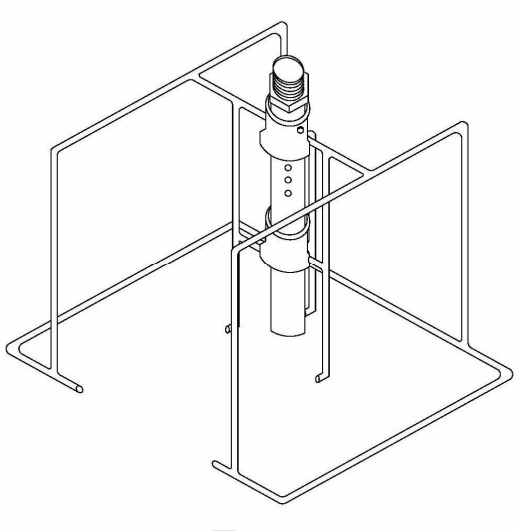


รูปที่ 3.2 ลักษณะฟันในปาก

3.3.2 การออกแบบโครงสร้าง

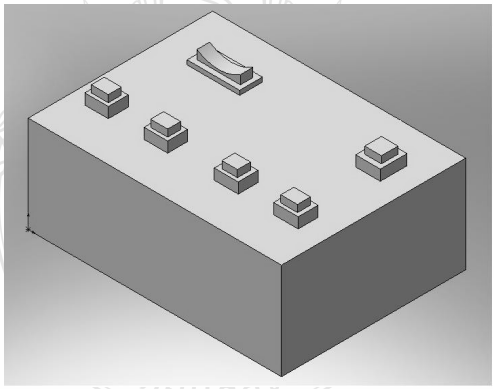


รูปที่ 3.3 การออกแบบโครงสร้างส่วนบน



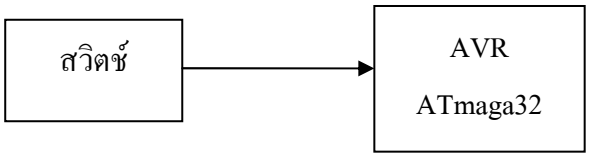
รูปที่ 3.4 การออกแบบโครงสร้างส่วนล่าง

3.3.3 การออกแบบแป้นควบคุม



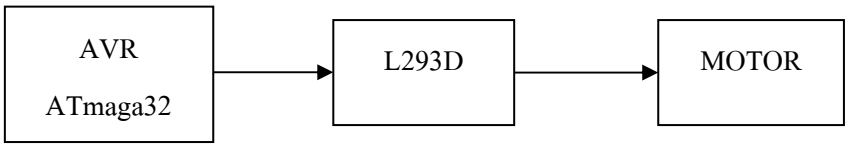
รูปที่ 3.5 การออกแบบโครงสร้างแป้นควบคุม

3.3.4 การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์



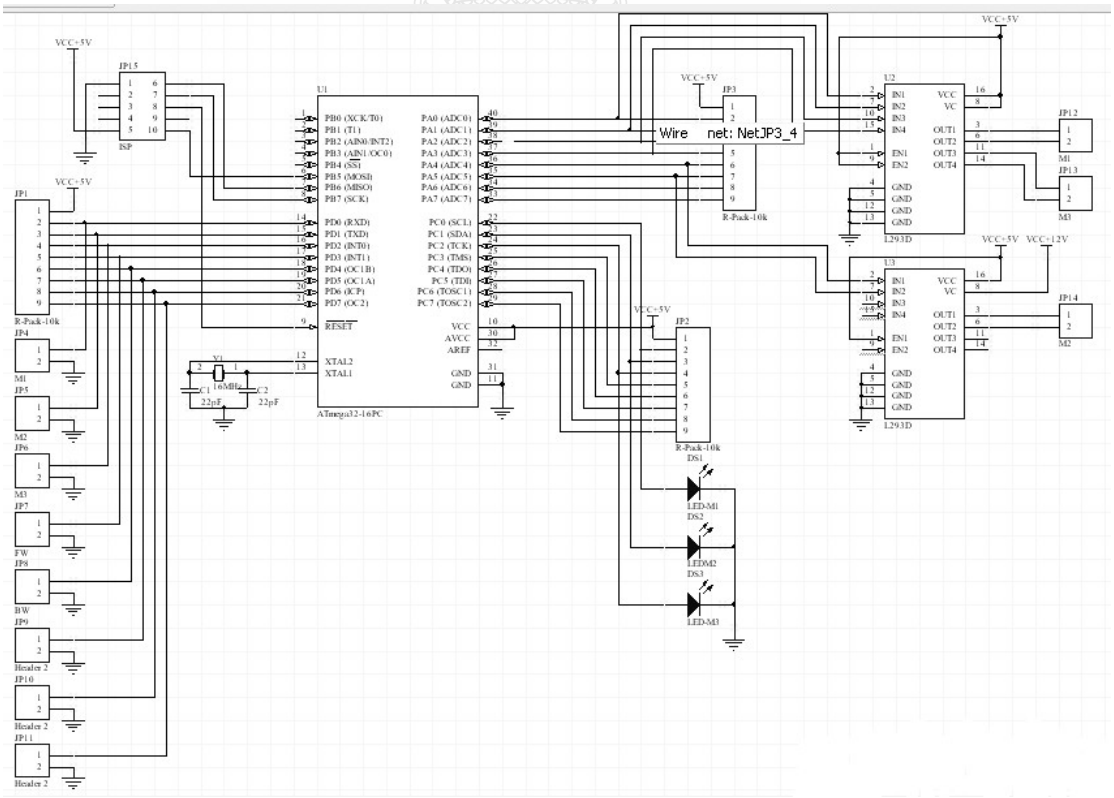
รูปที่ 3.6 ด้านอินพุตของAVR เบอร์ ATmega32

เนื่องจากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องได้รับค่าจากสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลแล้วสั่งการไปให้เอาต์พุตจ่ายค่าตามเงื่อนไขของโปรแกรม



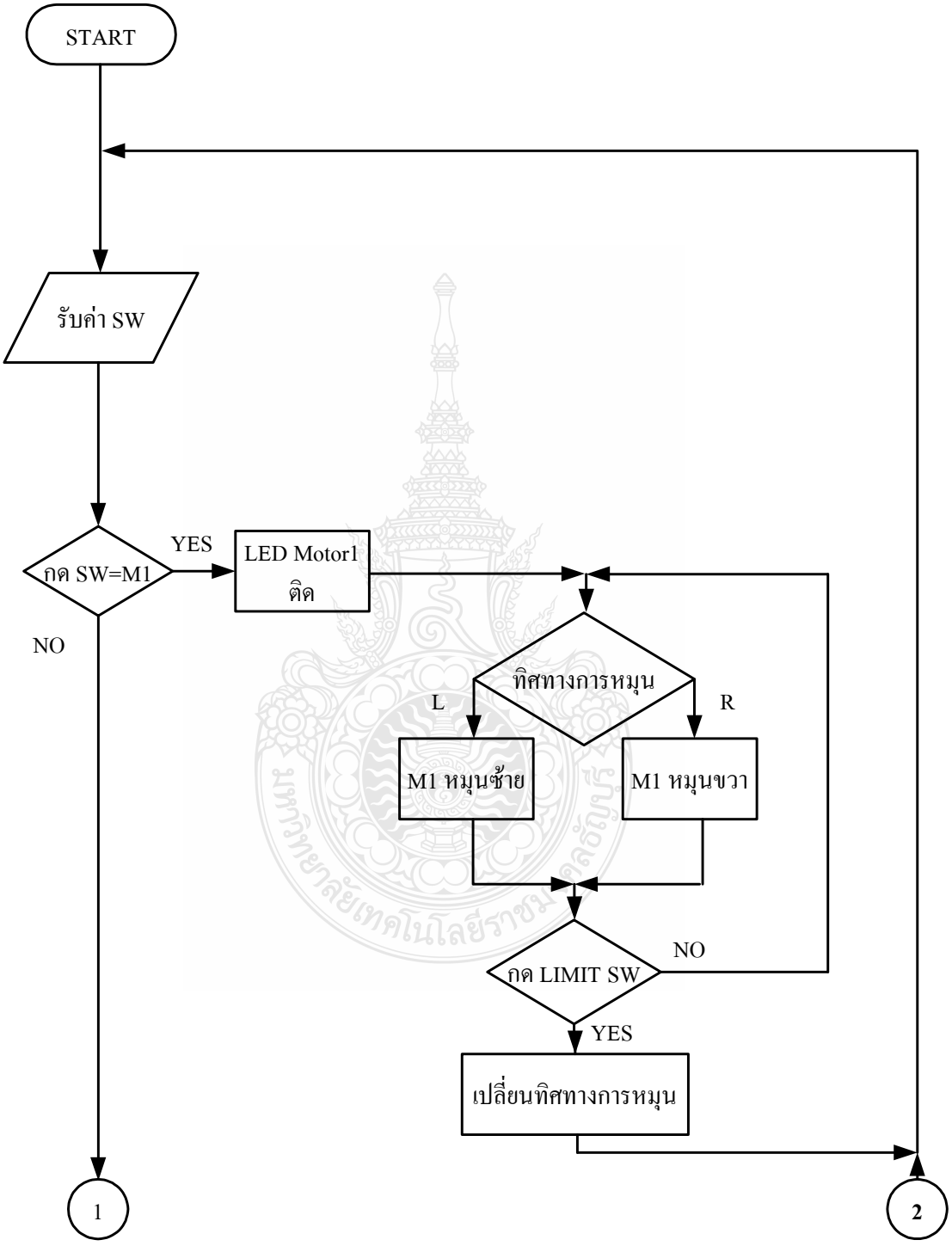
รูปที่ 3.7 ด้านเอาต์พุตของ AVR เบอร์ ATmega32 และการขับมอเตอร์

IC # L293D เป็นวงจร H - Bridge เพื่อเป็นตัวขับมอเตอร์ ซึ่งจะมีบัฟเฟอร์ในตัวเอง จึงต้องรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำค่าที่ได้ไปขับมอเตอร์ อาจจะทางด้าน Forward และ Reveres จะขึ้นอยู่กับคำสั่งที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งมาให้

