

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ปีการศึกษา 2541
เครื่องวัดกำลังงานมนุษย์
(Human Power Measurements)



อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. พิชิต ถ้ายอง

เลขหน้.....
เลขทะเบียน..... 34156
วัน, เดือน, ปี..... 6 ต.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดกำลังงานมนุษย์

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดกำลังงานมนุษย์

นาย โกมล เหลืองศรีจันทร์
นาย สันต์ สถานานนท์
นาย สุวิทย์ หล้าหัวหนอง
ผศ. พิชิต ล้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

โครงการนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับกำลังงานของมนุษย์ที่ได้รับจากการออกกำลังกาย โดยการนำเอาจักรยานออกกำลังกายมาต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยจะนำค่าที่ได้รับจากเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า คือ ค่าแรงดัน ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าความเร็วรอบของการปั่นจักรยาน ไปเป็นสัญญาณป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะประมวลผลและแสดงผลค่ากำลังงานของมนุษย์ที่จ่อแสดงผล โดยค่าแรงดัน, ค่ากระแส และค่าความเร็วรอบในการปั่นจักรยานจะเปลี่ยนแปลงค่าไปตามค่าของโหลด นอกจากนี้ยังมีการใช้วงจรทางเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมการปรับย่านของโหลด ซึ่งโหลดในโครงการนี้จะแบ่งออกเป็น หลอดไฟ, ลวดนิโครม และ แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HUMAN POWER MEASUREMENTS

Kornol Luangsrichan

Sunth Stananonth

Suwit Lahuanong

Asst.Prof. Pichit Lumyong Advisor

1998

ABSTRACT

This project presents the power of human that obtained from exercise. By taking exercise-bicycle connected with generator for convert mechanical energy to electrical energy. The outputs that obtained from genetator is voltage , current and speed of bicycle-riding. Will be the input of microcontroller to be calculated and display power of human at the monitor. The voltage , current and speed of bicycle-riding are changed with respect to the value of load. Besides, this project bring the Power electronics to control the range of load. And loads in this project can be devided by the lamp , nichrome and battery.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของโครงการ	2
2.1 เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง	2
2.2 เทค โคมิเตอร์	18
2.3 หลักการของวงจร CHOPPERS(DC TO DC CONVERTERS)	21
2.4 วงจรควบคุมสำหรับสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย	25
2.5 ทฤษฎีของการชาร์จแบตเตอรี่	32
2.6 วงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิตอล	36
2.7 ทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	38
บทที่ 3 การออกแบบโหลดและวงจรการสร้างงาน	41
บทที่ 4 การคำนวณและการสร้างโครงการ	45
4.1 โครงสร้างทางกล	45
4.2 การวัดพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	46
4.3 วงจรแบ่งแรงดัน	47
4.4 วงจรแบ่งกระแส	48
4.5 การหาค่ากำลังสูญเสียและความเร็วรอบ	51
4.6 การนำค่าต่าง ๆ ที่ได้รับ ไปเขียนโปรแกรม	52
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	53
5.1 การทดลองก่อนออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์	53
5.2 การทดลองหลังออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์	55
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุปผล	56
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	

เอกสารนี้ **เอกสารอ้างอิง** ลงไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง	4
รูปที่ 2.2 (ก) แสดงการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้าในขดลวด	6
รูปที่ 2.2 (ข) แสดงการใช้วงแหวนครึ่งซีกกับแปรงถ่าน	6
รูปที่ 2.3 (ก) หลักการเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.3 (ข) หลักการมอเตอร์ไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.4 ขนาดโครงสร้างของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง	9
รูปที่ 2.5 (ก) วงจรเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.5 (ข) วงจรเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.6 (ก) ความสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	14
รูปที่ 2.6 (ข) ความสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	15
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างภายในของมอเตอร์ดีซีแบบแม่เหล็กถาวร	16
รูปที่ 2.8 วงจรการทดสอบขณะไร้ภาระพร้อมเครื่องวัด	17
รูปที่ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ I ในการทดสอบหาค่าความต้านทาน	18
รูปที่ 2.10 แสดงไดอะแกรมโครงสร้างของเทค โคมิเตอร์	19
รูปที่ 2.11 Elements of switching-mode Regulator	21
รูปที่ 2.12 Buck Regulator with continuous iL	22
รูปที่ 2.13 Boost Regulator with continuous iL	23
รูปที่ 2.14 รูปแสดงวงจร Chopper ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า	24
รูปที่ 2.15 วงจรพื้นฐานสำหรับควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน	25
รูปที่ 2.16 รูปคลื่นแรงดันขณะวงจรทำงาน	26
รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL494	27
รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $R_T C_T$ ในการกำหนดความถี่	27
รูปที่ 2.19 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494	28
รูปที่ 2.20 ลักษณะการเลือกใช้เอาต์พุตของ TL494	29
รูปที่ 2.21 วงจรพื้นฐานของการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากกระแส	30
รูปที่ 2.22 วงจรของรูป 2.21 เมื่อทำการวิเคราะห์อย่างง่าย	30
รูปที่ 2.23 ลักษณะการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส	31

เอกสารรูปที่ 2.24 การรีดิวซ์แรงดันและนำลิ้นเป็นดิจิทัลศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 37 ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 2.25 รูปแสดงขาต่าง ๆ ของ MCS - 51	39
รูปที่ 2.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของ 8051	40
รูปที่ 3.1 Block diagram ของ load แสงสว่าง	41
รูปที่ 3.2 Block diagram ของ load ลวดความร้อน	42
รูปที่ 3.3 Block diagram ของ load แบตเตอรี่	42
รูปที่ 3.4 วงจรแสดงการก่อสร้างสำหรับสร้างโครงงานจากการออกแบบโหนดชนิดต่าง ๆ	43
รูปที่ 3.5 วงจรแสดงการทำงานของไฟเลี้ยงที่ได้จากการเลือกจากแบตเตอรี่	44
รูปที่ 4.1 แสดงการหดรอบของจักรยาน	45
รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงงาน	46
รูปที่ 4.3 วงจรแบ่งแรงดัน	47
รูปที่ 4.4 วงจรแบ่งกระแส	48
รูปที่ 4.5 วงจร Non-Inverting Amp	49
รูปที่ 4.6 วงจรที่ออกแบบเพื่อใช้ในโครงงานเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ	50
รูปที่ 5.1 วงจรการทดลองหาค่าความสูญเสีย	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 5.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง	54
ตาราง 5.2 ตารางทดลองหาค่าความต้านทานภายในขดลวดอาเมเจอร์	55
ตาราง 5.3 แสดงผลการวัดกำลังงาน	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การออกกำลังกาย มีหลายอย่าง เช่น วิ่ง ว่ายน้ำ และอื่น ๆ เพื่อช่วยให้ร่างกายของคนเรานั้นแข็งแรง ซึ่งการออกกำลังกายนั้นต้องใช้พลังงาน เมื่อเราออกกำลังกาย ก็จะสูญเสียพลังงานส่วนนี้ไปโดยเปล่าประโยชน์ การปั่นจักรยานเป็นการออกกำลังกายอย่างหนึ่ง โดยจะต้องใช้พลังงานในการปั่นให้จักรยานหมุนหรือเคลื่อนที่ แต่เราไม่อาจทราบได้ว่าพลังงานที่ใช้ในการปั่นนั้นมีค่าเท่าไร จากแนวคิดอันนี้ จึงได้เกิดโครงการนี้ขึ้นโดยการนำเอาจักรยานออกกำลังกายมาต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วนำเอาค่าแรงดัน ค่ากระแส และค่าความเร็วรอบหรือความเร็วที่ใช้ในการปั่น ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้ จะป้อนเข้าให้กับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่อินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องเป็นสัญญาณดิจิตอลเท่านั้น ดังนั้นค่าที่ได้รับจากเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณอะนาล็อก จะต้องแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน โดยจะใช้วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลเป็นวงจรแปลงสัญญาณ เมื่อค่าแรงดัน ค่ากระแส และค่าความเร็วรอบหรือความเร็วที่ใช้ในการปั่นเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า เพราะการใส่ โหลดให้กับเครื่องกำเนิด ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะประมวลผลและแสดงผลที่จอมอนิเตอร์ ก็จะทำให้ทราบค่าพลังงานของแต่ละคนที่ใช้ในการปั่นจักรยานได้ โดยคนแต่ละคนจะมีพลังงานหรือแรงที่ใช้ในการปั่นไม่เท่ากัน โดยโหลดที่ใช้ในที่นี้ คือหลอดไฟ , แบตเตอรี่ และขดลวดนิโครม ซึ่งหลอดหลอดไฟจะมีประโยชน์ในการสังเกตว่า โหลดและแรงที่ใช้มีค่าเท่าใด ส่วนหลอดแบตเตอรี่นั้นจะสามารถชาร์จเก็บพลังงานที่ได้รับไว้ใช้งานในด้านอื่น ๆ รวมทั้งเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรอีกด้วย ส่วนหลอดลวดนิโครม ก็สามารถใช้ประโยชน์จากการนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์สำหรับออกแบบเป็นเตาต้มน้ำได้ นอกจากนี้ยังมีการนำวงจรเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์มาช่วยในการปรับย่านของโหลด นอกเหนือไปจากการปรับค่าของโหลดโดยตรง เพื่อช่วยในการปรับค่าความหนัก - เบา ของแรงที่ใช้ในการปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการของโครงการ

เพื่อให้เข้าใจการทำงานของโครงการมากยิ่งขึ้น เราจึงต้องเรียนรู้ทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้โดยละเอียด ซึ่งทฤษฎีต่าง ๆ ที่จะอธิบายในบทนี้ คือ หลักการของเครื่องจักรไฟฟ้า กระแสตรง , หลักการของเทคโคมิเตอร์ , หลักการของวงจรCHOPPER , หลักการของวงจรสวิตชิง เพาเวอร์ซัพพลาย , ทฤษฎีของการชาร์จแบตเตอรี่ , หลักการทำงานของวงจรแปลงอะนาล็อกเป็น ดิจิตอล และทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอสห้าหนึ่ง (MCS-51)

2.1 เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.Machine)

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานระหว่าง พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงกับพลังงานกล โดยที่เครื่องจักรทำงานโดยการหมุนตัวหมุน เมื่อเครื่อง จักแปลงรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.Genetator or Dynamo) และถ้าเครื่องจักรแปลงรูปพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานกล เรียกว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.Motor)

เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงมีซีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) กับ แปรงถ่าน (Carbon Brush) ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Coil) ให้ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงออกจากตัวเครื่องจักร จึงเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรง แต่เมื่อศักดาไฟฟ้าที่ขั้วมี ค่าสูงกว่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในจะทำให้กระแสไหลจากภายนอก เข้าสู่ในตัวเครื่องจักร ซึ่งซี คอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันก็จะมีกระแสไหล ตรงข้ามทำให้เกิดแรงบิดเสริมกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งจะสามารถ นำมาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือนำมาเป็นมอเตอร์ก็ได้

จุดเด่นของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง คือ การทำงานจะอยู่ในตำแหน่งที่มุมระหว่าง สนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กจากอาร์เมเจอร์ทำมุมเท่ากับ 90 องศา ซึ่งเครื่องจักร ไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไปไม่สามารถทำงานที่ตำแหน่งนี้ได้และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมี แรงบิดขณะเริ่มหมุนสูง

2.1.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

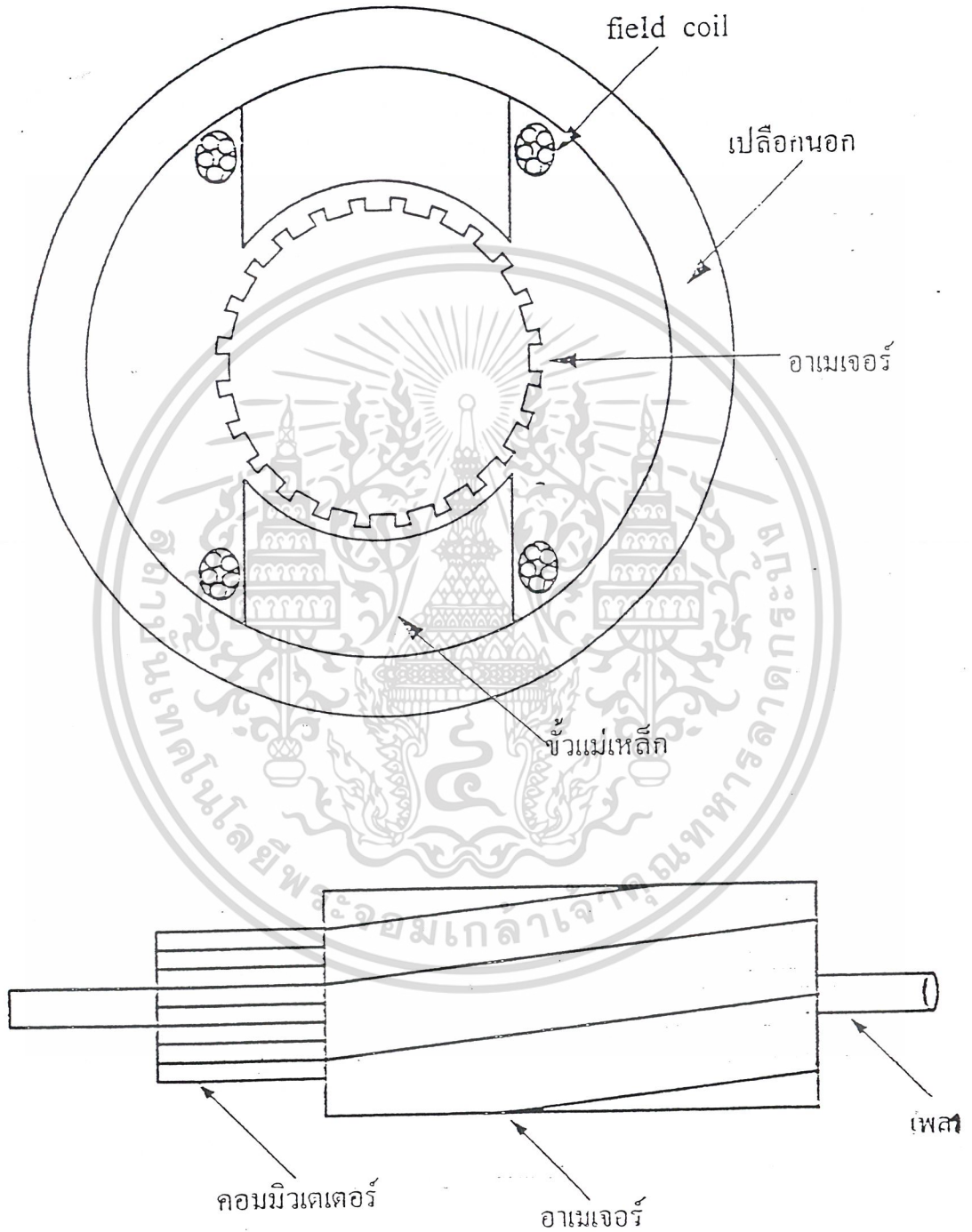
- เปลือกนอก (Yoke Frame) เป็นตัวยึดขั้วแม่เหล็กของส่วนที่อยู่กับที่ พร้อมทั้งเป็นวงจร แม่เหล็กเชื่อมต่อระหว่างขั้วแม่เหล็ก นอกจากนี้เปลือกนอกยังทำหน้าที่เป็นตัวยึดสำหรับติดตั้ง เครื่องจักรรวมถึงเป็นแป้นยึดลูกปืน (Bearing) สำหรับเพลลาของตัวหมุน การทำเปลือกนอกทำได้ โดยการขึ้นรูป โดยการใช้เหล็กหล่อหรือใช้วิธีขึ้นแม่เหล็กแผ่นแล้วเชื่อมเป็นวง