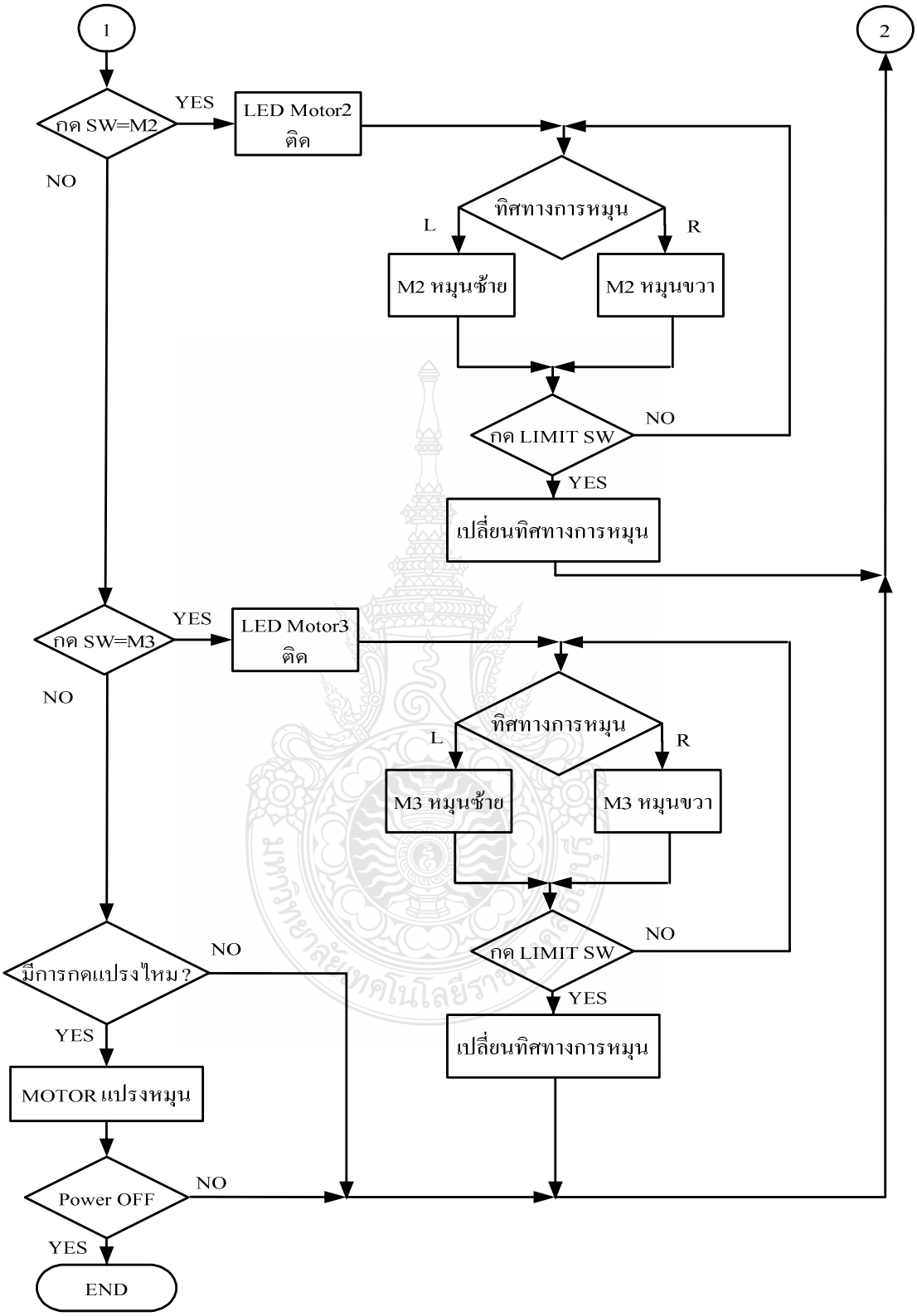


รูปที่ 3.8 วงจรขับมอเตอร์

3.3.5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขน



รูปที่ 3.9 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขน



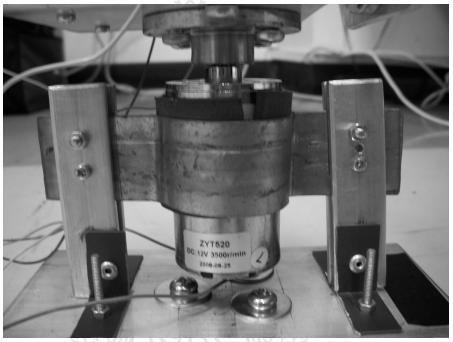
รูปที่ 3.9 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขน (ต่อ)

3.4 ขั้นตอนการสร้าง

3.4.1 การสร้างส่วนบน

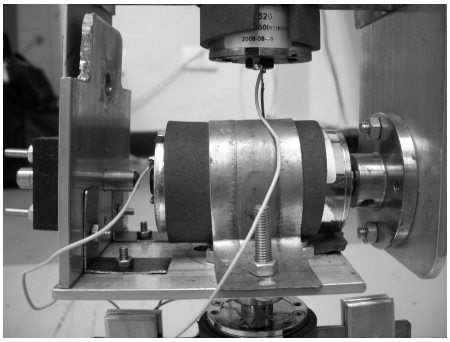
การสร้างส่วนบนซึ่งประกอบด้วย ส่วนของมอเตอร์ 3 ส่วน ส่วนของแปรงสีฟันไฟฟ้า 1 ส่วน ดังนั้นจึงแยกการสร้างออกเป็น 4 ส่วน โดยที่จะสร้างเป็นส่วนล่างสุดเป็นส่วนที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

การสร้างส่วนที่ 1 นั้นจะใช้มอเตอร์ตัวที่ 3 ประกอบกับแผ่นอลูมิเนียมที่เป็นฐานและส่วนที่ยึดมอเตอร์ไว้กับฐาน นำหน้าแป้นมาประกอบกับมอเตอร์เพื่อจะยึดแผ่นอลูมิเนียมของมอเตอร์ตัวที่ 2 ต่อไป นำแผ่นอลูมิเนียมส่วนที่เป็นฐานไปประกอบกับตัวปรับระดับ



รูปที่ 3.10 การสร้างส่วนที่ 1

การสร้างส่วนที่ 2 นั้นใช้มอเตอร์ตัวที่ 2 ประกอบเข้ากับแผ่นอลูมิเนียม นำแผ่นอลูมิเนียมอีกแผ่นเจาะรูตรงกลาง เพื่อจะประกอบส่วนต่อไป ยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียมที่ประกอบกับหน้าแป้นส่วนที่ 1 ในแนวตั้งทางด้านท้ายมอเตอร์ นำหน้าแป้นมาประกอบเข้ากับมอเตอร์เพื่อที่จะยึดแผ่นอลูมิเนียมของมอเตอร์ตัวที่ 1 ต่อไป



รูปที่ 3.11 การสร้างส่วนที่ 2

การสร้างส่วนที่ 3 นั้นนำแบริ่งที่มีแกนเหล็กมาติดกับด้านล่างของแผ่นอลูมิเนียมแล้วประกอบเข้ากับแผ่นอลูมิเนียมที่เจาะรูไว้ในส่วนที่ 2 ยึดด้านบนแผ่นอลูมิเนียมที่มีแบริ่งเข้ากับมอเตอร์ อีกด้านหนึ่งของมอเตอร์มายึดติดกับแผ่นอลูมิเนียมและด้านล่างของแผ่นอลูมิเนียมนั้นยึดติดกับหน้าแปนของมอเตอร์ตัวที่ 2 นำหน้าแป้นมาประกอบกับมอเตอร์เพื่อจะยึดแผ่นอลูมิเนียมของแปรงไฟฟ้าต่อไป

รูปที่ 3.12 การสร้างส่วนที่ 3

การสร้างส่วนที่ 4 นั้นจะใช้แปรงไฟฟ้า ประกอบกับแผ่นอลูมิเนียมที่ประกอบกับหน้าแป้นส่วนที่ 3

รูปที่ 3.13 การสร้างส่วนที่ 4

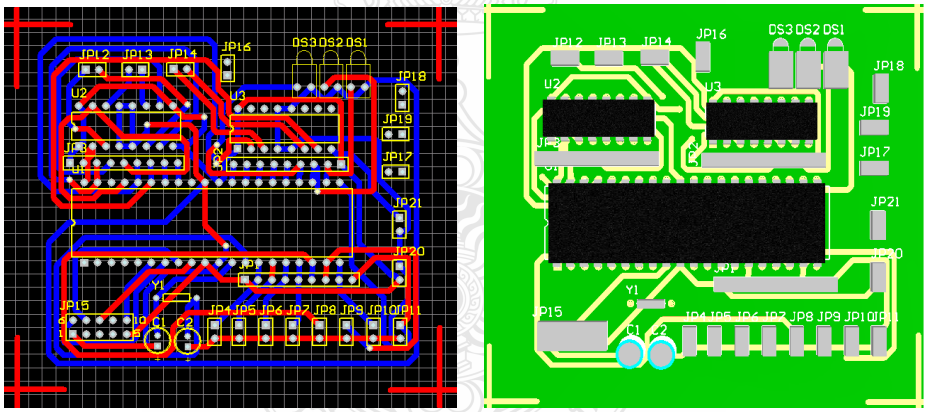
3.4.2 การสร้างส่วนล่าง

การสร้างส่วนล่างนั้นคือ นำท่อพีวีซีมาประกอบให้ได้ 4 ขา แล้วนำไปยึดกับตัวปรับระดับของส่วนบนต่อไป

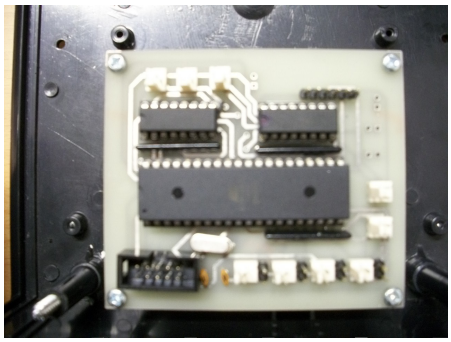
รูปที่ 3.14 การสร้างส่วนล่าง

3.4.3 การสร้างส่วนควบคุม

การสร้างวงจรควบคุม หลังจากที่ได้ออกแบบวงจรแล้ว สามารถนำวงจรที่ออกแบบมาทำเป็นลายวงจรบนแผ่น PCB โดยการใช้โปรแกรม Protel จะได้แผ่น PCB ที่ใช้งานดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผ่น PCB ของวงจรควบคุมจากโปรแกรม Protel



รูปที่ 3.16 แผ่น PCB ของวงจรควบคุม

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คำนำ

ในบทนี้จะเป็นผลการทดลองของโครงงานวิจัยที่ได้ทำการสร้างเสร็จสมบูรณ์ตามขอบเขตแล้ว โดยผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

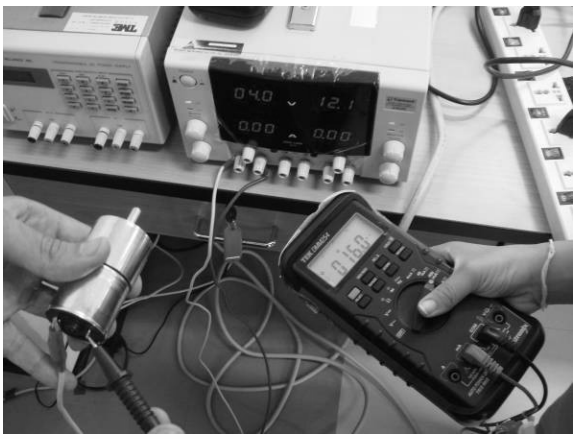
1) การทดสอบมอเตอร์เพื่อหาความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสม
2) การทดสอบการบังคับมอเตอร์ขณะใช้เท้ากดว่ามอเตอร์สามารถหมุนตามที่บังคับหรือไม่
3) การทดสอบเครื่องแปรงฟันว่าสามารถแปรงฟันครบทุกซี่และสะอาดหรือไม่

4.2 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

4.2.1 การทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์

ในการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ จะใช้วิธีการทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 3 ตัว ตั้งแต่ 0 – 12 V และวัดความเร็วของมอเตอร์โดยการใช้เครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์ เพื่อที่จะใช้ในการหาค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังรูปที่ 4.1 ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1 – 4.3

รูปที่ 4.1 การทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่ 4.2 การทดสอบกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบมอเตอร์ตัวที่ 1

ครั้งที่	แรงดัน (V)	กระแส (mA)	ความเร็วรอบ (rpm)
1	0	0	0
2	1	71.3	0
3	2	156.2	0
4	3	32.6	7.9
5	4	33.4	8.8
6	5	34	13.2
7	6	35	15.2
8	7	35.7	17.6
9	8	36.7	21.5
10	9	37.2	27.7
11	10	37.3	29.3
12	11	38.6	30.6
13	12	41	31.1

หมายเหตุ แถบทึบ หมายถึง ค่าที่ใช้ในโครงงาน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบมอเตอร์ตัวที่ 2

ครั้งที่	แรงดัน (V)	กระแส (mA)	ความเร็วรอบ (rpm)
1	0	0	0
2	1	20	0
3	2	47.2	0
4	3	16	1.4
5	4	16.4	2.1
6	5	16.7	2.3
7	6	16.7	2.7
8	7	16.8	3.5
9	8	16.9	4.1
10	9	16.9	4.5
11	10	17	4.8
12	11	17.4	5.5
13	12	17.6	5.7

หมายเหตุ แถบทึบ หมายถึง ค่าที่ใช้ในโครงงาน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบมอเตอร์ตัวที่ 3

ครั้งที่	แรงดัน (V)	กระแส (mA)	ความเร็วรอบ (rpm)
1	0	0	0
2	1	60	0
3	2	118	0
4	3	31	8
5	4	32	8.5
6	5	34	12.3
7	6	35.3	16.1

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบมอเตอร์ตัวที่ 3 (ต่อ)

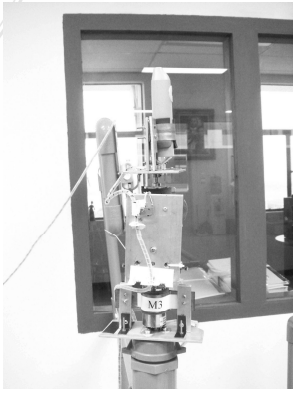
ครั้งที่	แรงดัน (V)	กระแส (mA)	ความเร็วรอบ (rpm)
8	7	36	18.2
9	8	37	22.4
10	9	37.5	25.9
11	10	38	27.8
12	11	39.4	28.1
13	12	40.6	30.7

หมายเหตุ แถบทึบ หมายถึง ค่าที่ใช้ในโครงงาน

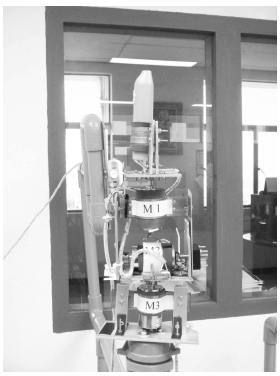
จากตารางที่ 4.1 – 4.3 เป็นการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ เปรียบเทียบกันว่าแรงดันที่ต่างกันมีผลต่อความเร็วของมอเตอร์ จากการทดสอบจะเห็นว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าและความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.2.2 การทดสอบการบังคับมอเตอร์ขณะใช้เท้ากด

ในการทอสอบการบังคับมอเตอร์ขณะใช้เท้ากด จะใช้วิธีการทดสอบโดยทำการบังคับมอเตอร์ด้วยเท้า ตั้งแต่ M1 ถึง M3 และปุ่มซ้าย – ขวา เพื่อทดสอบการบังคับมอเตอร์ว่าสามารถบังคับได้หรือไม่ ดังรูปที่ 4.3 – 4.8 ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4



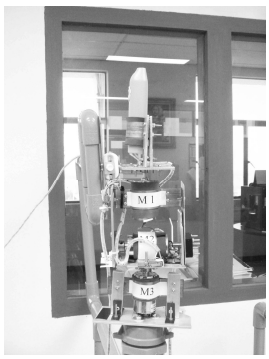
รูปที่ 4.3 การบังคับ M1 หันไปด้านซ้าย



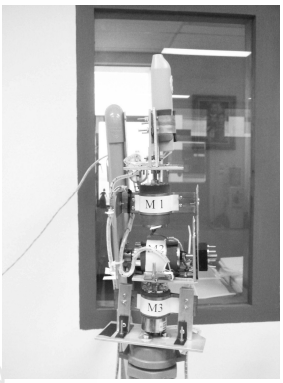
รูปที่ 4.4 การบังคับ M1 หันไปด้านขวา

รูปที่ 4.5 การบังคับ M2 หันไปด้านซ้าย

รูปที่ 4.6 การบังคับ M2 หันไปด้านขวา



รูปที่ 4.7 การบังคับ M3 หันไปด้านซ้าย



รูปที่ 4.8 การบังคับ M3 หันไปด้านขวา

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการบังคับมอเตอร์ขณะใช้เท้ากด

ครั้งที่	บังคับ M1		บังคับ M2		บังคับ M3	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ ✓ หมายถึง มอเตอร์สามารถหมุนได้ตามที่ใช้เท้ากด

จากตารางที่ 4.4 เป็นการทดสอบการบังคับมอเตอร์ขณะใช้เท้ากด จะเห็นว่าเมื่อกด Foot SW ซ้ายของ M1 จะหมุนไปด้านขวา เพราะต้องการให้หมุนแปรงไปด้านขวาเพื่อที่จะแปรงด้านขวา

4.2.3 การทดสอบเครื่องแปรงฟัน

ในการทดสอบเครื่องแปรงฟัน จะใช้วิธีการทดสอบโดยการสุ่มนักศึกษามา 5 คน จากนั้นให้คนที่ 1 แปรงฟันบนและแปรงฟันล่างให้ครบทุกด้านโดยทำการย้อมสีฟันด้วยสารละลายสีย้อมอาหารอิริโทรซิน เพื่อจะใช้ในการตรวจหาคราบจุลินทรีย์ ต่อจากนั้นทำการเปลี่ยนแปรงสีฟันแล้วให้คนที่ 2, 3, 4 และ5 แปรงฟันตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9 – 4.16 ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5

รูปที่ 4.9 การแปรงฟันทางด้านแก้มของฟันหลังบน

รูปที่ 4.10 การแปรงฟันทางด้านแก้มของฟันหลังล่าง

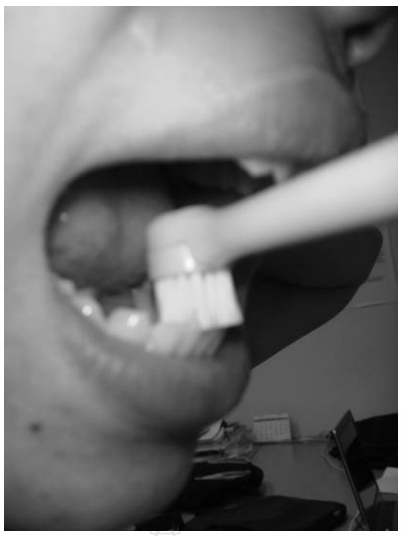
รูปที่ 4.11 การแปรงฟันทางด้านเพดานของฟันหลังบน

รูปที่ 4.12 การแปรงฟันทางด้านลิ้นของฟันหลังล่าง

รูปที่ 4.13 การแปรงฟันบนด้านบดเคี้ยว

รูปที่ 4.14 การแปรงฟันด้านหน้า

รูปที่ 4.15 การแปรงฟันทางด้านเพดานของฟันหน้าบน



รูปที่ 4.16 การแปรงฟันทางด้านลิ้นของฟันหน้าล่าง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขน

คนที่	ฟันบน			ฟันล่าง			ฟันซี่ในสุด	
	ด้านแก้ม	ด้านเพดาน	ด้านบดเคี้ยว	ด้านแก้ม	ด้านลิ้น	ด้านบดเคี้ยว	ด้านบน	ด้านล่าง
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

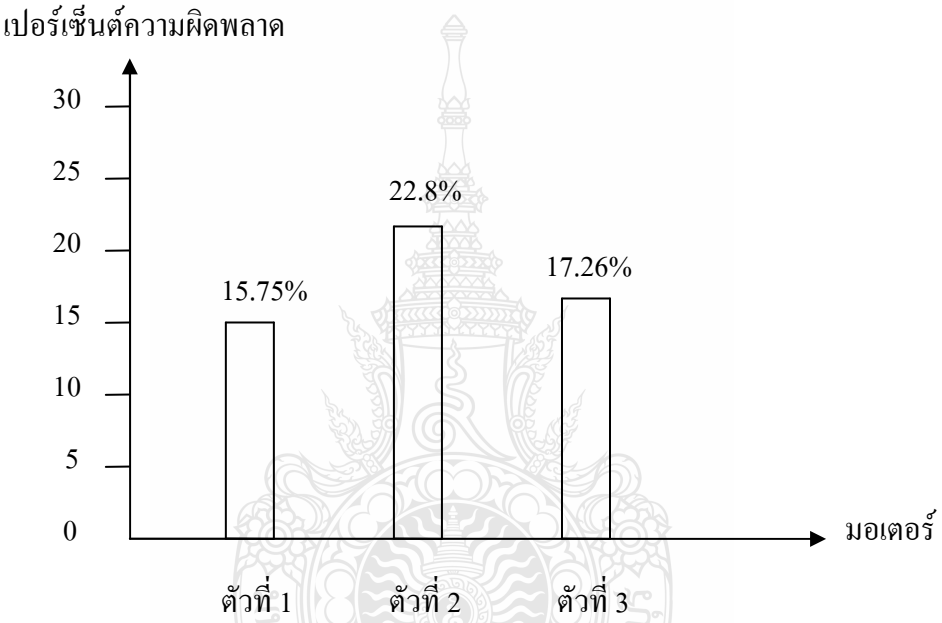
หมายเหตุ ✓ หมายถึง สามารถแปรงได้

✗ หมายถึง ไม่สามารถแปรงได้

จากตารางที่ 4.5 ได้ทดสอบโดยการย้อมสีฟันแล้วทำการแปรงฟันด้วยเครื่องแปรงฟันนั้น จะเห็นว่าเครื่องแปรงฟันสามารถแปรงฟันบนและฟันล่างได้ แต่การแปรงฟันที่ซี่ในสุดยังมีบางบุคคลที่ไม่สามารถแปรงได้

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากตารางผลของการทดสอบในด้านฮาร์ดแวร์จะเห็นได้ว่า แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะมีผลทำให้การหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลง โดยถ้าแรงดันไฟฟ้าสูงมอเตอร์ไฟฟ้าจะหมุนเร็ว แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าต่ำมอเตอร์ไฟฟ้าจะหมุนช้าลง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 12 V ได้จากการทดสอบดังรูปที่ 4.17

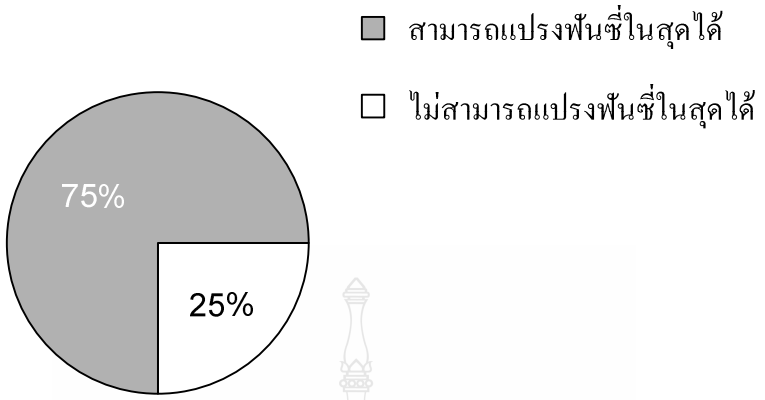


รูปที่ 4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมอเตอร์ที่ได้จาการทดสอบ

สำหรับการเลือกใช้แรงดันไฟฟ้าในโครงงานนี้ได้เลือกใช้แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 1 มีแรงดันไฟฟ้า 5 V, แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 2 มีแรงดันไฟฟ้า 12 V และแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 3 มีแรงดันไฟฟ้า 5 V ในการสร้างเครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขน เพราะมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้แต่ละตัวนั้นมีค่าความเร็วรอบไม่เท่ากัน และความเร็วที่เลือกใช้เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้

การทดสอบการบังคับมอเตอร์ขณะใช้เท้ากด สามารถบังคับมอเตอร์ให้หมุนซ้ายและหมุนขวาได้ตามการบังคับ ในการทดสอบการใช้เครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขนเครื่องนี้ การแปรงฟันที่ซี่ในสุดยังมีบางบุคคลที่ไม่สามารถแปรงได้ เพราะเนื่องมาจากการแปรงฟันซี่ใน

สุดเป็นการแปรงที่ลำบาก ต้องนำแปรงสีฟันเข้าในช่องปากลึกพอสมควรทำให้บุคคลนั้นเกิดอาการอยากอาเจียนขึ้นมา มีเปอร์เซ็นต์ที่จะแปรงซี่ในสุดได้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์ในการแปรงฟันซี่ในสุดที่ได้จากการทดสอบ