- ขั้วแม่เหล็ก (Pole) เป็นส่วนที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้า เมื่อหมุนตัวหมุนหรือเกิดแรงบิดเมื่อมีกระแสไหลในอามเจอร์ โดยที่ขั้วแม่เหล็กประกอบไปด้วยแกนขั้วแม่เหล็ก (Pole Core) และขดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Coil)

- อามเจอร์ (Armature) เป็นส่วนที่เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้า และเกิดแรงบิดจากสนามแม่เหล็กโดยจะประกอบไปด้วยแกนของอามเจอร์ (Armature Core) เป็นแผ่นเหล็กบาง (laminated) วางเรียงซ้อนกันเพื่อป้องกันการเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) บนแกนของอามเจอร์จะมีร่องไว้สำหรับพันขดลวดเร็วกว่าร่องสล็อต (Slot) โดยร่องนี้จะไว้สำหรับพันขดลวดอามเจอร์ (Armature Winding)

- คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นแท่งตัวนำโดยปกติใช้แท่งทองแดงวางเรียงกันและมีฉนวนกั้นกลางเพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่างแท่งทองแดง ตัวคอมมิวเตเตอร์จะใช้เป็นจุดต่อระหว่างขดลวดอามเจอร์ ดังนั้นสมบัติของอุปกรณ์ที่นำมาทำขั้วคอมมิวเตเตอร์ต้องเป็นตัวนำที่ดี มีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำ เป็นตัวนำความร้อนและมีความสึกกร่อนจากการเสียดสีน้อยหรือไม่สึกกร่อนเลยยิ่งดี

- แปรงถ่าน (Carbon Brush) เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่ต่อวงจรระหว่างจุดที่หยุดนิ่งกับส่วนที่หมุนก็คือ ตรงส่วนที่เป็นคอมมิวเตเตอร์ ตัวแปรงถ่านจะมีส่วนที่เป็นกราไฟท์ (Graphite) และส่วนที่เป็นสายทองแดงถักเพื่อใช้ต่อกับวงจรไฟฟ้าได้ ช่องยึดแปรงถ่าน (Brush Holder) เป็นตัวยึดแปรงถ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการคุณสมบัติของแปรงถ่าน ต้องเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี มีค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำ และต้องไม่แข็งจนเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายที่ขั้วคอมมิวเตเตอร์



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อนำเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงมาใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยปกติแล้วการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้าบนขดลวดที่อยู่บนตัวหมุน ซึ่งก็จะเกิดศักดาไฟฟ้าออกมาเป็นลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) โดยที่ต้องมีสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กและแท่งตัวนำเมื่อเคลื่อนตัวตัดสนามแม่เหล็ก เนื่องจากแท่งตัวนำเมื่อเคลื่อนผ่านขั้ว N จะมีทิศทางหนึ่งและเมื่อผ่านขั้ว S สนามแม่เหล็กจะกลับทิศทาง ดังนั้นขดลวดที่ใช้ในการพันในเครื่องจักรไฟฟ้าจะต้องมีด้านทั้ง 2 ด้านอยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กตรงข้ามกัน เพื่อศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละด้านของขดลวดจะได้มีทิศทางเสริมกัน สรุปได้ว่าขดลวดที่ใช้สำหรับเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้าความกว้างของขดลวดจะเท่ากับความกว้างของขั้วแม่เหล็กซึ่งจะเท่ากับ 180 องศาไฟฟ้า)

เมื่อนำปลายของขดลวดต่อเข้ากับวงแหวนครึ่งซีกในแต่ละด้าน แล้วนำแปรงถ่านมากดบนวงแหวนเพื่อต่อศักดาไฟฟ้ามาใช้งานจะปรากฏว่าสัญญาณที่จะออกมาจะเหมือนกับผ่านวงจรเรียงกระแส (Bridge Rectifier) โดยเป็นกระแสตรง ดังนั้นเมื่อได้มีการพัฒนาระบบวงแหวนครึ่งซีกมาเป็นซีคอมมิวเตเตอร์แทน ส่วนที่เป็นซีคอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่านจึงถูกเรียกว่า ตัวเรียงกระแสทางกล (Mechanical Rectifier)

ในทางด้านมุมทางไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้นเป็นมุมของสัญญาณไฟฟ้าวัดได้ โดยจะพบว่าเมื่อขดลวดเคลื่อนตัวผ่านขั้วแม่เหล็กครบ 1 คู่ จะทำให้ได้สัญญาณไฟฟ้าออกมา 1 คาบ ดังแสดงตามรูปที่ 2.2 (ก) ซึ่งถ้าเครื่องจักรไฟฟ้ามีจำนวนขั้วแม่เหล็กเป็น P ขั้ว จะได้สัญญาณไฟฟ้าออกมาเป็น P/2 คาบ ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ทางด้านองศาออกมาเป็น

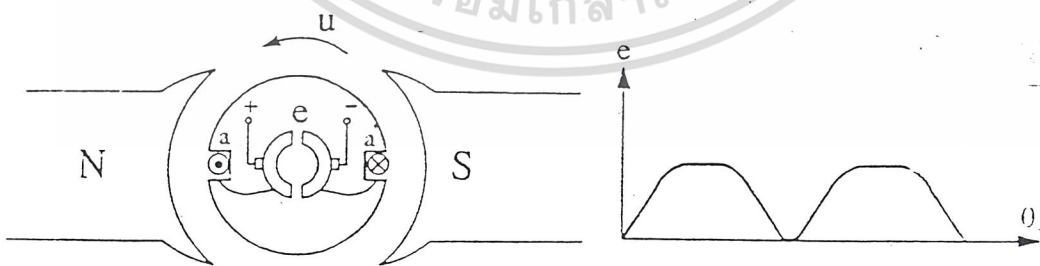
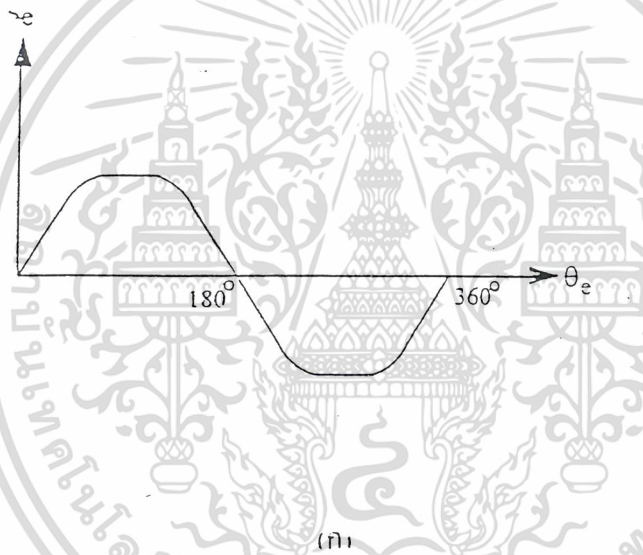
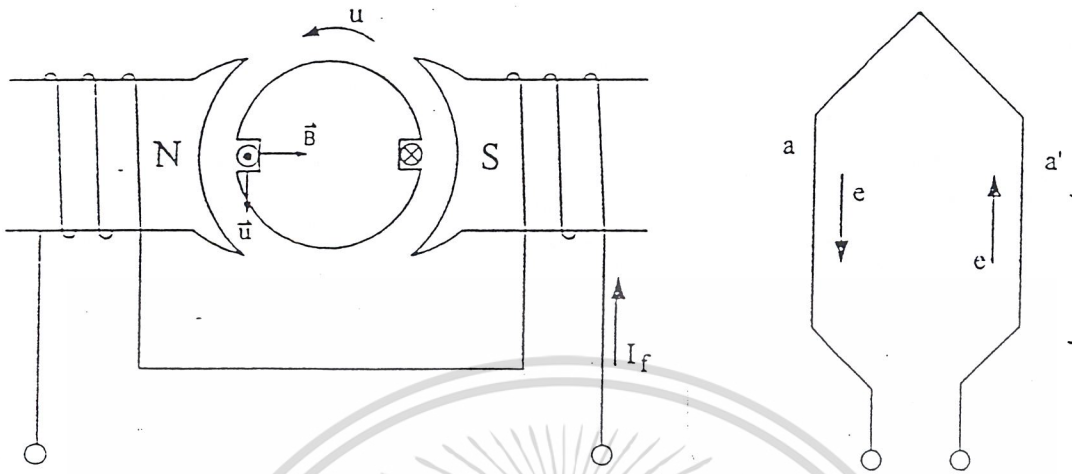
$$\theta_e = (P/2)\theta_m \quad (2.1)$$

เมื่อกำหนดให้

- θ_e : เป็นมุมทางไฟฟ้า (Electrical Angle)

- θ_m : เป็นมุมทางกล (Mechanical Angle)

โดยที่ถ้ามุมทางกลก็คือมุมที่หัวเพลลาของเครื่องจักรไฟฟ้า ถ้าเพลลาหมุนครบ 1 รอบ ค่ามุมทางกลเปลี่ยนไปเท่ากับ 360 องศาทางกล ดังนั้นถ้าเครื่องจักรมี 2 ขั้วแม่เหล็กจะได้สัญญาณออกมา 1 คาบ หรือ 360 องศาทางไฟฟ้า และถ้าเครื่องจักรไฟฟ้ามี 4 ขั้วแม่เหล็กจะได้สัญญาณออกมา 2 คาบ หรือ 2x360 องศาทางไฟฟ้า

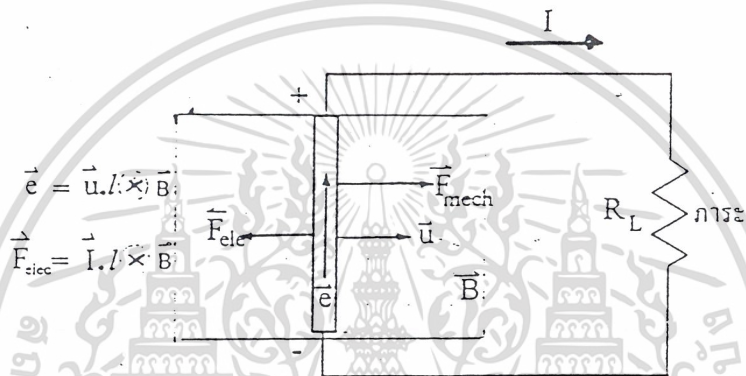


(ง)

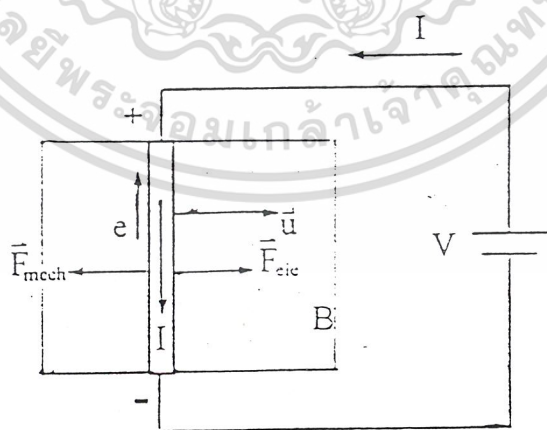
เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 รูปที่ 2.2 ก) แสดงการเหนี่ยวนำตัดค่าไฟฟ้าในขดลวด
 7) แสดงการใช้วงแหวนเครื่องซีกันบับปรังถ่าน
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สมการของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง

ในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงจะมีปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น 2 อย่าง คือการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Induced emf : E_u) และแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (Electro - Magnetic Torque : T_u) โดยที่การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก) เป็นกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อแท่งตัวนำที่ยาวเท่ากับ 1 เคลื่อนตัวด้วยความเร็ว U ผ่านสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่น B จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้า (e)



รูปที่ 2.3 (ก) หลักการเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 (ข) หลักการมอเตอร์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำภาระมาต่อกับแท่งตัวนำก็จะเกิดกระแสไหลในทิศทางเดียวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (e) ดังนั้นเมื่อมีกระแสไหลในแท่งตัวนำ (I) อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก B จะเกิดแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก (F_{elec}) ถ้าให้แท่งตัวนำเคลื่อนตัวด้วยความเร็วคงที่ที่ต้องให้แรงทางกล (F_{mech}) จากภายนอกมาช่วยขับในทิศทางความเร็วของตัวนำ โดยที่ F_{mech} จะต้องเท่ากับ F_{elec} ถ้าระบบไม่มีความสูญเสีย

$$\begin{aligned} P_{input} &= F_{mech} \cdot U \\ &= (I/B) \cdot U \\ &= I \cdot (U/B) = I \cdot e \\ P_{input} &= P_{output} \end{aligned} \quad (2.2)$$

ในกรณีที่เป็นมอเตอร์ต้องป้อนศักดาไฟฟ้ากระแสตรง (V) เข้าให้กับแท่งตัวนำจะทำให้เกิดกระแสไหลในตัวนำ (I) อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก (B) จะเกิดแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก (F_{elec}) เมื่อมีแรงจากสนามแม่เหล็ก เมื่อแท่งตัวนำวิ่งตัดสนามแม่เหล็กจะเกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีทิศทางตรงข้ามกับศักดาไฟฟ้าป้อนเข้า ระบบจะสมดุลเมื่อแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (F_{elec}) เท่ากับแรงที่เป็นภาระทางกล (F_{mech}) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข) และแรงเคลื่อนไฟฟ้าในแท่งตัวนำ (e) จะมีค่าเท่ากับศักดาไฟฟ้าป้อนเข้า (V)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าไม่ว่าเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือทำงานเป็นมอเตอร์ก็เกิดปรากฏการณ์ของการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและการเกิดแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก ซึ่งในเครื่องจักรแบบหมุนจะใช้การเกิดแรงบิดจากสนามแม่เหล็ก

2.1.3.1 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E_u) จากหลักการที่ว่าเมื่อแท่งตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า จากรูปที่ 2.4 แสดงข้อมูลทางด้านโครงสร้างโดยประมาณ สามารถหาค่าความเร็วของแท่งตัวนำ (U) ที่เคลื่อนตัวในแนวเส้นสัมผัสของวงกลม

$$U = (2\pi r_s N) / 60 \quad (2.3)$$

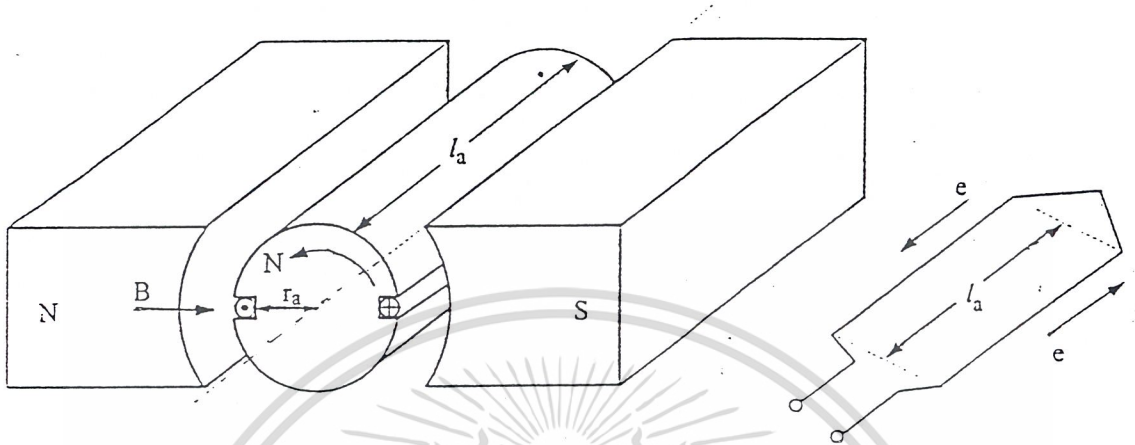
เมื่อกำหนดให้

N : เป็นความเร็วรอบของตัวหมุน มีหน่วยเป็น r.p.m.

r_s : เป็นรัศมีของอาเมเจอร์ มีหน่วยเป็น m.

ในส่วนของความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (B_{av}) ของแต่ละขั้วแม่เหล็ก ซึ่งก็จะเป็นค่าเฉลี่ยของเส้นแรงแม่เหล็กในแต่ละขั้ว (ϕ_p)หารด้วยพื้นที่ของหน้าขั้วแม่เหล็ก โดยที่พื้นที่ของขั้ว

แม่เหล็ก หาได้จากพื้นที่ของขั้วแม่เหล็ก หาได้จากพื้นที่ผิวของอาเมเจอร์ ($2\pi r_a l_a$) หากด้วยจำนวนขั้วแม่เหล็ก (P)



รูปที่ 2.4 ขนาดโครงสร้างของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง

จะได้ว่า

$$B_{av} = \frac{\phi_p P}{2\pi r_a l_a} \tag{2.4}$$

เมื่อกำหนดให้

l_a : เป็นความยาวของแท่งตัวนำ มีหน่วยเป็น m

ระยะทาง l_a เป็นความยาวตามแนวแกนของอาเมเจอร์ ซึ่งอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก ดังนั้นจะเป็นความยาวของแท่งตัวนำที่เกิดการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้า หรือการเกิดแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก

เนื่องจากทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่งตัวนำตั้งฉากกับทิศทางสนามแม่เหล็ก (B_{av}) ทำให้สามารถหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละแท่งตัวนำ (e) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} e &= U \cdot l_a \cdot B_{av} \\ &= N \frac{2\pi r_a l_a}{60} \cdot \frac{\phi_p \cdot P}{2\pi r_a l_a} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อตัวนำ = $(N \cdot P \cdot \phi_p) / 60$ (2.5)

จากการพันขดลวดอาเมเจอร์ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงจำนวนแท่งตัวนำทั้งหมดในอาเมเจอร์

(Z) และจำนวนวงจรขนาด (a) ทำให้สามารถหาจำนวนแท่งตัวนำที่ต่ออนุกรมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนแท่งตัวนำที่ต่ออนุกรม = Z_a / a

ดังนั้นแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดอาเมเจอร์ (E_a) จะเท่ากับผลคูณของจำนวนแท่งตัวนำที่ต่ออนุกรมกับแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละแท่งตัวนำ จะได้ว่า

$$E_a = e \cdot \frac{Z_a}{a}$$

$$= \frac{N \cdot P}{60} \phi_p \frac{Z_a}{a}$$

เพราะฉะนั้น
$$E_a = \frac{Z_a P}{60a} \phi_p N \quad (2.6)$$

ซึ่งจะเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากอาเมเจอร์ แต่ในบางครั้งการกำหนดข้อมูลในสมการทางด้านความเร็วเชิงมุม (ω) มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที ซึ่งความสัมพันธ์กับความเร็วรอบ (N) ได้ดังนี้

$$\omega = 2\pi N / 60 \quad (2.7)$$

แทนค่าจากสมการที่ (2.7) ลงในสมการที่ (2.6) สรุปได้ว่า

$$E_a = \frac{Z_a \cdot P}{2\pi a} \phi_p \omega \quad (2.8)$$

ซึ่งสมการที่ (2.8) จะสะดวกเมื่อนำมาใช้อธิบายร่วมกับแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก

2.1.3.2 แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (T_e)

จากหลักการที่กล่าวมาข้างต้นว่ามีกระแสไหลในแท่งตัวนำ จะเกิดแรงที่กระทำบนแท่งตัวนำ และจากโครงสร้างของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแท่งตัวนำตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จะได้แรงที่กระทำต่อแท่งตัวนำอยู่ในทิศทางเส้นสัมผัสของวงกลมทำให้เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงหมุน

ดังนั้นแรงที่กระทำในแต่ละแท่งตัวนำที่ยาวเท่ากับ l_a และมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลในแท่งตัวนำเท่ากับ (I_a) จะได้แรงในแต่ละแท่งตัวนำ

$$F = I_a \cdot l_a \cdot B_{av} \quad (2.9)$$

โดยที่บนตัวหมุนมีจำนวนแท่งตัวนำทั้งหมดเท่ากับ Z_a และมีวงจรรวนเท่ากับ a ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดอาเมเจอร์เท่ากับ I_a ดังนั้นกระแสที่ไหลในแต่ละแท่งตัวนำ (I_c) จะได้ว่า

$$I_c = I_a / a \quad (2.10)$$

และแรงที่เกิดขึ้นทั้งหมดบนตัวหมุน (F) จะเท่ากับจำนวนแท่งตัวนำทั้งหมด (Z_a) คูณด้วย

แรงที่เกิดขึ้นในแต่ละแท่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนสมการด้วยสมการที่ (2.4), (2.9), (2.10)

$$\begin{aligned} F_t &= Z_a \frac{I_a}{a} l_a \frac{\phi_p \cdot P}{2\pi \cdot r_a \cdot I_a} \\ &= \frac{Z_a \cdot P}{2\pi \cdot a} \cdot \frac{1}{r_a} \cdot \phi_p \cdot I_a \end{aligned} \quad (2.11)$$

เนื่องจากเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงที่กล่าวถึงเป็นเครื่องจักรกลชนิดหมุน การอธิบายทางด้านแรงจึงนิยมใช้เป็นแรงบิด (Torque) เนื่องจากมุมระหว่างแรงที่กระทำกับแท่งตัวนำ กับรัศมีตั้งฉากกัน จึงสามารถเขียนสมการของแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (T_e) เป็น

$$T_e = F_t r_a$$

$$T_e = \frac{Z_a \cdot P}{2\pi a} \phi_p I_a \quad (2.12)$$

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงไม่ว่าจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลในขดลวดคานาเมเจอร์และมีสนามแม่เหล็ก เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจะมีแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก

2.1.4 การแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงเป็นอุปกรณ์ แปลงรูปพลังงาน โดยเมื่อแปลงรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าเรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเมื่อแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเรียกว่า มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงจะแปลงพลังงานกลในลักษณะของการหมุนจากสมการที่ (2.8) และ (2.12) กำหนดให้

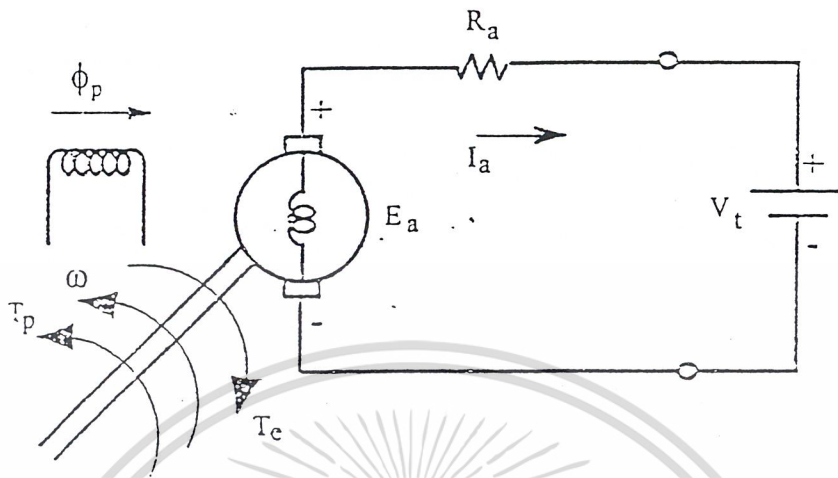
$$k_t = \frac{Z_a \cdot P}{2\pi a}$$

$$E_a = k_t \phi_p \omega \quad (2.13)$$

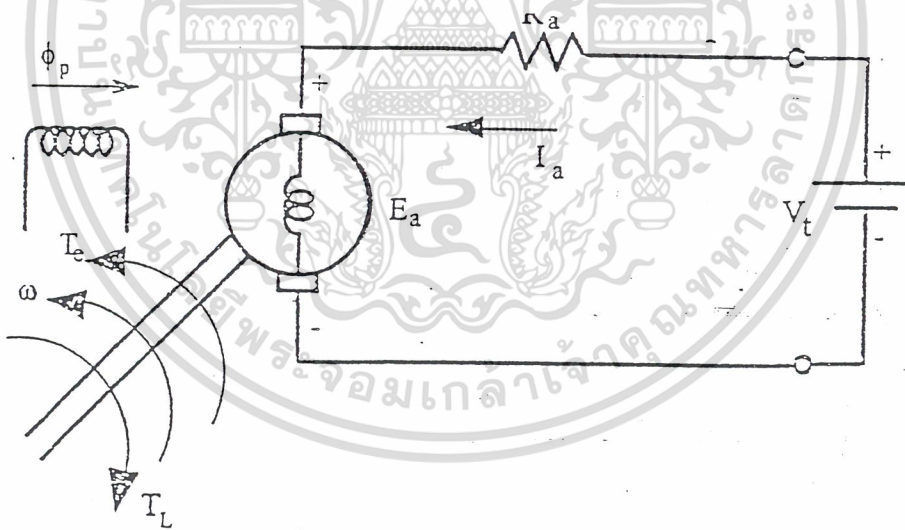
และ

$$T_e = k_t \cdot \phi_p \cdot I_a \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 (ก) วงจรเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 (ข) วงจรเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้า

ในกรณีที่ เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) เมื่อคิดวาระบบไม่มีความสูญเสียทางกล $T_p = T_e$ และ ไม่มีความสูญเสียทางไฟฟ้า $R_a = 0$

กำลังทางกล (Mechanical Power) $= T_p \omega$
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 $= T_e \omega$
 $= K_t \cdot \phi_p \cdot I_a \omega$

$$\begin{aligned} \text{กำลังทางไฟฟ้า (Electrical Power)} &= E_a \cdot I_a \\ &= K_t \cdot \phi \cdot I_a \omega \\ T_e \omega &= E_a \cdot I_a \end{aligned}$$

สรุปได้ว่า

$\begin{aligned} \text{กำลังทางกล} &= \text{กำลังทางไฟฟ้า} \\ E_a \cdot I_a &= T_e \omega \end{aligned}$	(2.15)
--	--------

ในทำนองเดียวกัน เมื่อเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) สามารถสรุปได้ว่า

$$T_e \omega = E_a \cdot I_a$$

ซึ่งเป็นการแสดงการแปลงรูปพลังงานระหว่างพลังงานกลกับพลังงานไฟฟ้าในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงโดยถ้าไม่มีความสูญเสียทางกล และความสูญเสียทางไฟฟ้า ในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

$$\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (} V_t \cdot I_a \text{)} = \text{กำลังทางกลจ่ายออก (} T_p \cdot \omega \text{)}$$

และกรณีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

$$\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (} V_t \cdot I_a \text{)} = \text{กำลังทางกลจ่ายออก (} T_e \cdot \omega \text{)}$$

ส่วนเมื่อมีความสูญเสียทางกลและมีความสูญเสียทางไฟฟ้า ดังนั้นพลังงานที่ป้อนเข้าจะต้องมากกว่าพลังงานที่จ่ายออก โดยแยกเป็นกรณี

ในกรณีที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) แรงบิดทางกลที่จับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (T_p) จะต้องมากกว่าแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (T_e) โดยส่วนมากกว่าต้องมาชดเชยแรงบิดที่เกิดจากความสูญเสียทางกล ($T_{\text{mech,loss}}$) โดยที่ทั้ง T_e และ $T_{\text{mech,loss}}$ จะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการหมุนหรือพุ่งง่าย ๆ ว่าต้านการหมุน ซึ่งจะได้ว่า

$$T_p = T_e + T_{\text{mech,loss}} \quad (2.16)$$

ทางด้านวงจรไฟฟ้าเมื่อเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทิศทางการไหลของกระแสจะต้องไหลจากขั้วบวกของการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E_a) ที่ขดลวดคอปเปอร์แล้วไหลสู่่วงจรภายนอก โดยที่ E_a จะต้องมากกว่าศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) และจากรูปที่ 2.5 (ก) จะแสดงถึงแบตเตอรี่ที่ทำเป็นภาระก็ อยู่ในกรณีของการประจุแบตเตอรี่ และตามกฎของเคอร์ชอฟ (Kirchhoff's law) จะได้ว่า

$$E_a = I_a R_a + V_t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกรณีที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงตามรูปที่ 2.5 (ข) ซึ่งเป็นการแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เมื่อมีความสูญเสีย ดังนั้น ค่าของศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) จะต้องมากกว่า E_a โดยที่กระแสจะไหลออกจากขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้าสู่จอร์นาเมเจอร์โดยที่

$$V_t = E_a + I_a R_a$$

ซึ่งเมื่ออยู่ในรูปพลังงานกลแล้ว แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (T_e) จะต้องมากกว่าแรงบิดที่ขั้วภาระ (T_L) โดยไปชดเชยความสูญเสียทางกล ($T_{\text{mech,loss}}$) ซึ่งสามารถเขียนได้ว่า