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อสรุปและข้อเสนอแนะของโครงการวิจัยการออกแบบและพัฒนาเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการรวมถึงปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทำงานวิจัยและแนวทางในการพัฒนาโครงงานสำหรับบุคคลที่สนใจเพื่อใช้เป็นแนวคิดและนำไปประยุกต์ใช้ต่อไปให้เกิดประโยชน์

5.1 สรุป

เครื่องแปรงฟันสำหรับบุคลพิการทางแขน เป็นการนำเอาอุปกรณ์ต่างๆ นำมาประยุกต์งานใช้งานจริงให้เกิดประโยชน์กับบุคคลพิการทางแขน

5.1.1 ออกแบบและสร้างเครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขน

5.1.2 การนำไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR มาใช้ในการควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.1.3 การนำมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบต่ำ มาใช้ในการปรับตำแน่งของแปรงสีฟัน

5.1.4 บังคับมอเตอร์หมุนซ้ายและหมุนขวาด้วยเท้าได้

5.1.5 แปรงฟันบนและฟันล่างได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการจัดทำเครื่องแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการทางแขน ควรจะมีน้ำสำหรับบ้วนปาก เพื่อความสะดวกมากขึ้น

5.2.2 ควรปรับปรุงโครงสร้างส่วนฐานให้มีความแข็งแรงและกะทัดรัดมากกว่านี้

5.2.3 ควรปรับปรุงส่วนของการปรับระดับความสูงให้เป็นระบบอัตโนมัติ

เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.rs.mahidol.ac.th/thai/ict/disable-type.html

[2] จักรี ศรีนนท์ฉัตร, "การใช้เสียงพูดควบคุมการกดหมายเลขโทรศัพท์สำหรับบุคคลพิการ" สำนักงานวิจัยแห่งชาติ 2549

[3] J. Lazzaro, "Helping the Web help the disabled" ,, IEEE spectrum, 1999, p. 54-59.

[4] Takano, Junichi; Aomura, Shigeru; **"**Muscle reflection human computer model in wheelchairs traveling in motor vehicles," 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2008, p. 567 – 572

[5] N.C. Lee and D. Keating "Controllers for use by disabled people," Journal of computing and control, 1994, p.121-124.

[6] W. Silas and N. Hung, "Human computer interaction using hand gesture," 2008, p.2357 - 2360

[7] ประจิน พลังสันติกุล. 2548. **การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยภาษา C กับ win AVR (C Compiler)**.กรุงเทพฯ : บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด.

[8] Somchai Sinprasert, Nave nammonte. 2552. **Microcontrollers AVR**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.geocities.com/ssilp41/avr.html. (21 มกราคม 2552)

[9] ไชยชาญ หินเกิด. 2547. **เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง (DIRECT CURRENT MACHINES)**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

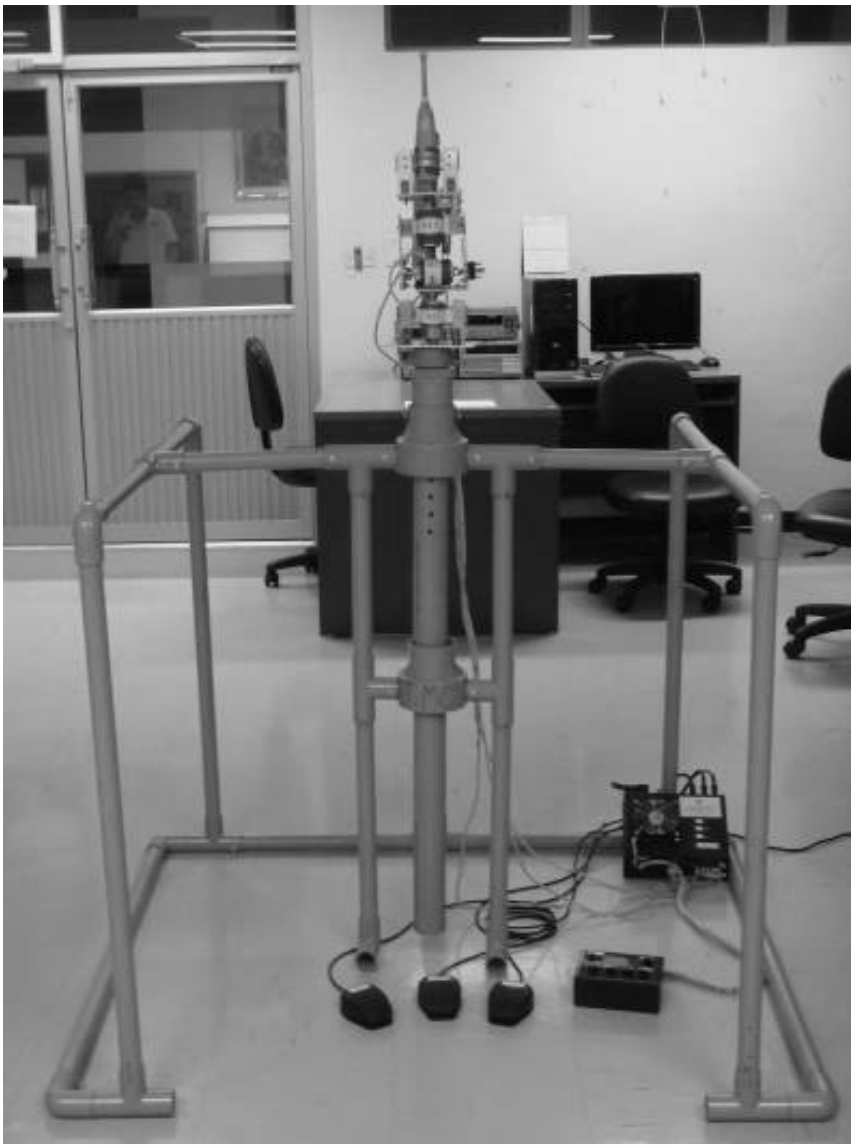
[10] Zhengk. 2552. **DC gear motor (ZGA37RG104, 267)**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.zhengke.cn/index.asp. (21 มกราคม 2552)

[11] STMicroelectronics. 2546. **PUSH - PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES (L293D)**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1330.htm. (21 มกราคม 2552)

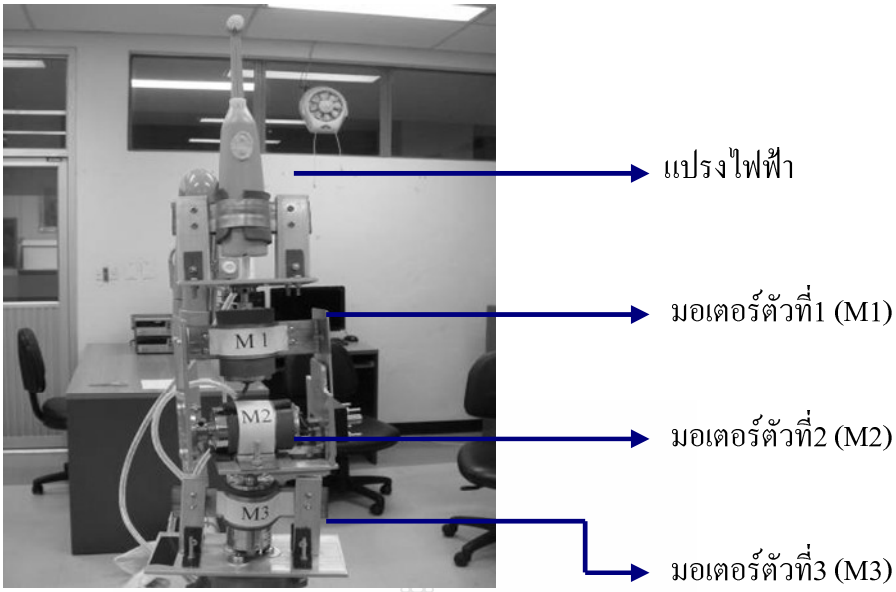
[12] ชนินทร์ เตชะประเสริฐวิทยา. 2544. **โรคปริทันต์และกระบวนการรักษา**. กรุงเทพฯ : บริษัท เยียร์บุ๊คพับลิชเชอร์ จำกัด.

ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้งานเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ

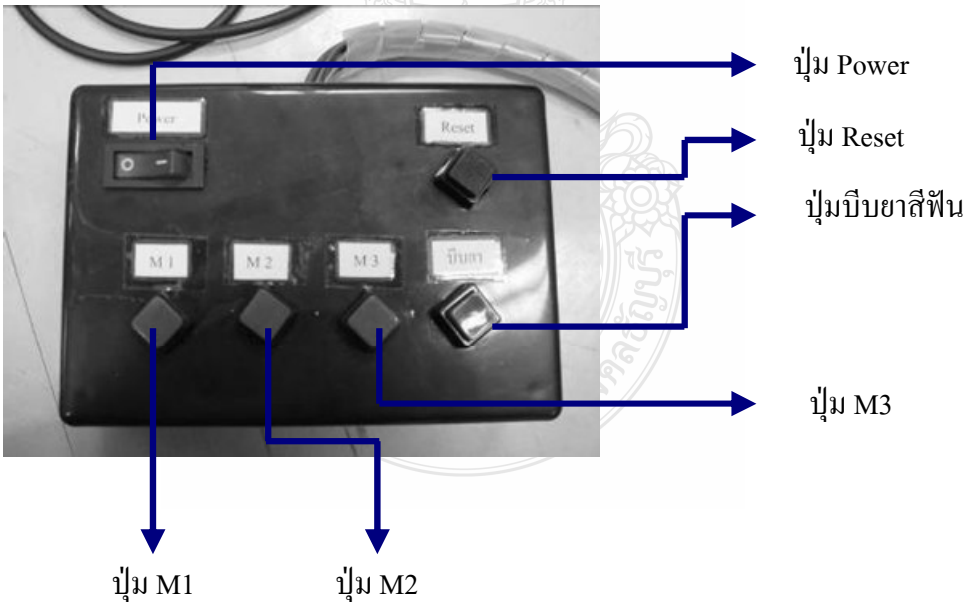
คู่มือการใช้งาน



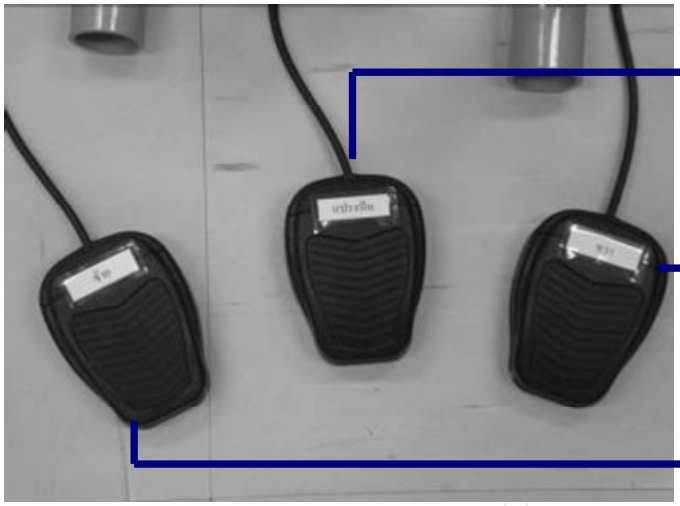
รูป ก.1. เครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ