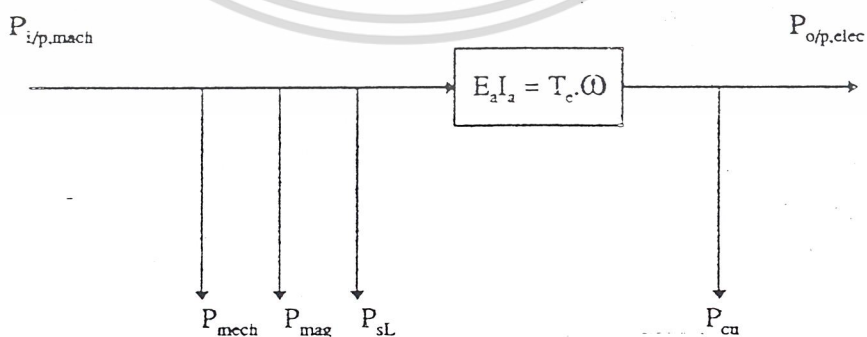
$$T_e = T_L + T_{\text{mech,loss}} \quad (2.17)$$

สรุปได้ว่าถึงแม้จะมีความสูญเสียทางกลและทางไฟฟ้าเกิดขึ้นในตัวเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงก็ตาม ในส่วนของการแปลงรูปพลังงานแล้วยังคงเดิมตามสมการที่ (2.15) โดยกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้า

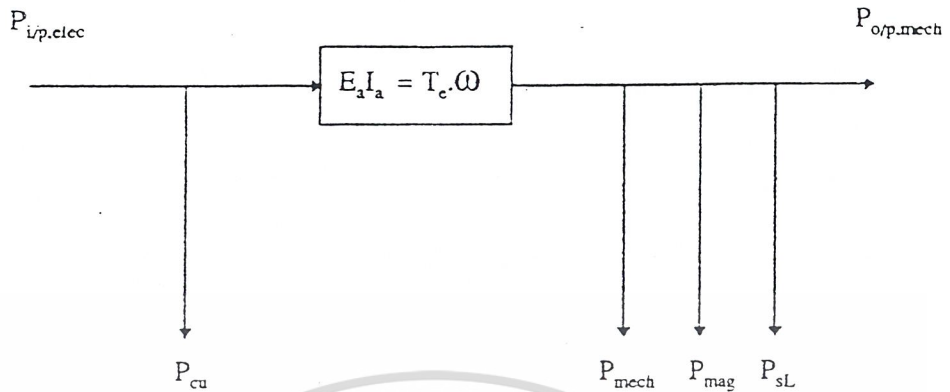
$$E_a \cdot I_a = T_e \cdot \omega$$

2.1.5 ความสูญเสียในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง (Loss in DC Machines)

ในทางด้านการแปลงรูปพลังงานของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงจะมีความสูญเสียพลังงานทั้งทางด้านพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงดังรูปที่ 2.6 โดยมีรายละเอียดของความสูญเสียในกรณีที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งกำลังงานป้อนเป็นกำลังทางกล ถ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก กำลังงานป้อนเข้าทางด้านไฟฟ้าอีกด้วย คือป้อนเข้าให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากับ ส่วนทางด้านกำลังส่งออกจะเป็นทางด้านไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.6 (ก) ความสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.6 (ข) ความสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนถ้าเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงตามรูปที่ 2.6 (ข) ซึ่งจะมีกำลังป้อนเข้าทางไฟฟ้าและกำลังส่งออกทางกลโดยที่ขั้นตอนการคำนวณของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักรนั้น ๆ ในทางด้านรายละเอียดของความสูญเสียในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย

2.1.5.1 กำลังสูญเสียทางกล (Mechanical Loss : P_{mech}) เป็นความสูญเสียที่เกิดจากแรงของลมที่ใบพัดระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากขดลวดและแถบเหล็ก ความสูญเสียเนื่องจากความฝืด ระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ รวมไปถึงความฝืดระหว่างตัวรองและลูกปืน

2.1.5.2 กำลังสูญเสียจากสนามแม่เหล็ก (Magnetic Loss : P_{mag}) เป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็ก เนื่องจากสนามแม่เหล็กในแถบเหล็กมีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา ดังนั้นแกนเหล็กของอานเมเจอร์ จะมีค่าความสูญเสียที่หน้าขั้วแม่เหล็ก ก็มีความสูญเสียเนื่องจากร่องสลอต (Slot)

2.1.5.3 กำลังสูญเสียคงที่ (Stay Load Loss : P_{sL}) เป็นความสูญเสียเนื่องจากสภาพความไม่เรียบร้อย (Non Uniform) ภายในเครื่องจักร ยกตัวอย่างเช่น สกินเอฟเฟกต์ (Skin Effect) ในขดลวดของอานเมเจอร์ ทำให้กระแสที่ไหลในตัวนำมีความหนาแน่นไม่เท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัด ทำให้มีผลเหมือนกับความต้านทานเพิ่มขึ้นหรือทางด้านสนามแม่เหล็กที่บิดรูปไปเนื่องจากกระแสที่ไหลในขดลวดอานเมเจอร์ ทำให้เกิดความสูญเสียในแกนเหล็กเพิ่มขึ้น ซึ่งยากแก่การคำนวณโดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 1 % ของกำลังขาออกของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อที่จะให้ผลการคำนวณกับการทดสอบออกมาถูกต้องยิ่งขึ้น

2.1.5.4 ความสูญเสียจากค่าความต้านทาน (Copper Loss : P_{cu}) เป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้น
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ทางด้านวงจรไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไหลผ่านลวด ตัวนำที่มีค่าความต้านทานจะมีกำลังที่มีค่าความต้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่เกิดข้อบกพร่องและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ทาน จะมีกำลังที่สูญเสียบางครั้งเรียกว่า ไอกำลังสองอาร์ลอสส์ (I^2R Loss) ซึ่งจะประกอบด้วย

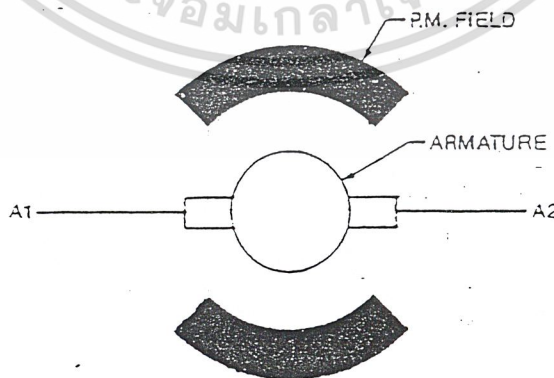
ความสูญเสียของขดลวดต่าง ๆ เช่น ขดลวดอานเมเจอร์ ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ขดลวดคอมเพนเสท (Compensate) ขดลวดอินเตอร์โพล (Inter Pole) ซึ่งจะเป็นผลส่วนหนึ่งที่ทำให้เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงร้อนและจำเป็นต้องระบายความร้อนออกจากขดลวด

2.1.5.5 ความสูญเสียจากการหมุน (Rotational Loss : P_{rot}) เป็นการร่วมค่าความสูญเสียกำลัง เนื่องจากการหมุนทั้งหมดซึ่งง่ายต่อการทดสอบและการคำนวณ โดยที่

$$P_{rot} = P_{mech} + P_{mag} + P_{SL} \quad (2.18)$$

2.1.6 การทำงานด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Operated)

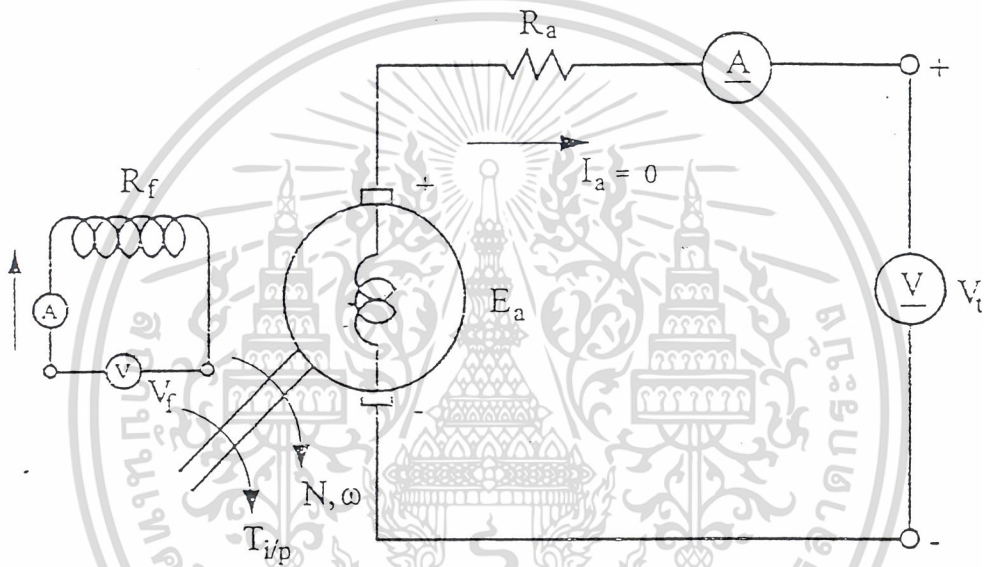
มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีอานเมเจอร์แบบขดลวด (Wound Armature) พร้อมทั้งคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) และแปรงถ่าน (Brushes) ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้จะให้ทอร์กตอนสตาร์ทที่ดีเยี่ยม (Starting Torque) ที่ดีเยี่ยมพร้อมด้วยการปรับความเร็ว (Speed Regulation) จำเป็นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของมอเตอร์แบบคอมพาวด์ (Compound Motor) เพราะว่าการสูญเสียของสนามแม่เหล็กถาวรและมอเตอร์มีค่าน้อยและทำให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ได้รับมีค่ามาก มอเตอร์ชนิดนี้สามารถเบรกได้ด้วยการเบรกแบบไดนามิก (Dynamicallly Braked) และสามารถกลับทางหมุนได้ที่โวลเตจต่ำ ๆ (10%) ไม่ควรที่จะกลับทางหมุนในขณะที่แรงดันที่อานเมเจอร์เต็ม พิกัด ค่ากระแสตอนกลับทางหมุนใกล้เคียงกับค่ากระแสตอนอานเมเจอร์อยู่กับที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างภายในของมอเตอร์ดีซีแบบแม่เหล็กถาวร

2.1.7 การทดสอบขณะไร้ภาระ (No load test)

ในการทดสอบเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงนั้น การทดสอบที่สำคัญวิธีหนึ่งที่ทำให้สามารถเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E_a) กระแสไฟฟ้าสร้างสนามแม่เหล็ก (I_f) และความเร็วรอบ (N) หรือความเร็วเชิงมุม (ω) โดยวิธีนี้กระทำโดยการขับเครื่องไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ดังแสดงตามรูปที่ 2.8 โดยต้องมีแหล่งพลังงานกลภายนอกมาช่วยขับตัวหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้หมุนด้วยความเร็วที่พิกัด



รูปที่ 2.8 วงจรการทดสอบขณะไร้ภาระพร้อมเครื่องวัด

ขณะที่กระแส $I_f = 0$ เมื่อขับด้วยความเร็วรอบที่พิกัด แรงบิดที่ป้อนเข้า $T_{i/p}$ จะเป็นส่วนที่ มาชดเชยกับความสูญเสียเนื่องจากการกำลังความสูญเสียทางกล P_{mech} โดยที่

$$P_{mech} = T_{i/p} \cdot \omega$$

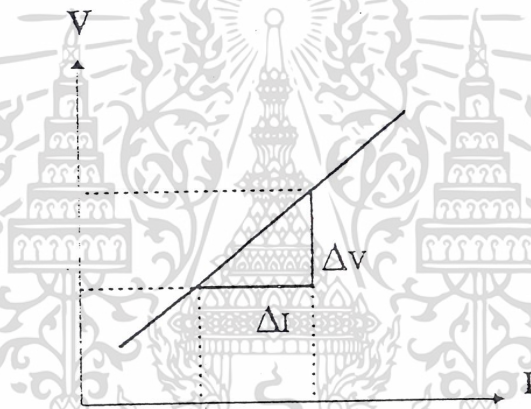
และในทางด้านศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว V_t จะมีค่าเท่ากับค่าการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_a เนื่องจากกระแส ของขดลวดอาเมเจอร์ I_a เท่ากับศูนย์ ซึ่งค่า V_t ที่วัดได้จากคิซีโวลท์มิเตอร์จะเป็นค่าการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_a ที่เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง ϕ_r โดยที่ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_a เป็นตัวที่จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานในลักษณะกระตุ้นด้วยตัวเอง ถ้าขณะนี้คือ $I_f = 0$ แล้วค่าศักดาไฟฟ้าที่

เอกสารข้างต้นกับศูนย์นี้แสดงว่าเป็นเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่ได้ใช้งานนานจนเกินไปจนสนามแม่เหล็กค่า ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กตกค้างลดลงเป็นศูนย์ หรือถูกต่อผิดทำให้เกิดการทำลายสนามแม่เหล็กตกค้าง หรืออาจจะ เป็นเครื่องจักรผลิตใหม่ที่ยังไม่เคยป้อนกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก

2.1.8 วิธีโวลท์แอมป์ (VI-Method)

ในการเขียนวงจรเสมือนของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงจำเป็นต้องรู้ค่าความต้านทาน ของขดลวดทั้งขดลวดอาเมเจอร์ ซึ่งรวมค่าความต้านทานของแปรงถ่านและขดลวดสร้างสนามแม่ เหล็ก ดังนั้นจำเป็นต้องวัดค่าความต้านทานของขดลวดเนื่องจากค่าความต้านทานของอาเมเจอร์ต่ำ มาก เพื่อความแม่นยำจึงใช้วิธีโวลท์แอมป์ โดยการป้อนศักดาไฟฟ้ากระแสตรงและวัดกระแส ไฟฟ้าที่ให้ผ่านขดลวด ทำการบันทึกข้อมูลโดยที่กระแสต้องไม่เกินพิกัดที่ขดลวดทนได้ นำมา เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้า V และ กระแส I ดังแสดงตามรูปที่ 2.9 ซึ่งสามารถ นำมาคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากค่าความลาดชันของเส้นตรง



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ I ในการทดสอบหาค่าความต้านทาน

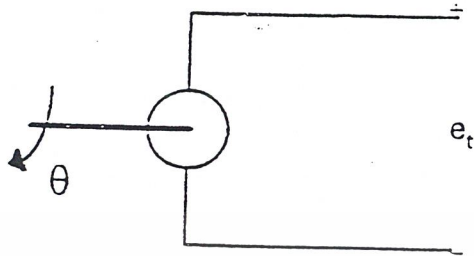
ซึ่งได้ค่าความต้านทานของขดลวด (R)

$$R = \Delta V / \Delta I$$

2.2 เทลโคมิเตอร์ (Tachometer)

เทลโคมิเตอร์ (Tachometer) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกล (Electromechanical) ซึ่งแปลง พลังงานเชิงกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์นี้จะถือเป็นเสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Genetator) โดยที่แรงดันไฟฟ้าด้านไฟออกเป็นสัดส่วนกับขนาดของความเร็วเชิงมุม ในระบบควบคุมจะใช้ เทลโคมิเตอร์ ในการตรวจวัดความเร็วของแกนหรือเพลลาและใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะของ เอกสารระบบให้ดีขึ้น โดยทั่วไปแล้วเทลโคมิเตอร์อาจจะแยกได้เป็นสองแบบคือ แบบกระแสสลับและราคา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบกระแสตรง โดย รูปที่ 2.10 จะแสดงถึงไดอะแกรมโครงสร้าง (Schematic diagram) ของ เทลโคมิเตอร์



รูปที่ 2.10 ไดอะแกรมโครงสร้าง ของเทลโคมิเตอร์

สำหรับเทลโคมิเตอร์แบบกระแสกลับ แรงดันไฟฟ้ารูปไซน์จะถูกป้อนให้กับขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) นั้นจะถูกวางให้ทำมุม 90 องศา กับขดลวดปฐมภูมิ เมื่อโรเตอร์ (Rotor) ของเทลโคมิเตอร์อยู่กับที่ แรงดันไฟฟ้าด้านไฟออกที่ขดลวดทุติยภูมิจะมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อแกนของโรเตอร์หมุนไป แรงดันไฟฟ้าด้านไฟออกของเทลโคมิเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของโรเตอร์ โดยที่ขั้ว (Polarity) ของแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับทิศทางของการหมุน

ความสัมพันธ์ ระหว่างแรงดันเข้าและออกของเทลโคมิเตอร์แบบกระแสกลับสามารถจับแสดงได้ด้วยสมการดิฟเฟอเรนเชียลอันดับที่หนึ่งต่อไปนี้

$$e_t(t) = k_t \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2.19)$$

โดยที่ $e_t(t)$ คือ แรงดันไฟฟ้าด้านไฟออก

$\theta(t)$ คือ ระยะแทนที่ของโรเตอร์

k_t คือ ค่าคงที่ของเทลโคมิเตอร์ (โวลต์/rpm หรือ โวลต์/1000 rpm)

ค่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) ของเทลโคมิเตอร์แบบกระแสกลับจึงมีค่าดังนี้

$$\frac{E_{(s)}}{\theta_{(s)}} = k_t S \quad (2.20)$$

สำหรับเทลโคมิเตอร์แบบกระแสตรงก็จะใช้เหมือนกับเทลโคมิเตอร์แบบกระแสกลับที่กล่าวมาข้างต้นแต่ข้อดีข้อหนึ่งของเทลโคมิเตอร์แบบกระแสตรงก็คือ สนามแม่เหล็กของเทลโคมิเตอร์นั้นสามารถทำขึ้นได้โดยใช้แม่เหล็กถาวร จึงไม่จำเป็นจะต้องมีแรงดันไฟฟ้ามากระตุ้นและสมการที่ 2.19 กับสมการ 2.20 ก็ใช้กับเทลโคมิเตอร์กระแสตรงได้ ในระบบควบคุมนั้นสามารถจะไม่ใช้เทลโคมิเตอร์แบบกระแสตรงแทนเทลโคมิเตอร์แบบกระแสกลับได้โดยการเพิ่มวงจรโมดูล

เตอร์ (Modulator) เพื่อแปลงสัญญาณไฟออกแบบกระแสดตรงไปเป็นกระแสลับ ในทางกลับกัน
เทคโนโลยีเตอร์แบบกระแสดตรงก็อาจจะแทนด้วยเทคโนโลยีเตอร์แบบกระแสลับได้โดยใช้เฟสเซ็นซิ
ทีฟดีโมดูเลเตอร์ (Phase Sensitive Demodulator) เพิ่มเข้าไป เพื่อแปลงเอาท์พุทแบบกระแสลับ
ให้เป็นกระแสดตรง

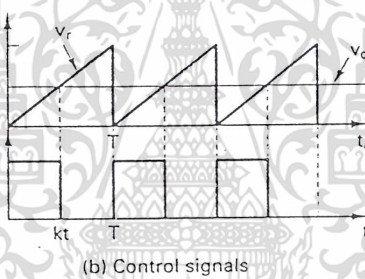
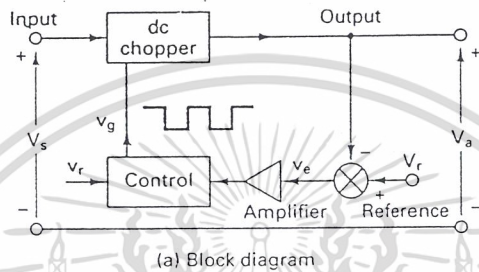


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการของวงจร CHOPPERS (DC TO DC CONVERTERS)

การแปลงผัน dc เป็น dc หรือ ซอปรเปอร์ เป็นการเปลี่ยนแปลงแหล่งจ่าย dc ที่มีแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่งไปเป็นแรงดันไฟฟ้าอีกค่าหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววงจร choppers จะถูกใช้งานใน SWITCHING - MODE REGULATOR

เราสามารถแสดงรูปวงจรแสดงการทำงานของ SWITCHING - MODE REGULATOR ได้ดังนี้



รูปที่ 2.11 Elements of switching - mode Regulator

โดยหลักการต่าง ๆ ของวงจร CHOPPERS ที่จะกล่าวถึงจะกล่าวถึงเฉพาะที่นำเอาหลักการและทฤษฎีที่สามารถใช้อธิบายเกี่ยวข้องกับโครงงานที่นำเท่านั้น ซึ่งในโครงงานได้นำเอาหลักการของวงจร CHOPPERS ชนิด

- ⇒ BUCK - REGULATOR
- ⇒ BOOST - REGULATOR

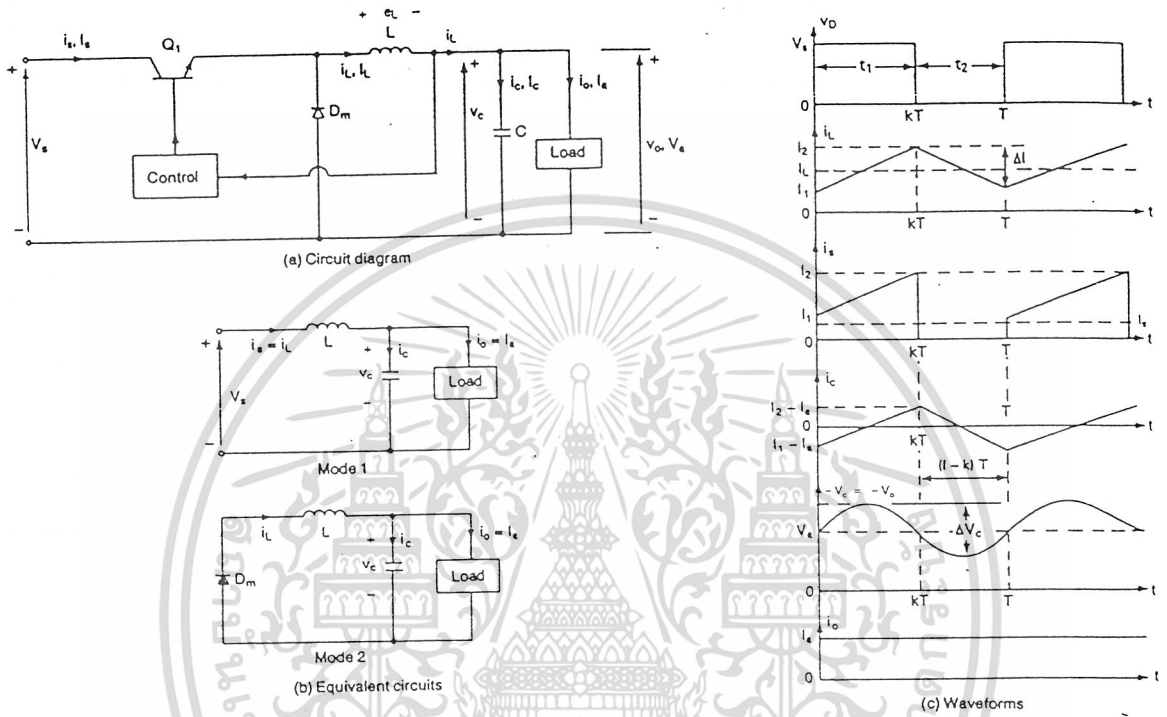
มาใช้ในโครงงาน ซึ่งทั้งสองชนิดมีหลักการดังต่อไปนี้

2.3.1 BUCK REGULATOR

เป็นวงจร CHOPPERS ในแบบที่แปลงแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุต ซึ่งการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 โหมด
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 โหมดที่ 1 : ขณะสวิตช์ ON กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายไปยังโหลด
 โหมดที่ 2 : ขณะสวิตช์ OFF ค่า $V_s = 0$ และฟรีวิลลิ่งไดโอด (Dm) ได้รับไปอัสตรง ดังนั้น

กระแสที่ไหลลง ยังคงไหลผ่าน D_m ไปยังโหลดต่อเนื่อง จนกระทั่งสวิตช์ ON อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้กระแสที่ไหลมีความต่อเนื่อง [กรณีนี้ถ้าอินดักแตนซ์ของโหลด (L) มีปริมาณมากก็จะทำให้กระแสที่ไหลไหลอย่างต่อเนื่องเช่นกัน]

รูปแสดงวงจรเทียบเคียง และ WAVE FROM แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.12 Buck Regulator with continuous i_L

แสดงสมการต่าง ๆ ที่ใช้คำนวณดังนี้

$$V_d = V_s \cdot T / t_2 = V_s / (1-K) ; I_s = I_o / (1-K)$$

$$T = 1/f = t_1 + t_2 = ((\Delta I L) / V_s) + ((\Delta I L) / (V_s - V_o)) = (\Delta I L V_s) / (V_s (V_s - V_o))$$

$$\Delta I = V_s K / fL$$

peak - to peak ripple voltage of capacitor คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

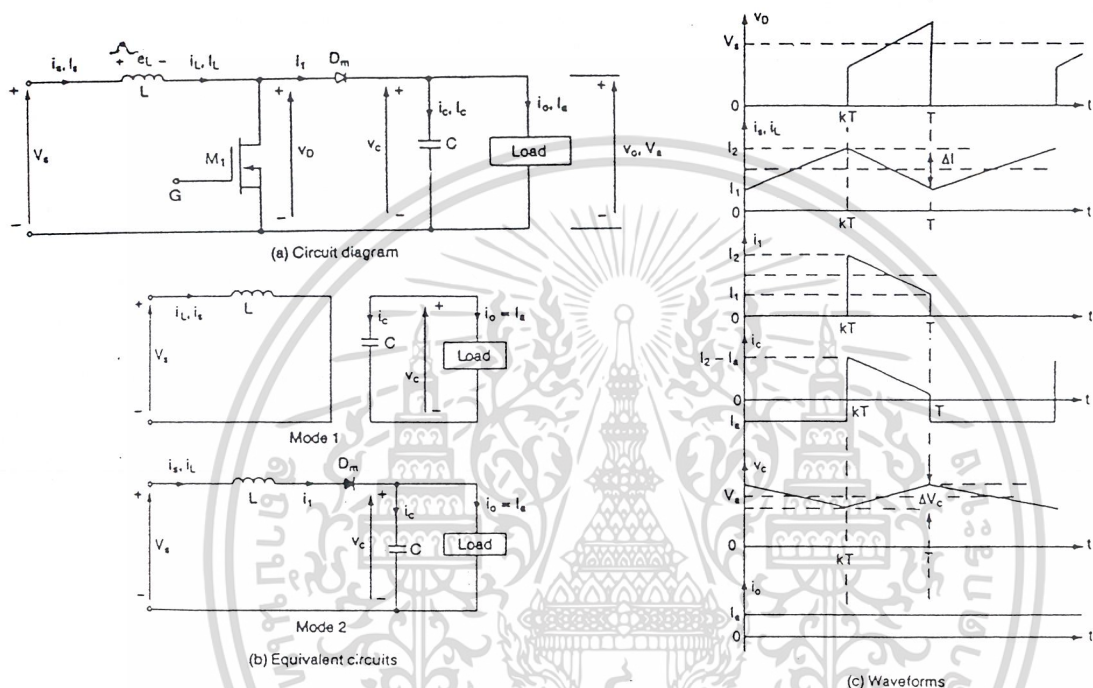
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta V_c = I_o (V_s - V_o) / V_s f C ; \Delta V_c = I_o K / f C$$

ซึ่งสมการต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยในการออกแบบวงจรให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.2 BOOST REGULATOR

เป็นวงจร C HOPPERS ที่จะใช้แปลงแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าสูงกว่าแรงดันอินพุต มีลักษณะวงจรเทียบเคียง โหมดการทำงาน และ WAVEFORMS ตามแสดงดังรูป



รูปที่ 2.13 Boost Regulator with continuous iL

อธิบายการทำงาน

โหมดที่ 1 : กระแสช่วงขณะของวงจร มีค่าเป็น

$$V_s = L \frac{di_1}{dt}$$

$$i_1(t) = V_s/L t + I_1$$

เมื่อ I1 เป็นค่ากระแสเริ่มต้นของโหมดที่ 1

ในช่วงโหมดที่ 1 กระแสจะเพิ่มขึ้น สภาวะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่

เป็นไปได้ คือ $di_1/dt > 0$ หรือ $V_s > 0$

โหมดที่ 2 : กระแสช่วงขณะของวงจร มีค่าเป็น

$$V_s = L \frac{di_2}{dt} + E$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$i_2(t) = V_s - E/L t + I_2$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ I2 เป็นกระแสเริ่มต้นของโหมดที่ 2