รูป ก.2. ส่วนประกอบของเครื่องช่วยแปรงฟันสำหรับบุคคลพิการ

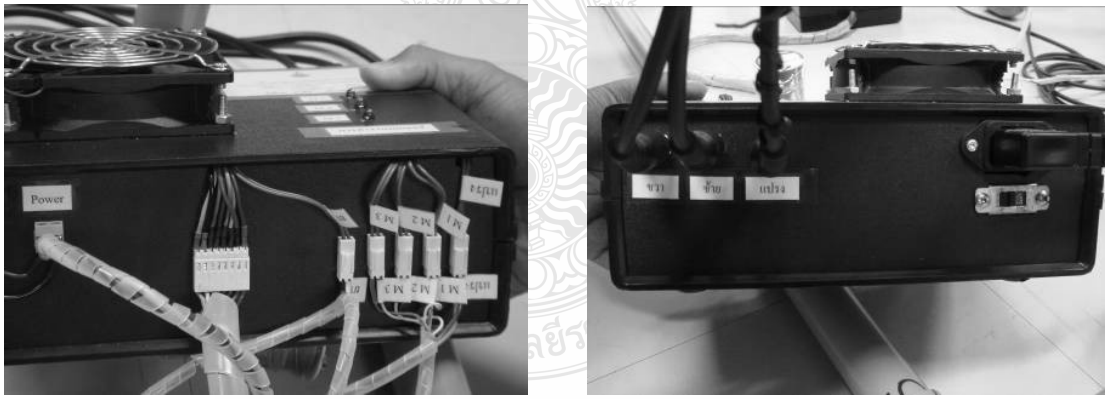


รูป ก.3. กล่องควบคุมการทำงาน



รูป ก.4. สวิตช์คอนโทรล

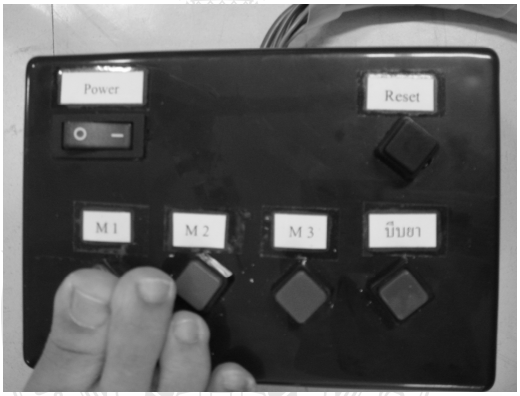
เริ่มการทำงาน



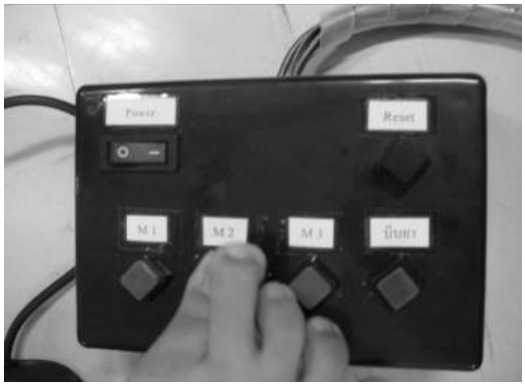
รูป ก.5. การเสียบสายต่างๆ ตามป้ายเข้ากับกล่องแสดงผลการทำงาน

รูป ก.6. การเปิดปุ่ม “Power” ดูสถานะ การทำงานของมอเตอร์จากหลอด LED หากยังไม่มีการเลือก LED จะติดหมด

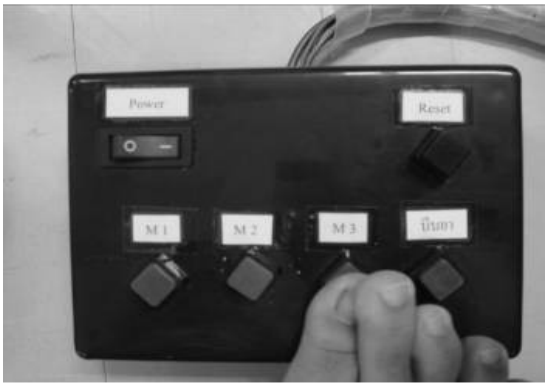
การเลือกการทำงานของมอเตอร์



รูป ก.7. การเหยียบปุ่ม “M1” (LED 1 ติด) เพื่อเลือกการทำงานมอเตอร์ตัวที่1

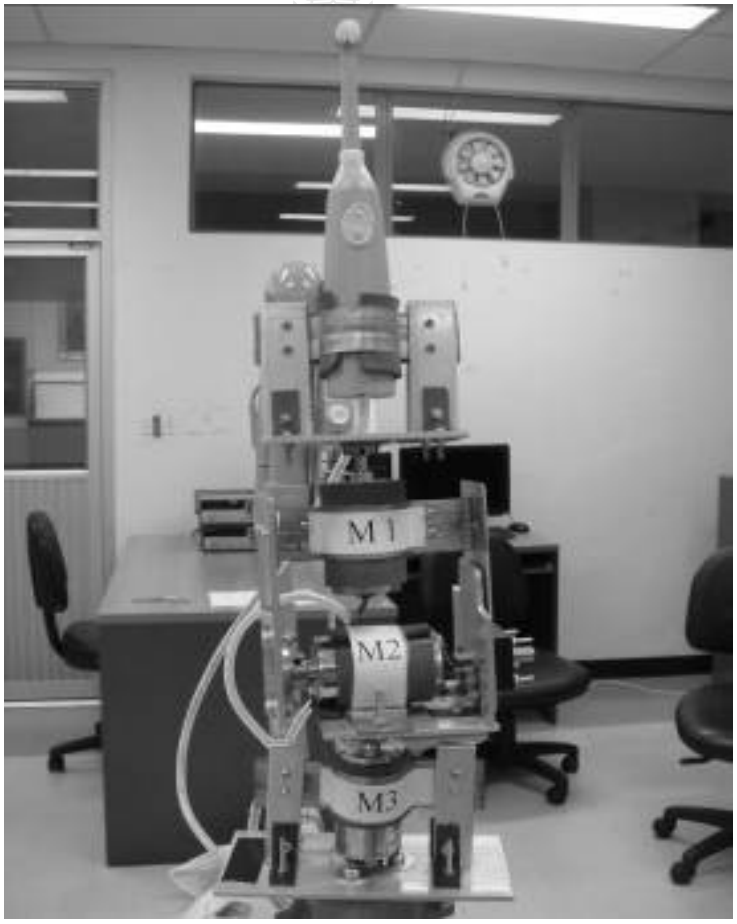


รูป ก.8. การเหยียบปุ่ม “M2” (LED 2 ติด) เพื่อเลือกการทำงานมอเตอร์ตัวที่2



รูป ก.9. การเหยียบปุ่ม “M3” (LED 3 ติด) เพื่อเลือกการทำงานมอเตอร์ตัวที่3

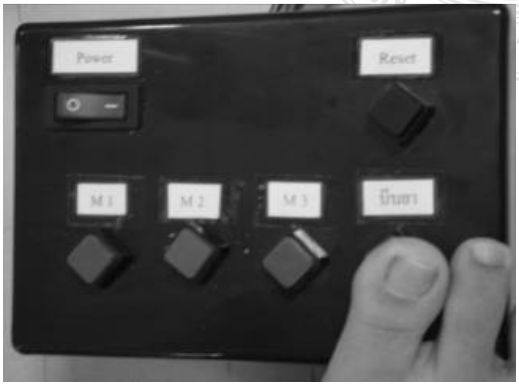
การใส่ยาสีฟัน



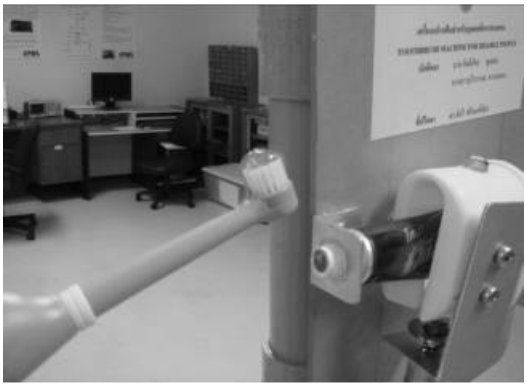
รูป ก.10. การจัดลักษณะแปรงและมอเตอร์ให้ตั้งตรง โดยสังเกตสายไฟให้อยู่ด้านหลังเสมอ

รูป ก.11. การเหยียบปุ่ม “M2” (LED 2 ติด) เพื่อเลือกการทำงานมอเตอร์ตัวที่2

รูป ก.12. การเหยียบปุ่ม“Foot SW ขวา” เพื่อให้แปรงหงายไปด้านหลังให้แปรงพอดี กับหลอดยาสีฟันที่เตรียมไว้



รูป ก.13. เหยียบปุ่ม“บีบยา” บีบยาสีฟันพอประมาณ

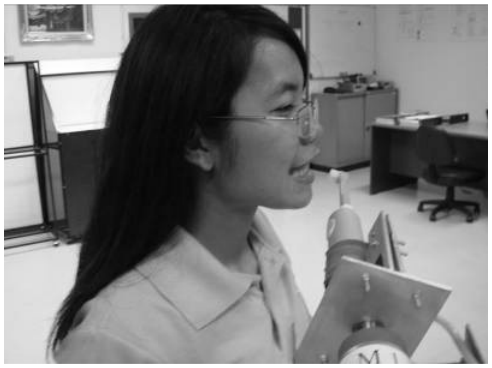


รูป ก.14. เหยียบปุ่ม “Foot SW ซ้าย” เพื่องัดแปรงขึ้น

การแปรงฟัน

รูป ก.15. เลือกปุ่ม“M1”และเหยียบปุ่ม “Foot SW ขวา” เพื่อแปรงสีฟันด้านขวา

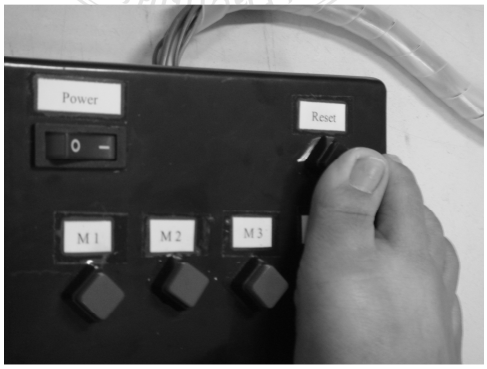
รูป ก.16. เหยียบปุ่ม “Foot SW แปรงฟัน” เพื่อเปิดการทำงานของแปรงสีฟัน



รูป ก.17. เหยียบปุ่ม “Foot SW ซ้าย” เพื่อแปรงสีฟันด้านซ้าย

เลิกการแปรงฟัน

รูป ก.18. ทำการจัดตำแหน่งมอเตอร์และแปรงให้หันหน้าและตั้งตรงดังเดิมเลือกปุ่ม “Power” เป็นการจบการทำงาน



รูป ก.19. กดปุ่ม Reset เพื่อกลับสู่สถานะเริ่มต้นของการเลือกการทำงานของมอเตอร์ ในกรณีที่มอเตอร์ไม่หยุดการทำงาน

ภาคผนวก ข

Data Sheets

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
- Nonvolatile Program and Data Memories
  - 32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
    Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    In-System Programming by On-chip Boot Program
    True Read-While-Write Operation
  - 1024 Bytes EEPROM
    Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
  - 2K Byte Internal SRAM
  - 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 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

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

ATmega32
ATmega32L

Preliminary

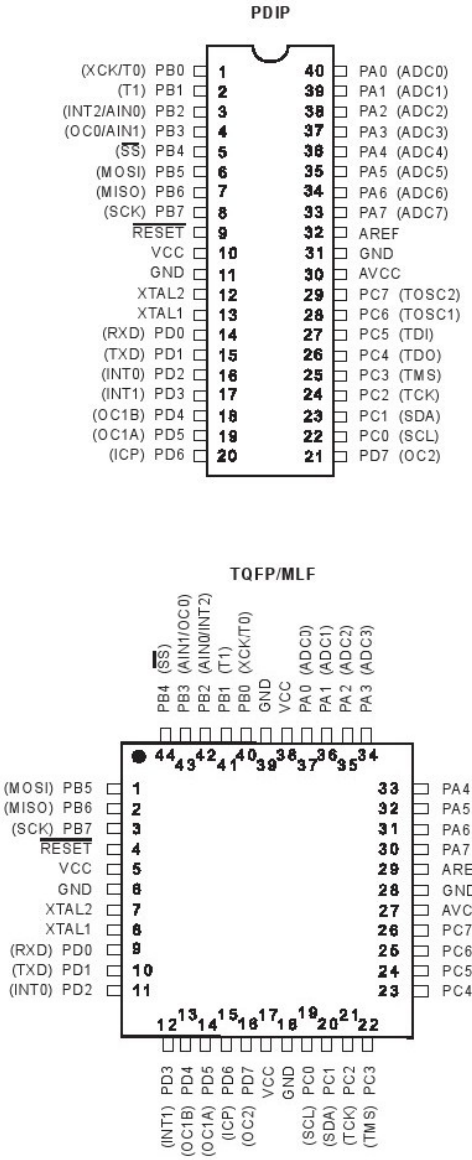
Summary

Rev. 2503BS–AVR–10/02

Note: This is a summary document. A complete document is available on our web site at *www.atmel.com*.

Pin Configurations

Figure 1. Pinouts ATmega32



Disclaimer

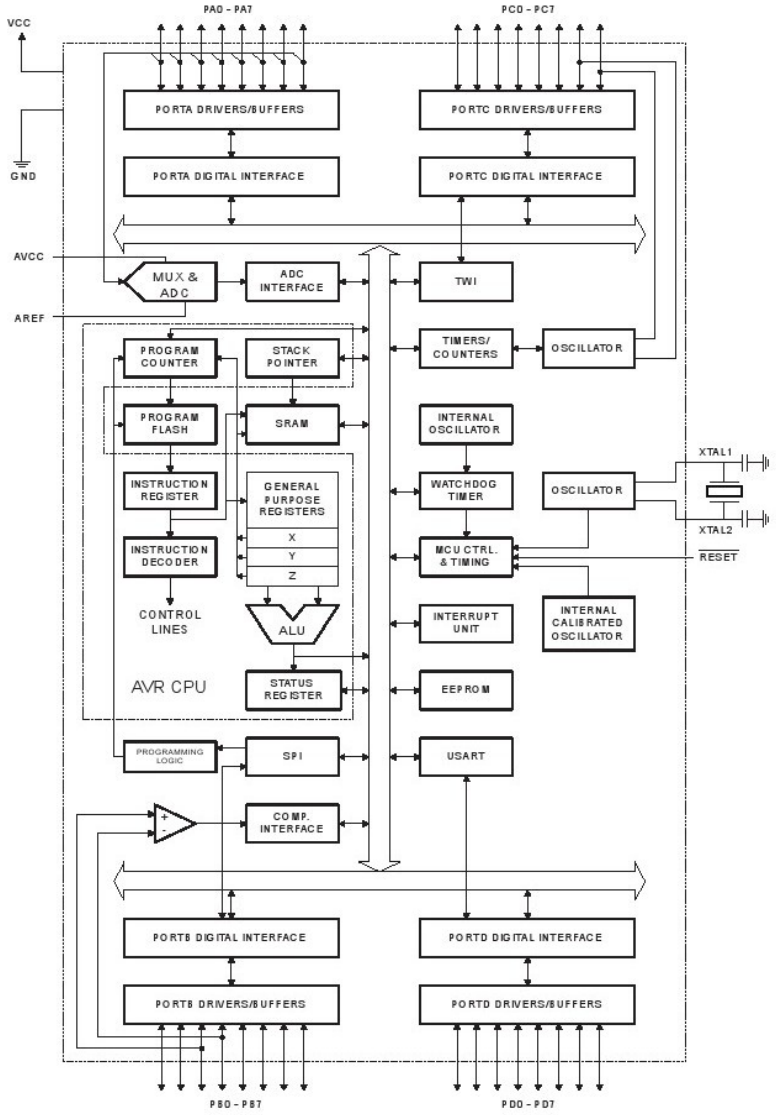
Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

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)

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.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega32 as listed on page 55.

Port C (PC7..PC0)

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.

The TD0 pin is tri-stated unless TAP states that shift out data are entered.

Port C also serves the functions of the JTAG interface and other special features of the ATmega32 as listed on page 58.

Port D (PD7..PD0)

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.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega32 as listed on page 60.

$\overline{\text{RESET}}$

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 35. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

XTAL1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

AVCC

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.

AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

About Code Examples

This documentation contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. Be aware that not all C Compiler vendors include bit definitions in the header files and interrupt handling in C is compiler dependent. Please confirm with the C Compiler documentation for more details.

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	8
$3E ($5E)	SPH	–	–	–	–	SP11	SP10	SP9	SP8	10
$3D ($5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	10
$3C ($5C)	OCR0	Timer/Counter0 Output Compare Register								80
$3B ($5B)	GICR	INT1	INT0	INT2	–	–	–	IVSEL	IVCE	45, 65
$3A ($5A)	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	–	–	–	–	–	66
$39 ($59)	TIMSK	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0	80, 110, 127
$38 ($58)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	81, 111, 128
$37 ($57)	SPMCR	SPMIE	RWWSB	–	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	246
$36 ($56)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE	175
$35 ($55)	MCUCR	SE	SM2	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	30, 64
$34 ($54)	MCUCSR	JTD	ISC2	–	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	38, 65, 226
$33 ($53)	TCCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	78
$32 ($52)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bits)								80
$31[1] ($51)[1]	OSCCAL	Oscillator Calibration Register								28
	OCDR	On-Chip Debug Register								222
$30 ($50)	SFIOR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	–	ACME	PUD	PSR2	PSR10	54,83,129,196,216
$2F ($4F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	105
$2E ($4E)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	108
$2D ($4D)	TCNT1H	Timer/Counter1 – Counter Register High Byte								109
$2C ($4C)	TCNT1L	Timer/Counter1 – Counter Register Low Byte								109
$2B ($4B)	OCR1AH	Timer/Counter1 – Output Compare Register A High Byte								109
$2A ($4A)	OCR1AL	Timer/Counter1 – Output Compare Register A Low Byte								109
$29 ($49)	OCR1BH	Timer/Counter1 – Output Compare Register B High Byte								109
$28 ($48)	OCR1BL	Timer/Counter1 – Output Compare Register B Low Byte								109
$27 ($47)	ICR1H	Timer/Counter1 – Input Capture Register High Byte								110
$26 ($46)	ICR1L	Timer/Counter1 – Input Capture Register Low Byte								110
$25 ($45)	TCCR2	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	122
$24 ($44)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bits)								124
$23 ($43)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register								125
$22 ($42)	ASSR	–	–	–	–	AS2	TCN2UB	OCR2UB	TCR2UB	125
$21 ($41)	WDTCR	–	–	–	WDTOE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	40
$20[2] ($40)[2]	UBRRH	URSEL	–	–	–	UBRR[11:8]				162
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	160
$1F ($3F)	EEARH	–	–	–	–	–	–	–	EEAR8	17
$1E ($3E)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte								17
$1D ($3D)	EEDR	EEPROM Data Register								17
$1C ($3C)	EECR	–	–	–	–	EERIE	EEMWE	EEWE	EERE	17
$1B ($3B)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	62
$1A ($3A)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	62
$19 ($39)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	62
$18 ($38)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	62
$17 ($37)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	62
$16 ($36)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	63
$15 ($35)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	63
$14 ($34)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	63
$13 ($33)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	63
$12 ($32)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	63
$11 ($31)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	63
$10 ($30)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	63
$0F ($2F)	SPDR	SPI Data Register								136
$0E ($2E)	SPSR	SPIF	WCOL	–	–	–	–	–	SPI2X	136
$0D ($2D)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	134
$0C ($2C)	UDR	USART I/O Data Register								157
$0B ($2B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	158
$0A ($2A)	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	159
$09 ($29)	UBRRL	USART Baud Rate Register Low Byte								162
$08 ($28)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	197
$07 ($27)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	212
$06 ($26)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	214
$05 ($25)	ADCH	ADC Data Register High Byte								215
$04 ($24)	ADCL	ADC Data Register Low Byte								215
$03 ($23)	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register								177
$02 ($22)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	177

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	–	TWPS1	TWPS0	176
$00 ($20)	TWBR	Two-wire Serial Interface Bit Rate Register								175

Notes:
1. When the OCDEN Fuse is unprogrammed, the OSCCAL Register is always accessed on this address. Refer to the debugger specific documentation for details on how to use the OCDR 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 ← Rd + Rr	Z,C,N,V,H	1
ADC	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	Rd ← Rd + Rr + C	Z,C,N,V,H	1
ADIW	Rdl,K	Add Immediate to Word	Rdh:Rdl ← Rdh:Rdl + K	Z,C,N,V,S	2
SUB	Rd, Rr	Subtract two Registers	Rd ← Rd - Rr	Z,C,N,V,H	1
SUBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	Rd ← Rd - K	Z,C,N,V,H	1
SBC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	Rd ← Rd - Rr - C	Z,C,N,V,H	1
SBCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg.	Rd ← Rd - K - C	Z,C,N,V,H	1
SBIW	Rdl,K	Subtract Immediate from Word	Rdh:Rdl ← Rdh:Rdl - K	Z,C,N,V,S	2
AND	Rd, Rr	Logical AND Registers	Rd ← Rd • Rr	Z,N,V	1
ANDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	Rd ← Rd • K	Z,N,V	1
OR	Rd, Rr	Logical OR Registers	Rd ← Rd v Rr	Z,N,V	1
ORI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	Rd ← Rd v K	Z,N,V	1
EOR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	Rd ← Rd □ Rr	Z,N,V	1
COM	Rd	One's Complement	Rd ← $FF − Rd	Z,C,N,V	1
NEG	Rd	Two's Complement	Rd ← $00 − Rd	Z,C,N,V,H	1
SBR	Rd,K	Set Bit(s) in Register	Rd ← Rd v K	Z,N,V	1
CBR	Rd,K	Clear Bit(s) in Register	Rd ← Rd • ($FF - K)	Z,N,V	1
INC	Rd	Increment	Rd ← Rd + 1	Z,N,V	1
DEC	Rd	Decrement	Rd ← Rd − 1	Z,N,V	1
TST	Rd	Test for Zero or Minus	Rd ← Rd • Rd	Z,N,V	1
CLR	Rd	Clear Register	Rd ← Rd □ Rd	Z,N,V	1
SER	Rd	Set Register	Rd ← $FF	None	1
MUL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	R1:R0 ← Rd x Rr	Z,C	2
MULS	Rd, Rr	Multiply Signed	R1:R0 ← Rd x Rr	Z,C	2
MULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	R1:R0 ← Rd x Rr	Z,C	2
FMUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	R1:R0 ← (Rd x Rr) << 1	Z,C	2
FMULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	R1:R0 ← (Rd x Rr) << 1	Z,C	2
FMULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	R1:R0 ← (Rd x Rr) << 1	Z,C	2
BRANCH INSTRUCTIONS					
RJMP	k	Relative Jump	PC ← PC + k + 1	None	2
IJMP		Indirect Jump to (Z)	PC ← Z	None	2
JMP	k	Direct Jump	PC ← k	None	3
RCALL	k	Relative Subroutine Call	PC ← PC + k + 1	None	3
ICALL		Indirect Call to (Z)	PC ← Z	None	3
CALL	k	Direct Subroutine Call	PC ← k	None	4
RET		Subroutine Return	PC ← STACK	None	4
RETI		Interrupt Return	PC ← STACK	I	4
CPSE	Rd,Rr	Compare, Skip if Equal	if (Rd = Rr) PC ← 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 ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
SBRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if (Rr(b)=1) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
SBIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if (P(b)=0) PC ← 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 ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
BRBS	s, k	Branch if Status Flag Set	if (SREG(s) = 1) then PC←PC+k + 1	None	1 / 2
BRBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if (SREG(s) = 0) then PC←PC+k + 1	None	1 / 2
BREQ	k	Branch if Equal	if (Z = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRNE	k	Branch if Not Equal	if (Z = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRCS	k	Branch if Carry Set	if (C = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRCC	k	Branch if Carry Cleared	if (C = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRSH	k	Branch if Same or Higher	if (C = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRLO	k	Branch if Lower	if (C = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRMI	k	Branch if Minus	if (N = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRPL	k	Branch if Plus	if (N = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if (N □ V= 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if (N □ V= 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if (H = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if (H = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRTS	k	Branch if T Flag Set	if (T = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRTC	k	Branch if T Flag Cleared	if (T = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if (V= 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if (V= 0) then PC ← 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
SPM		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