ในช่วงโหมดที่ 2 กระแสจะลดลง สถานะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เป็นไปได้คือ $di/dt < 0$ หรือ $V_s < E$ ดังนั้นเงื่อนไขที่เป็นไปได้สำหรับแรงดันทั้งสอง คือ $0 < V_s < E$

สมการต่าง ๆ แสดงดังนี้ $V_a = V_s \cdot t_1 / T = K V_s$; $K = \text{duty cycle}$

$$I_s = K I_a$$

$$T = 1/f = t_1 + t_2 = ((\Delta L) / (V_s - V_a)) + ((\Delta L) / V_a) = (\Delta L V_s) / (V_a (V_s - V_a))$$

$$\Delta I = (V_s K (1-K)) / fL$$

$$V_c = 1/C \int i_c dt + V_c (t=0)$$

$$i_L = i_c + i_o \quad ; \quad I_C = \Delta I / t$$

$$\Delta V_c = (V_s K (1-K)) / (8LCf^2)$$

2.3.3 หลักการควบคุมกำลังไฟฟ้า

การควบคุมกำลังไฟฟ้าเป็นการใช้ชอปเปอร์ควบคุม V_a ของมอเตอร์ DC อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์ของชอปเปอร์ อาจเป็นทรานซิสเตอร์ ยกตัวอย่าง การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยควบคุม V_a ของ Motor DC ดังรูป

จาก

ค่าเฉลี่ยของแรงดันอาร์เมเจอร์ $V_a = K V_s$

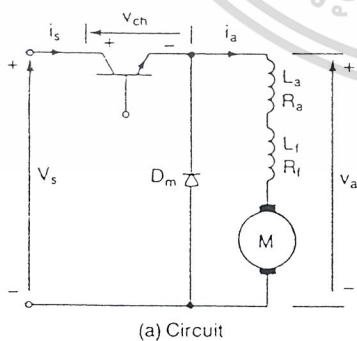
กำลังไฟฟ้าป้อน Motor $P_o = V_a I_a = K V_s I_a$

กำลังอินพุท $P_i = P_o = K V_s I_a$

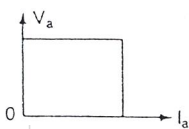
กระแสเฉลี่ยอินพุท $I_s = K I_a$

ความต้านทานอินพุทเทียบกับ $R_{eq} = V_s / I_s = V_s / I_a \cdot 1/K$

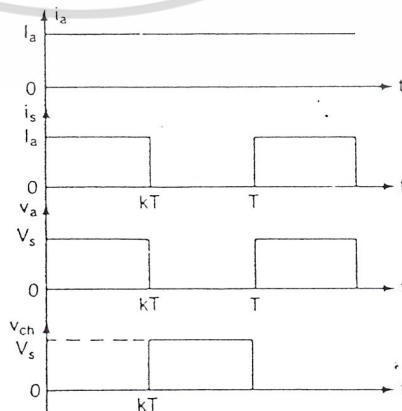
จากสมการต่าง ๆ ข้างต้น ทำให้เราทราบว่า การปรับดิวตีไซเคิล (K) เป็นการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้านั่นเอง



(a) Circuit



(b) Quadrant



(c) Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษา (c) Waveforms นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ รูปที่ 2.14 แสดงวงจร CHOPPER ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า

2.4 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

เนื่องจากทฤษฎีของวงจร Chopper ที่กล่าวในข้อ 2.3 เป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหนึ่งในลักษณะของ DC TO DC Converter

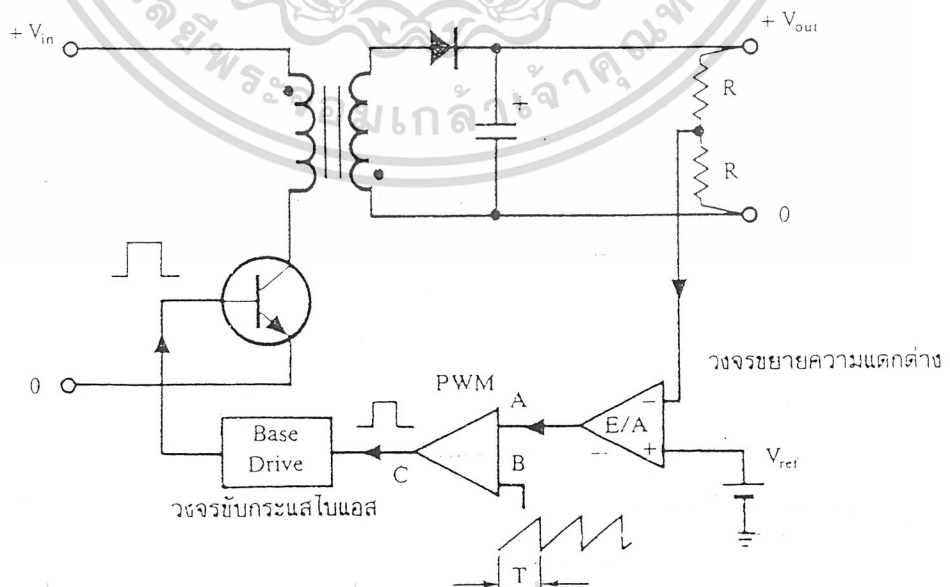
ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า วงจรคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบ จะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยการควบคุมการทำงานช่วงเวลานำกระแส (ton) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจึงนิยมใช้เทคนิคพัลส์วิดโมดูเลชัน (Pulse Width Modulation) หรือ PWM เป็นหลัก

ในโครงการนี้ก็เช่นเดียวกันได้นำเอาหลักการเทคนิคของพัลส์วิดโมดูเลชันมาใช้ในการสร้างโครงการด้วยเช่นกันซึ่งจะกล่าวต่อไป

การใช้ PWM เพื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรคอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้ในสองลักษณะของการควบคุม คือ

- ⇒ ในโหมดควบคุมจากแรงดัน
- ⇒ ในโหมดควบคุมจากกระแส

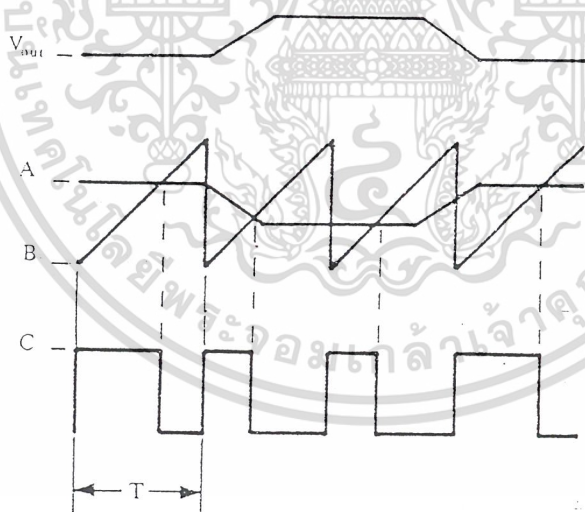
2.4.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน (Voltage Mode Control)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ รูปที่ 2.15 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ใน โหมดควบคุมจากแรงดัน

จากรูปวงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ของวงจรเพื่อตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมซึ่งมีคาบเวลาที่เท่ากับ คาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อย และมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดูเลชันของแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยาย ความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ต ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180° กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้นแรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วย และช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (ton) ก็จะมีค่าลดลงด้วย ในลักษณะตรงกันข้าม ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น ton ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้ ลักษณะรูปคลื่นแรงดันขณะวงจรทำงาน จะเป็นดังรูป



รูปที่ 2.16 แสดงรูปคลื่นแรงดันขณะวงจรทำงาน

⇒ ตัวอย่าง ไอซีที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดันได้แก่ เบอร์

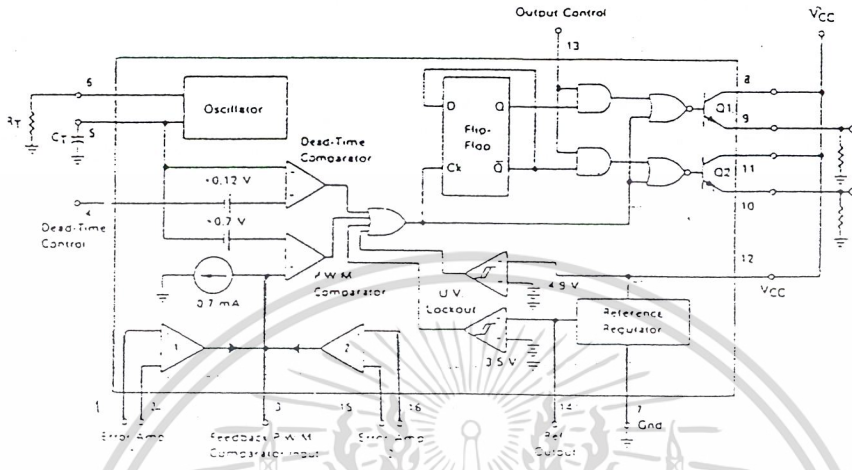
MC34060, MC34116 และ TL494

สำหรับในโครงการนี้ใช้ไอซีเบอร์ TL494 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้ ไอซีเบอร์ TL494 สำหรับโหมดควบคุมจากแรงดัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีเบอร์ TL494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยทำงานด้วยโหมคควบคุมจากแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างการทำงานสำหรับวงจรควบคุมด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน

โครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL494 แสดงดังรูป



รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL494

การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้

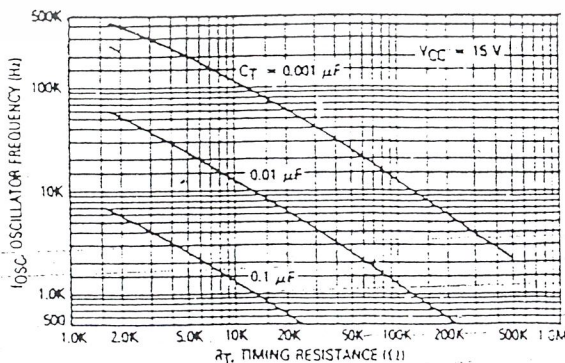
การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

วงจรของ TL494 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่ที่ คาบเวลาการทำงานของเขาที่พุดพัลส์กำหนดโดยค่า R_T และ C_T จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซี

ค่าคาบเวลากำหนดได้จาก

$$T = (R_T C_T) / 1.1$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T C_T ในการกำหนดความถี่จะแสดงดังรูป



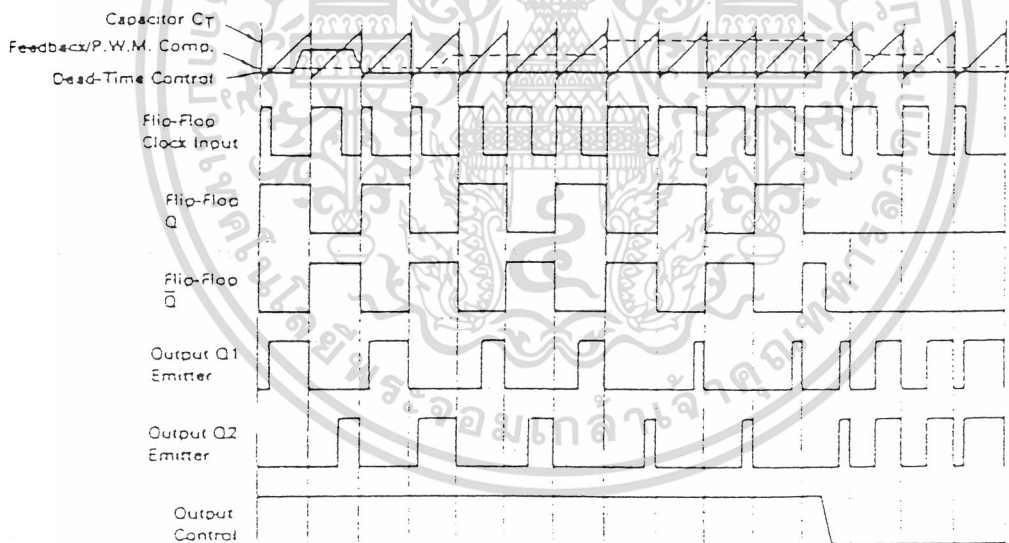
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นให้คัดลอกและเผยแพร่อย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารที่ครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T C_T ในการกำหนดความถี่

การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซี จะได้จากการเปรียบเทียบของสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา 5 กับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้ง 2 ตัว ที่ PWM Comparator ส่วน Nor gate ที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุต O_1 และ O_2 จะทำงานก็ต่อเมื่อ ขา C_K ช่วง Flip Flop อยู่ในสถานะ “Low” เท่านั้น ซึ่ง C_K จะเป็น “Low” ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้ง 2 ตัว นั่นคือ แรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างเอาต์พุตของไอซีจะลดลงในทางกลับกัน แรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะเพิ่มขึ้น

ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซีนั้น สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วย การเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 V. จนถึง 3.5 V. ส่วน Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมดคอมมอนโหมด ตั้งแต่ -0.3 ถึง $(V_{cc} - 2)$ โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ได้ Error Amp ทั้ง 2 ตัว จะใช้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ “High” (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non-inverting ของ PWM Comparator



รูปที่ 2.19 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494

การกำหนดค่าเวลาเพื่อ T_D

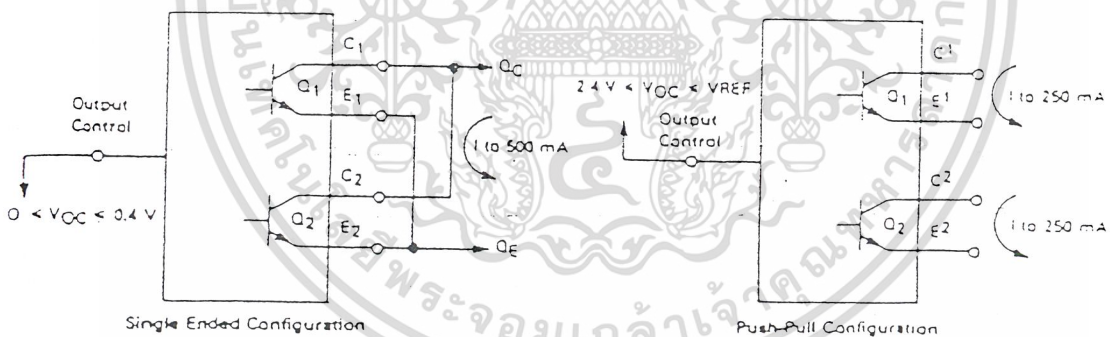
TL494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเวลาเพื่อ T_D ของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของไอซี อย่างไรก็ตาม หากแรงดันที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ค่าเวลาเพื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4% (เปอร์เซ็นต์) ของค่าคาบเวลาทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ ต่ออยู่ภายใน