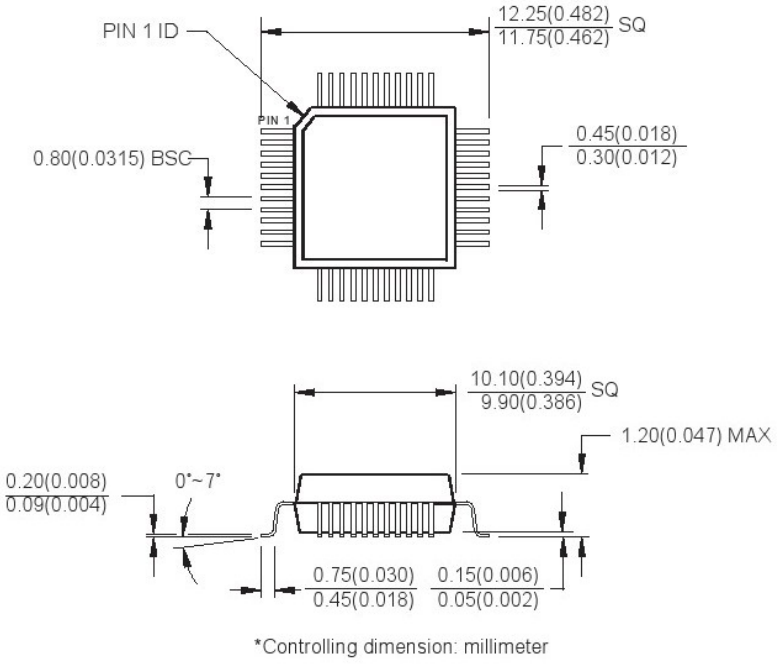
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
8	2.7 - 5.5V	ATmega32L-8AC ATmega32L-8PC ATmega32L-8MC	44A 40P6 44M1	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega32L-8AI ATmega32L-8PI ATmega32L-8MI	44A 40P6 44M1	Industrial (-40°C to 85°C)
16	4.5 - 5.5V	ATmega32-16AC ATmega32-16PC ATmega32-16MI	44A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

Package Type	
44A	44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing 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 body, lead pitch 0.50 mm, Micro Lead Frame Package (MLF)

Packaging Information

44A

44-lead, Thin (1.0mm) Plastic Quad Flat Package
(TQFP), 10x10mm body, 2.0mm footprint, 0.8mm pitch.
Dimension in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-026 ACB

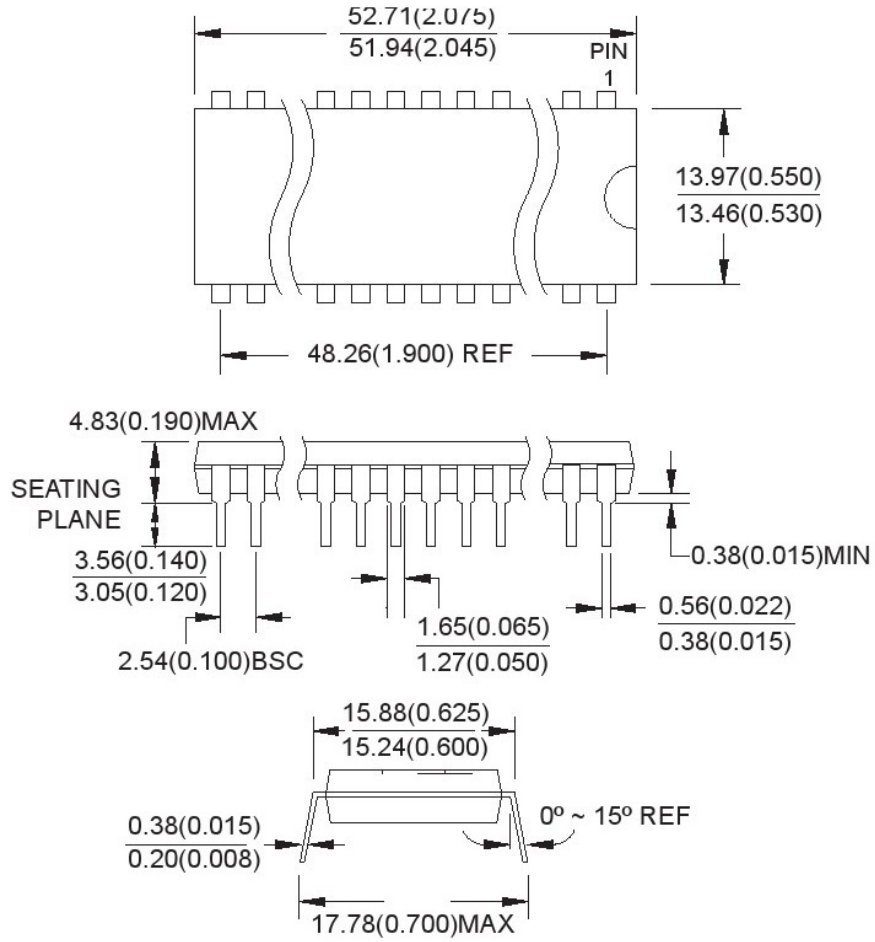


*Controlling dimension: millimeter

REV. A 04/11/2001

40P6

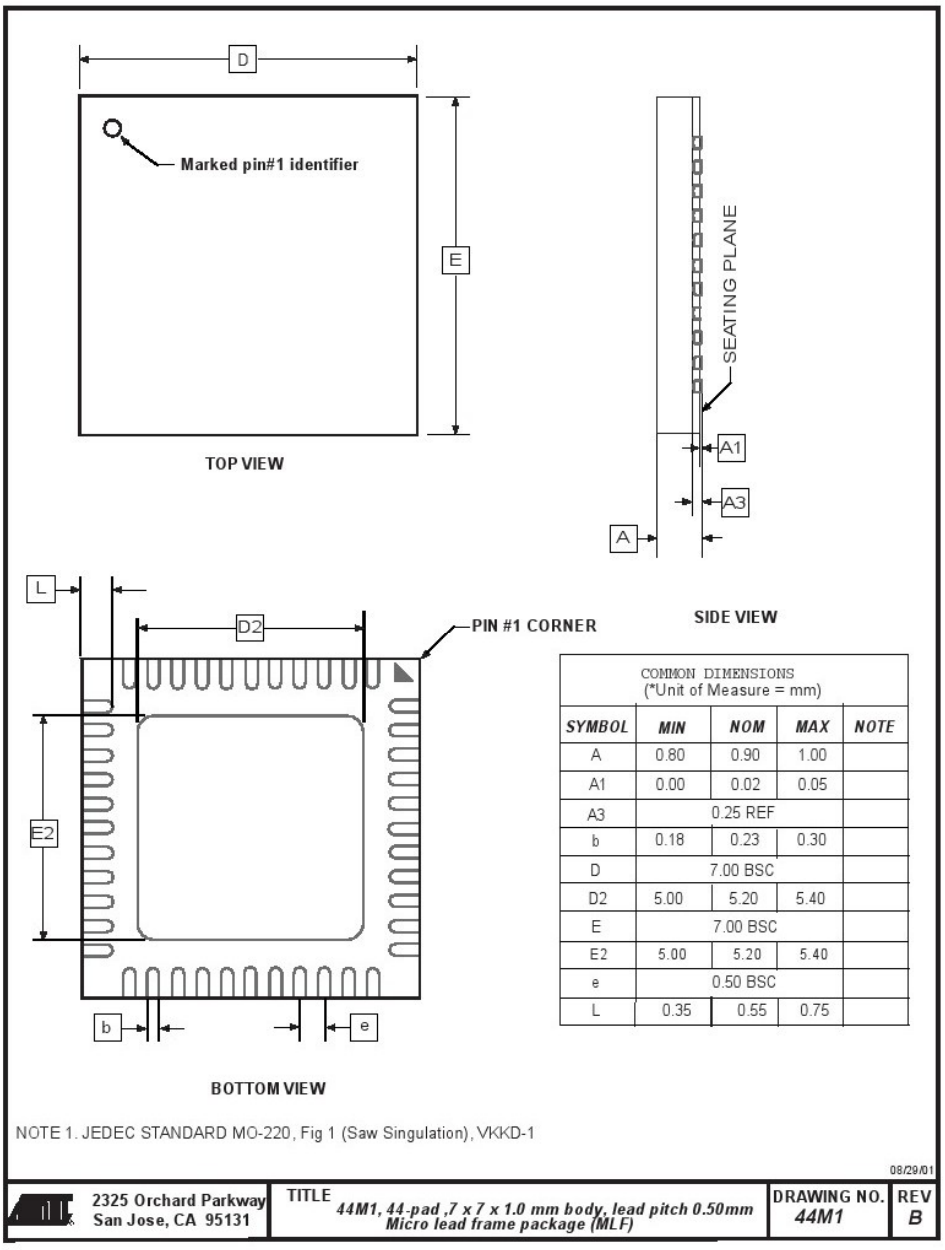
40-lead, Plastic Dual Inline
Package (PDIP), 0.600" wide
Dimension in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-011 AC



*Controlling dimension: Inches

REV. A 04/11/2001

44M1



COMMON DIMENSIONS (*Unit of Measure = mm)				
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	0.80	0.90	1.00	
A1	0.00	0.02	0.05	
A3		0.25 REF		
b	0.18	0.23	0.30	
D		7.00 BSC		
D2	5.00	5.20	5.40	
E		7.00 BSC		
E2	5.00	5.20	5.40	
e		0.50 BSC		
L	0.35	0.55	0.75	

NOTE 1. JEDEC STANDARD MO-220, Fig 1 (Saw Singulation), VKKD-1

08/29/01

2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	TITLE: 44M1, 44-pad ,7 x 7 x 1.0 mm body, lead pitch 0.50mm Micro lead frame package (MLF)	DRAWING NO.: 44M1	REV: B

Errata

ATmega32 Rev. A There are no errata for this revision of ATmega32.

Data Sheet Change Log for ATmega32

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

1. **Canged 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 23.**
4. **When using External Clock there are some limitations regards to change of frequency. This is described in "External Clock" on page 29 and Table 118 on page 286.**
5. **Added a sub section regarding OCD-system and power consumption in the section "Minimizing Power Consumption" on page 32.**
6. **Corrected typo (WGM-bit setting) for:**
   - **"Fast PWM Mode" on page 73 (Timer/Counter0)**
   - **"Phase Correct PWM Mode" on page 74 (Timer/Counter0)**
   - **"Fast PWM Mode" on page 118 (Timer/Counter2)**
   - **"Phase Correct PWM Mode" on page 119 (Timer/Counter2)**
7. **Corrected Table 67 on page 162 (USART).**
8. **Updated V_{IL}, I_{IL}, and I_{IH} parameter in "DC Characteristics" on page 284.**
9. **Updated Description of OSCCAL Calibration Byte.**
   In the data sheet, 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 28 and "Calibration Byte" on page 256.
10. **Corrected typo in Table 42.**
11. **Corrected description in Table 45 and Table 46.**
12. **Updated Table 119, Table 121, and Table 122.**
13. **Added "Errata" on page 15.**

Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 487-2600

Europe
Atmel Sarl
Route des Arsenaux 41
Case Postale 80
CH-1705 Fribourg
Switzerland
TEL (41) 26-426-5555
FAX (41) 26-426-5500

Asia
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

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

Atmel Operations

Memory
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

Microcontrollers
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3, France
TEL (33) 2-40-18-18-18
FAX (33) 2-40-18-19-60

ASIC/ASSP/Smart Cards
Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex, France
TEL (33) 4-42-53-60-00
FAX (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park
Maxwell Building
East Kilbride G75 0QR, Scotland
TEL (44) 1355-803-000
FAX (44) 1355-242-743

RF/Automotive
Theresienstrasse 2
Postfach 3535
74025 Heilbronn, Germany
TEL (49) 71-31-67-0
FAX (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Biometrics/Imaging/Hi-Rel MPU/
High Speed Converters/RF Datacom
Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex, France
TEL (33) 4-76-58-30-00
FAX (33) 4-76-58-34-80

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
http://www.atmel.com

© Atmel Corporation 2002.
Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

ATMEL®, AVR®, and AVR Studio® are the registered trademarks of Atmel.