คั้งนั้นช่วงเวลา t_{on} สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีจะเท่ากับ 48% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 (Output Control) เข้ากับขา 14 (+5 Vref) และมีค่าเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์

การเลือกใช้ Q1 และ Q2 ที่เอาต์พุตของไอซี

เอาต์พุต Q1 และ Q2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกัน หรือสลับกันทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output Control) โดยขณะที่ C_T ดิสชาร์จ เอาต์พุตของ Dead-Time Comparator จะให้พัลส์ออกมา C_k จะมีสถานะ “High” และหยุดการทำงานของ Q1 และ Q2 ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะ “High” โดยการต่อเข้ากับขา 4 (+5 Vref) Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงานตามจังหวะของ flip-flop เพื่อใช้ขับคอนเวอร์เตอร์ แบบพวช-พุล ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี แต่ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น “Low” โดยการต่อลงกราวด์ (ยกเลิก Flip-flop) Q1 และ Q2 จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาน Q1 และ Q2 เข้าด้วยกันถ้าต้องการให้กระแสได้มากขึ้น

⇒ ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะมีค่าเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี (ช่วงเวลาน้ำกระแสสูงสุดเท่ากับ -96% ของค่าคาบเวลา)

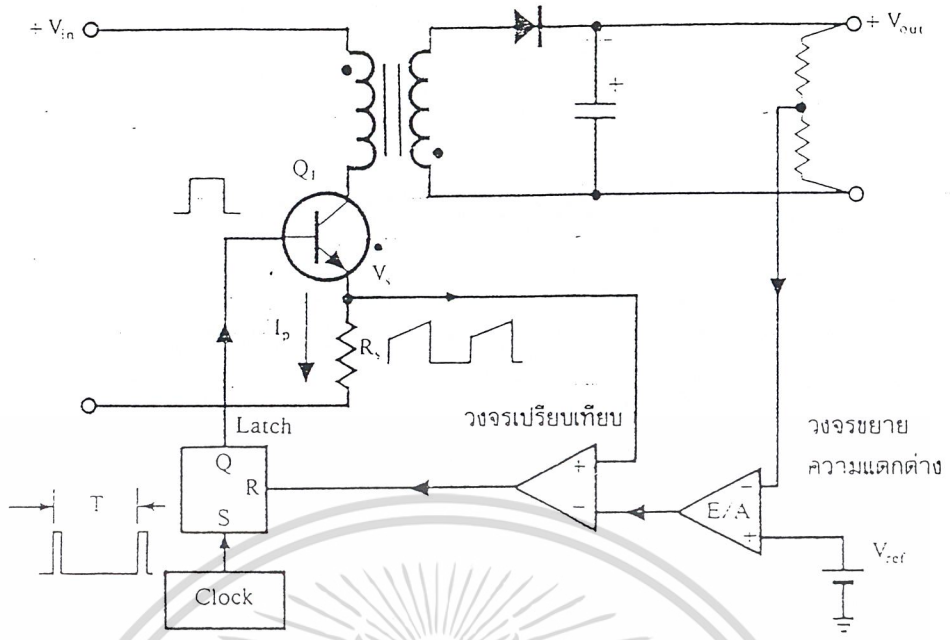


รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการเลือกใช้เอาต์พุตของ TL494

TL494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 \leq V_{cc} \leq 40$ โวลต์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน $V_{ref} = 5$ โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้ โดยมีค่าความถูกต้อง $\pm 1.5\%$ ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง $70^\circ C$

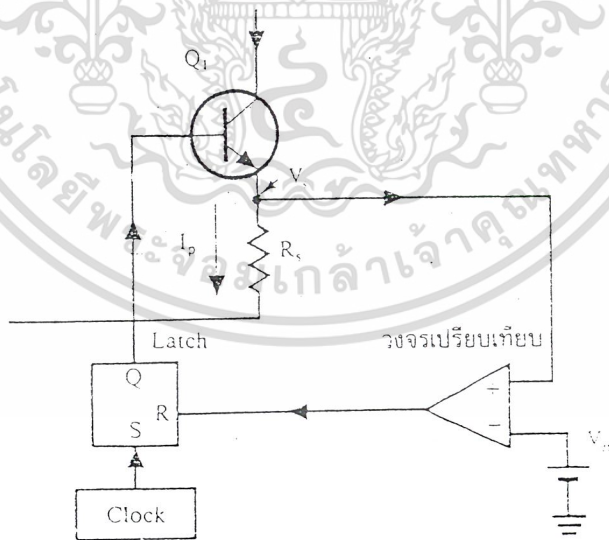
2.4.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากระแส (Current Mode Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การรณรงค์แรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากระแสมีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ข้อดีหลายประการนอกเหนือจากโหมดควบคุมจากระแส ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเป็นวงจรควบคุมอีกแบบหนึ่ง



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรพื้นฐานของการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากระแส

เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาการทำงานของวงจร เราจะแยกคิดการทำงานของวงจรควบคุมด้วยการตัดวงจรขยายความแตกต่าง E/A ออกไปก่อน และกำหนดอินเวอร์ตติ้งของวงจรถ่ายเทียบให้ต่อเข้ากับ V_{ref} ดังรูป



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรรูป 2.21 เมื่อทำการวิเคราะห์อย่างง่าย

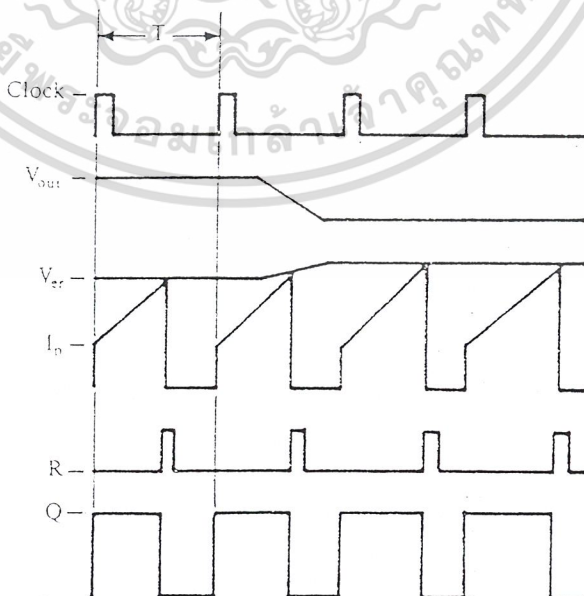
วงจร Latch จะทำงานโดยขา Q ของวงจร Latch จะมีสถานะเป็น “High” เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา S และขา Q จะมีสถานะเป็น “Low” เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา R

เมื่อวงจรทำงาน วงจรกำเนิดสัญญาณพิกจะให้กำเนิดสัญญาณพิกที่มีคาบเวลาคงที่ไป กระตุ้นขา 5 ของวงจร Latch ขา Q จึงมีสถานะ “High” เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q₁ ก็จะเริ่มนำกระแส เมื่อ Q นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดไฟโพรมารี และตัวต้านทาน R_s ที่ต่ออนุกรมไว้ Q₁ ทำให้เกิดแรงดัน V_s ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R_s ด้วย

แรงดันตกคร่อม R_s ที่เกิดขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{er} โดยวงจรเปรียบเทียบ ดังนั้นเมื่อค่าของ V_s เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าค่าของแรงดันอ้างอิง V_{er} เอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น “High” และไปกระตุ้นที่ขา R ของวงจร Latch ทำให้ขา Q มีสถานะเป็น “Low” และเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q₁ จะหยุดนำกระแสจนกว่าที่ขา 5 ของวงจร Latch จะได้รับการกระตุ้นจากสัญญาณพิกอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่า ความกว้างของเอาต์พุทพัลส์ที่ขา Q ของวงจร Latch จะถูกควบคุมโดยค่าของแรงดัน V_s ที่ตกคร่อมตัวความต้านทาน R_s นั้นเอง ถ้าค่าแรงดันอินพุทของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นแรงดัน V_s จะเพิ่มจนมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง V_{er} ได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้ความกว้างของเอาต์พุทพัลส์ลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสสั้นลง ในทางกลับกันถ้าแรงดันอินพุทของคอนเวอร์เตอร์มีค่าลดลง แรงดัน V_s จะเพิ่มขึ้นช้า ความกว้างของเอาต์พุทพัลส์จึงเพิ่มขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ก็จะมีช่วงนำกระแสมากขึ้นด้วย จะเห็นว่าเมื่อไหลลดลงที่ คอนเวอร์เตอร์จะสามารถลดค่าแรงดันเอาต์พุทเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุทได้โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับแรงดันที่เอาต์พุทเลย ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุทได้อย่างรวดเร็ว

⇒ พิจารณารูปแสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

ตัวอย่างไอซีที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากกระแส ได้แก่ เบอร์ UC3842/3/4/5, MC34023/5 และ MC34129

เนื่องจากในโครงการนี้ได้ใช้ไอซีเบอร์ TL494 ในการสร้างงาน ซึ่งสามารถพิจารณาลักษณะวงจรการสร้างงานได้ในบทที่ว่าด้วยการสร้างงาน จึงไม่ขอกล่าวถึงทฤษฎีของไอซีเบอร์ที่ใช้ในโหมดควบคุมจากกระแสที่กล่าวข้างต้น

ในโครงการได้นำเอาหลักการที่กล่าวมาแล้วนี้ไปใช้ในการออกแบบ Load ต่าง ๆ ในการสร้างโครงการ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปในบทที่ว่าด้วยการออกแบบ Load

2.5 ทฤษฎีของการชาร์จแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ในความหมายทางไฟฟ้าก็คือ การนำเซลล์ทางไฟฟ้าซึ่งยกตัวอย่างเช่น ถ่านไฟฉาย มาต่อกัน ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปเราจะแบ่งเซลล์ต่าง ๆ ออกเป็น 2 แบบ คือ แบบปฐมภูมิ และแบบทุติยภูมิ

ในรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำงานของเซลล์ไฟฟ้า ตลอดจนคุณสมบัติต่าง ๆ ของเซลล์แต่ละชนิดจะไม่กล่าวถึงในรายงานฉบับนี้ โดยรายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีของการชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่เพื่อเป็นแนวทางของการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงการต่อไปในหลักการของเซลล์แบบทุติยภูมินั้น เมื่อสร้างขึ้นแล้วต้องนำไปทำการประจุไฟหรือชาร์จไฟเสียก่อนจึงจะจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้และเมื่อใช้กระแสไฟฟ้า (discharge) ไปจนกระแสอ่อนลงแล้วก็นำไปประจุไฟใหม่ได้ ซึ่งจะต่างจากเซลล์แบบปฐมภูมิที่ว่าเมื่อใช้แล้วไม่สามารถนำมาใช้ประจุไฟได้อีกนั่นเอง

ส่วนสำคัญที่ควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของแบตเตอรี่ก็คือ

⇒ แรงดันกับความต้านทาน

ความต่างศักย์ภายนอกของเซลล์นั้นเรียกกันว่าเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force หรือย่อว่า EMF) ค่าที่แน่นอนนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาเป็นอาโนดและแคโทด และชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอายุของเซลล์สำหรับเซลล์ใหม่แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะสูงกว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดอยู่เล็กน้อย ความต้านทานภายในเซลล์จะไปลดค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรภายนอกซึ่งเซลล์จะจ่ายออกไป นอกจากนี้ยังเป็นการสูญเสียพลังงานอีกด้วย ซึ่งจะสูญเสียไปเป็นความร้อนเนื่องมาจากความต้านทานภายในเซลล์ ตัวเซลล์จะอุ่นขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานภายในขึ้นอีก ทำให้ไปเพิ่มค่ากำลังอาโนดและไปเพิ่มแรงดันตกคร่อมขึ้นอีก วันเวียนเป็นวัฏจักรไปไม่ว่าการนี้ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อย ๆ ซึ่งเป็นกรณีที่เลวร้ายทำให้วงจรภายนอกที่นำมาต่อมีกระแสไม่พอเลี้ยงวงจรให้ทำงานต่อไปได้และถึงแม้กระแสจะพอเลี้ยงวงจรได้ พลังงานที่สูญเสียไปนั้นก็จะเป็นไปลดอายุการใช้งานของเซลล์ลงได้

⇒ กำลังงานต่อชั่วโมง

คุณลักษณะสำคัญอันหนึ่งของเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งเราจำเป็นต้องศึกษาก่อนที่จะรู้ถึงชนิดของเซลล์แบบต่าง ๆ นั้น ก็คือ ค่าความจุของเซลล์ (cell capacity) ซึ่งคือปริมาณของกระแสไฟฟ้าซึ่งเซลล์หนึ่ง ๆ สามารถจ่ายออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เซลล์ไฟฟ้าหนึ่งมีความจุ 1000 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง หมายความว่า เซลล์นี้สามารถจ่ายกระแสได้ 1000 มิลลิแอมป์ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง หรือจ่ายกระแสได้ 100 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เป็นต้น

การกล่าวถึงค่าความจุกระแสของเซลล์ในรูปของมิลลิแอมป์-ชั่วโมง ไม่ได้หมายถึงความจุทั้งหมดของเซลล์ บางครั้งเราจะคำนึงถึงค่าแรงดันของเซลล์เป็นส่วนหนึ่งของค่าความจุของเซลล์ด้วย ซึ่งทำได้โดยการคูณค่าความจุกระแสของเซลล์ด้วยค่าแรงดันของเซลล์นั่นเอง

การประจุกลับเข้าไปใหม่ (การ Charge Battery)

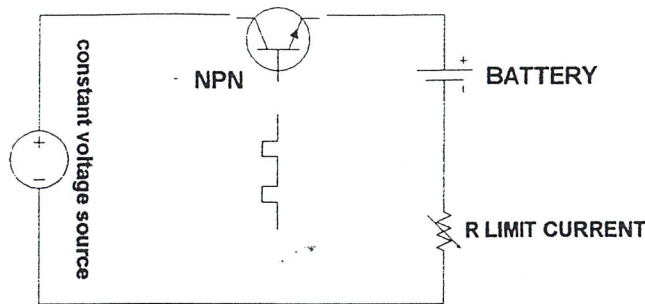
มีวิธีการ Charge Battery อยู่ 2 แบบ ดังนี้