Other terms and product names may be the trademarks of others.

Printed on recycled paper.

2503BS–AVR–10/02 0M

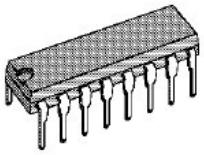
SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

L293D

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES

PRELIMINARY DATA

- 600mA. OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (NON REPETITIVE) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5v (HIGH NOISE IMMUNITY
- INTERNAL CLAMPS DIODES



Powerdip 12+2+2

ORDERING NUMBER : L293D

DESCRIPTION

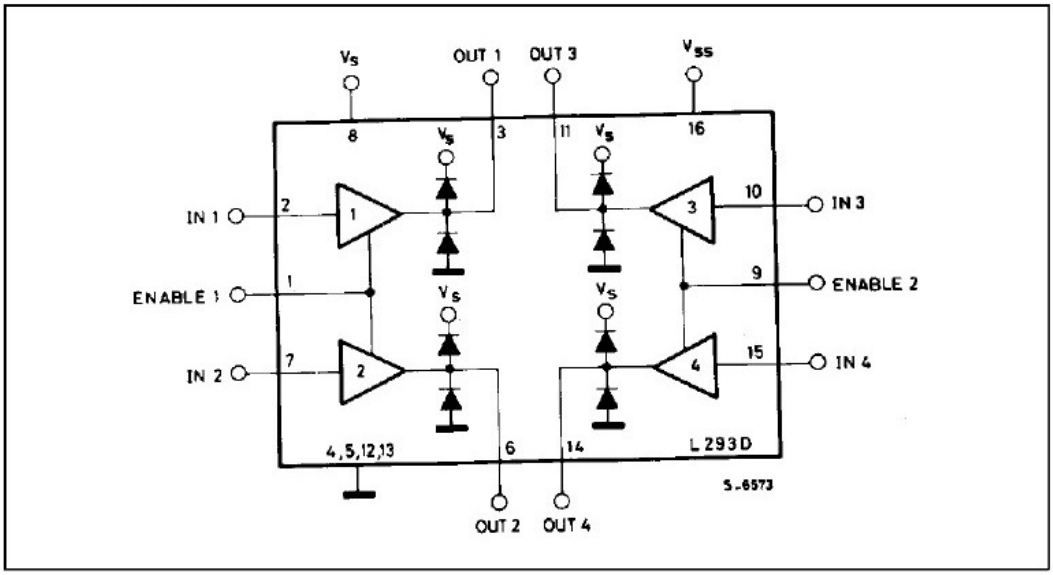
The L293D is a monolithic integrated high voltage, high current four channel vriver designed to accept standard DTL or TTL logic levels and drive inductive loads (such as relays solenoides, DC and stepping motors) and switching power transistors.

To simplify use as two bridges is pair of channels is equiped with an enable input. A separate supply innput is provited formthe logic, allowing operation at a low voltage and internal clamp diodes are included.

This device is suitable for use in switching applications at frequencies up to 5 KHz.

The L293D is assembled in a 16 lead plastic packege which has 4 center pins connected together and used for heatsinking.

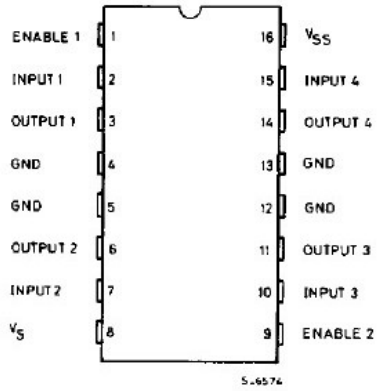
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Supply Voltage	36	V
V_{SS}	Logic Supply voltage	36	V
V_i	Input voltage	7	V
V_{en}	Enable voltage	7	V
I_o	Peak output current (100µs non repetitive)	1.2	A
P_{tot}	Total power dissipation at $T_{ground\text{-}pins}$ = 80°C	5	W
T_{stg}, Tj	Storage and junction temperature	-40 to 150	°C

CONNECTION DIAGRAM



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		Value	Unit
Rth-j-case	Thermal resistance junction-case	max	14	°C/W
Rth j-case	Thermal resistance junction-ambient	max	80	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (For each channel, V_s = 24V, V_{ss} = 5V, T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_s	Supply voltage		V_{ss}		36	V
V_{ss}	Logic supply voltage (pin 16)		4.5		36	V
I_s	Total quiescent supply current (pin 8)	V_i = L I_o = 0 V_{en} = H		2	6	mA
		V_i = H I_o = 0 V_{en} = H		16	24	
		V_{en} = L			4	
I_{ss}	Total quiescent logic supply current (pin 16)	V_i = L I_o = 0 V_{en} = H		44	60	mA
		V_i = H I_o = 0 V_{en} = H		16	22	
		V_{en} = L		16	24	
V_{IL}	Input low voltage (pin 2, 7, 10, 15)		-0.3		1.5	V
V_{IH}	Input high voltage (pin 2, 7, 10, 15)	$V_{ss} \leq 7V$	2.3		V_{ss}	V
		V_{ss} > 7V	2.3		7	
I_{IL}	Low voltage input current (pin 2, 7, 10, 15)	V_{IL} = 1.5V			-10	µA
I_{IH}	High voltage input current (pin 2, 7, 10, 15)	$2.3 \leq V_{IH} \leq V_{ss}$ -0.6V		30	100	µA
V_{enL}	Enable low voltage (pin 1, 9)		-0.3		1.5	V
V_{enH}	Enable high voltage (pin 1, 9)	$V_{ss} \leq 7V$	2.3		V_{ss}	V
		V_{ss} 7V	2.3		7	
I_{enL}	Low voltage enable current (pin 1, 9)	V_{enL} = 1.5V		-30	-100	µA
i_{enH}	High voltage enable current (pin 1, 9)	$2.3V \leq V_{enH} \leq V_{ss}$ -0.6V			± 10	µA
V_{CEsatH}	Source output saturation voltage (pin 3, 6, 11, 14)	I_o = -0.6A		1.4	1.8	V
V_{CEsatL}	Sink output saturation voltage (pins 3, 6, 11, 14)	I_o +0.6A			1.2	1.8
V_F	Clamp diode forward voltage	I_o = 600 mA		1.3		V
t_r	Rise time (*)	0.1 to 0.9 V_o		250		ns
t_f	Fall time (*)	0.9 to 0.1 V_o		250		ns
t_{on}	Turn-on delay (*)	0.5 V_i to 0.5 V_o		750		ns
t_{off}	Turn-off delay (*)	0.5 V_i to 0.5 V_o		200		ns

(*) See fig.1

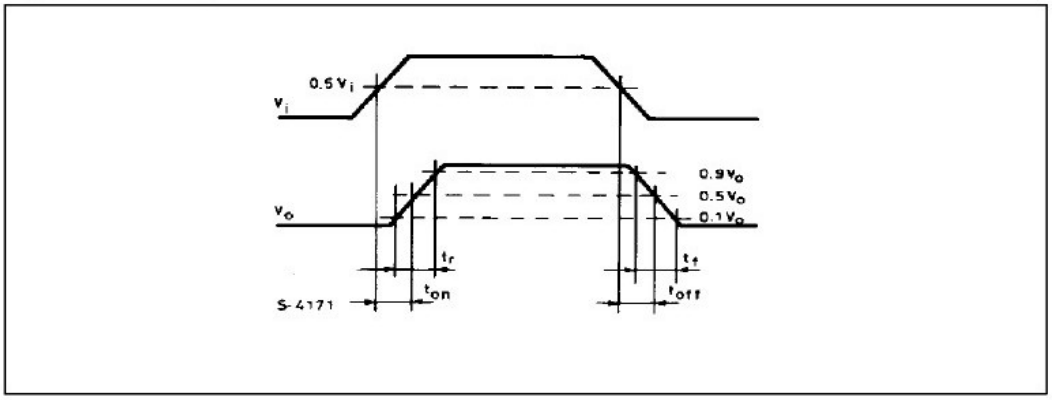
TRUTH TABLE (One channel)

INPUT	ENABLE (*)	OUTPUT
H	H	H
L	H	L
H	L	Z
L	L	Z

Z = High output impedance

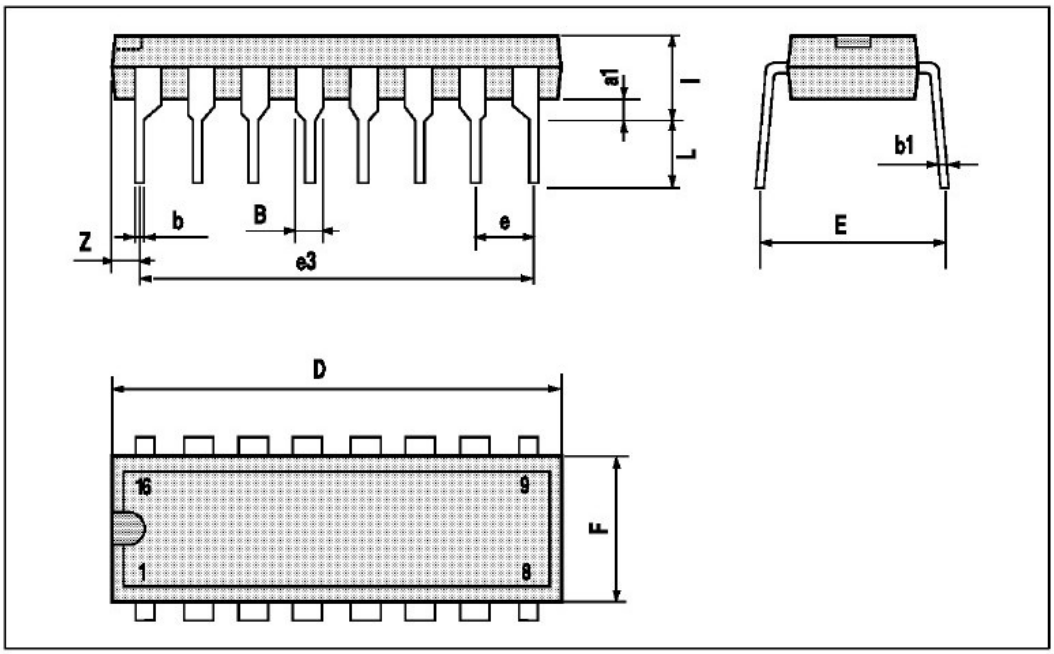
(*) Relative to the considered channel

Figure 1. Switching Times



POWERDIP PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.85		1.40	0.033		0.055
b		0.50			0.020	
b1	0.38		0.50	0.015		0.020
D			20.0			0.787
E		8.80			0.346	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.10			0.280
I			5.10			0.201
L		3.30			0.130	
Z			1.27			0.050



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1994 SGS-THOMSON Microelectronics - All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES
Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thaliand - United Kingdom - U.S.A.