1. วิธี Constant Voltage With Current Limit

กล่าวคือ แบตเตอรี่จะถูกประจุโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไดนาโม และผ่านชุดรีกษาาระดับแรงดันให้เป็นไฟตรงมีค่าคงที่ที่ประมาณ 14 โวลต์ เป็นที่เห็นชัดว่า กระแสที่ป้อนเข้าไปเมื่อไปประจุไฟใหม่ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มทีหรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูงและเซลล์คายประจุหมดเต็มทีแล้ว จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเซลล์จะมีค่ามากตามไปด้วย วงจรพื้นฐานแสดงการประจุกระแสแบบ Constant Voltage With Current Limit แสดงดังรูป

จากรูปวงจรการทำงานพื้นฐานจะเห็นว่าค่า R_2 จะเป็นตัวปรับกระแสที่ใช้ในการ charge กล่าวคือ เมื่อสถานะของแบตเตอรี่ถูกคิศาจรจ์ไปมากหรือคายประจุหมดเต็มทีค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าต่ำ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในการประจุจึงมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หรือประจุเต็มทีแล้วค่าความต้านทาน R_2 นี้จะสูงขึ้น ทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง

ในการใช้งานกับโครงงานชุดนี้จะใช้การปรับเปลี่ยนกระแสที่ใช้ในการ charge ด้วยการนำเอาหลักการของ switch-mode Regulator มาใช้โดยการปรับ duty cycle ของ PWM ก็จะเป็นการปรับเปลี่ยนกระแสเข้า load อธิบายได้ด้วยแสดงวงจร



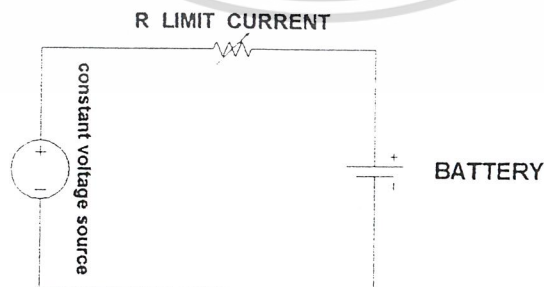
ซึ่งในหลักการนี้จะช่วยให้การทำงานของวงจรประจุกระแสเข้าแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ควบคุมได้ง่ายขึ้น และมีความปลอดภัยมากขึ้นด้วย เราสามารถที่จะตรวจสอบสถานะการประจุของแบตเตอรี่ได้โดยการสังเกตค่าของกระแสที่ใช้ในการประจุซึ่งจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ใช้ในการประจุมีค่าคงที่ (โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีการรักษาระดับแรงดันออกให้คงที่)

2. วิธี Constant current

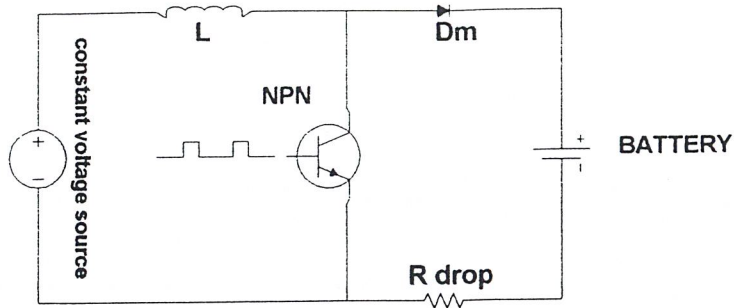
เป็นวิธีการจ่ายกระแสให้คงที่ในการ charge แบตเตอรี่ ซึ่งแหล่งจ่ายไฟที่มีระดับแรงดันคงที่จะจ่ายกระแสออกมาประจุแบตเตอรี่โดยผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแส ค่าของตัวต้านทานจะถูกเลือกให้ค่ากระแสที่ไปประจุเซลล์จะไม่เกินค่าปลอดภัยสำหรับเซลล์ขนาดนั้น โดยวิธีการประจุเซลล์โดยใช้วงจรแบบนี้สามารถประจุเซลล์ได้ 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ

- Trickle Recharge (การประจุทีละน้อย)
- Fast Recharge (การประจุอย่างรวดเร็ว)
- Super-fast Recharge (การประจุแบบเร่งด่วน)

วงจรแสดงการทำงานด้วยการประจุแบบ Constant current แสดงดังนี้



เช่นเดียวกับในการใช้งาน เราอาจใช้หลักการของ switching-Mode-Regulator มาใช้งานได้เช่นกัน โดยควบคุมให้กระแสคงที่ ซึ่งแสดงลักษณะของวงจรแบบ Boot Regulator ที่ควบคุมไม่ว่ากระแสที่ออก ทั้งขึ้น อิกทั้งห้านมิให้ด้วย ปุ่มเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ กระแสคงที่ ใช้สำหรับ charge แบตเตอรี่ด้วย



โดยหลักการที่กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับการประจุกระแสเข้าแบตเตอรี่นั้นใช้เป็นทฤษฎีเพื่อจะอธิบายเกี่ยวกับการแสดงการทำงานของโครงงานในลักษณะที่เราออกแบบ load ให้เป็นแบตเตอรี่ ซึ่งเราจะใช้วิธีการ charge กระแสเข้าแบตเตอรี่เป็น Mode การทำงาน Mode หนึ่งของโครงงานโดยจะกล่าวถึงต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัล

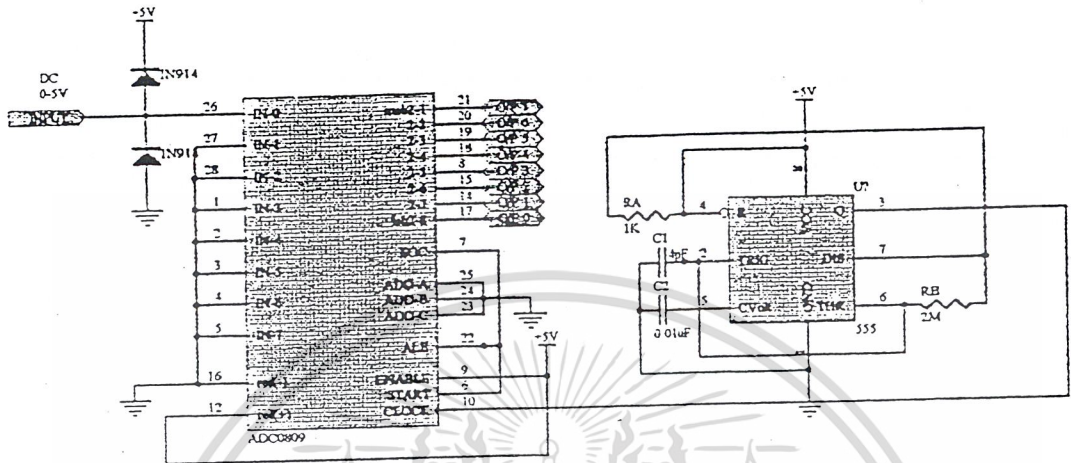
วงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) จะทำหน้าที่แปลงแรงดันหรือกระแสที่เป็นสัญญาณอะนาล็อกไปเป็นแบบตัวเลขหรือสัญญาณดิจิทัล วงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัลมีด้วยกันหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันแพร่หลายมี 3 แบบ คือ แบบสโลปคู่ (Dual Slope) แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่ (V to F Converter) และประมาณทีละบิต (Successive Approximation)

วงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมาก ก็สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียทีเดียวตรงที่ใช้เวลาในการแปลงสัญญาณนานมากไป จึงไม่เหมาะในการใช้วัดแรงดันในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น การวัดแรงดันของรูปคลื่น ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง แบบสโลปคู่นี้เหมาะสำหรับใช้วัดค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแส จึงนิยมใช้กันมากในมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล และเครื่องวัดแสดงผลเป็นตัวเลขทั่วไป วงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่มีทั้งแบบแปลงเป็นตัวเลขขนาด $3(1/2)$ หลัก (แสดงผลสูงสุดเป็น 1999) และ $4(1/2)$ หลัก (แสดงผลสูงสุดเป็น 19999) หลักสุดท้ายจะแสดงค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น จึงเรียกง่าย ๆ ว่า $1/2$ หลัก

วงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบแปลงแรงดันเป็นความถี่และแบบประมาณทีละบิตนั้นมีข้อดีตรงที่ สามารถแปลงสัญญาณได้รวดเร็ว มีความแม่นยำดี เพียงแต่วงจรจะมีความซับซ้อนมากกว่าจึงมีราคาแพง ในปัจจุบัน เทคโนโลยีในการผลิตไอซีเจริญขึ้นมาก เราสามารถหาซื้อไอซีที่เป็นวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ได้ง่ายขึ้นและราคาไม่แพงนัก และในอนาคตราคาจะถูกลงอีกมาก

ไอซีที่เป็นวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่มีด้วยกันหลายเบอร์ และผลิตกันหลายบริษัท เช่น เบอร์ ICL 7106 ของบริษัทอินเตอร์ซิล (Intersil) เบอร์ MC 14433 ของบริษัทโมโตโลรา เป็นต้น บางเบอร์ก็ใช้ ไอซีเพียงตัวเดียว บางเบอร์ก็ต้องใช้ไอซี 2-3 ตัวต่อกันเป็นชุดปกติมักใช้อุปกรณ์ภายนอก เช่น ความต้านทาน คาปาซิเตอร์ ต่อเพิ่มอีกเล็กน้อย ก็สามารถใช้งานได้ดี ซึ่งในโครงการจะใช้ไอซีเพียงตัวเดียวคือ ไอซีเบอร์ 0809 และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock) คือ ไอซีเบอร์ 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 วงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ได้ถูกพัฒนาผลิตและแนะนำโดยบริษัทอินเทล ต่อมาหลายบริษัทได้รับลิขสิทธิ์ไปผลิตโดยใช้เครื่องหมายการค้าของตัวเอง เช่น ซีเมนส์ เอ.เอ็ม.ดี. ฟิลลิปส์ เป็นต้น บางบริษัทก็ได้เพิ่มเติมฟังก์ชันอื่น ๆ เข้าไป ในเล่มนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างภายในหรือฮาร์ดแวร์ 8051

ฮาร์ดแวร์ 8051 ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือสถาปัตยกรรมภายในของ 8051 จะเป็นดังรูปที่ 2.25 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนสำคัญหลัก ๆ ดังนี้

2.7.1 เป็น ซี.พี.ยู. ขนาด 8 บิต ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ A (แอสคิวิมูเลเตอร์) และรีจิสเตอร์ B

2.7.2 โปรแกรมเคาท์เตอร์ (Program Counter , PC) และดาต้าพอยท์เตอร์ (Data Pointer, DPTR) ขนาด 16 บิต

2.7.3 มีโปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (Program Status Word , PSW) ขนาด 8 บิต

2.7.4 มีสแต็กพอยท์เตอร์ (Stack Pointer , SP) ขนาด 8 บิต

2.7.5 มีหน่วยความจำรอม (ROM) หรือ อีพรอม (EPROM เฉพาะ 8751) ขนาด 0 กิโลไบต์ (8031) ถึง 4 กิโลไบต์ (8051)

2.7.6 มีหน่วยความจำแรมภายใน ขนาด 128 ไบต์ ประกอบด้วย

2.7.6.1 รีจิสเตอร์แบงก์ 4 แบงก์ แต่ละแบงก์ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ ขนาด 8 บิต จำนวน 8 รีจิสเตอร์ (R0-R7)

2.7.6.2 มีหน่วยความจำจำนวน 16 ไบต์ ที่สามารถอ้างแอดเดรสเพื่อควบคุมการทำงานในระดับบิตได้

2.7.6.3 มีหน่วยความจำสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

2.7.7 มีขารับสัญญาณอินพุท/เอาต์พุท 32 ขา แบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 8 บิต ได้สี่กลุ่มคือ P0,P1,P2,P3

2.7.8 มีไทม์เมอร์/เคาท์เตอร์ ขนาด 16 บิต สองชุดคือ T0 และ T1

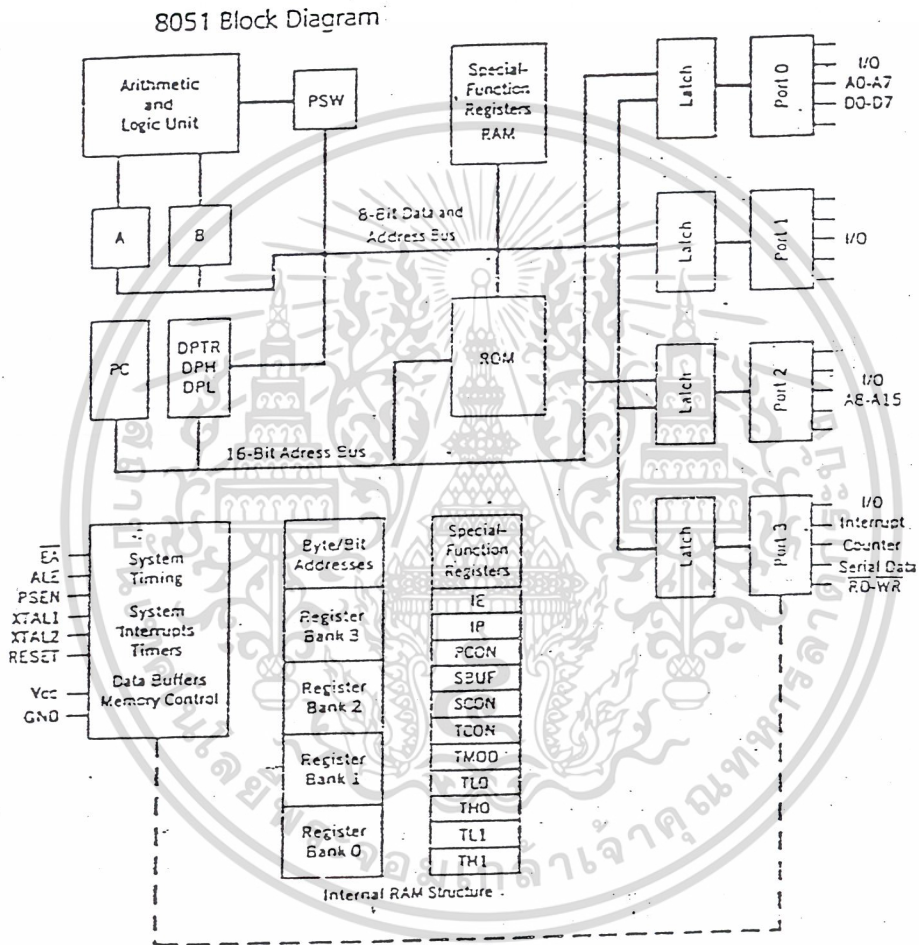
2.7.9 มีพอร์ทอนุกรมที่ใช้รับส่งสัญญาณแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) เรียกว่า SBUF

2.7.10 มีรีจิสเตอร์ควบคุม ได้แก่ TCON, TMOD, SCON, PCON, IP และ IE

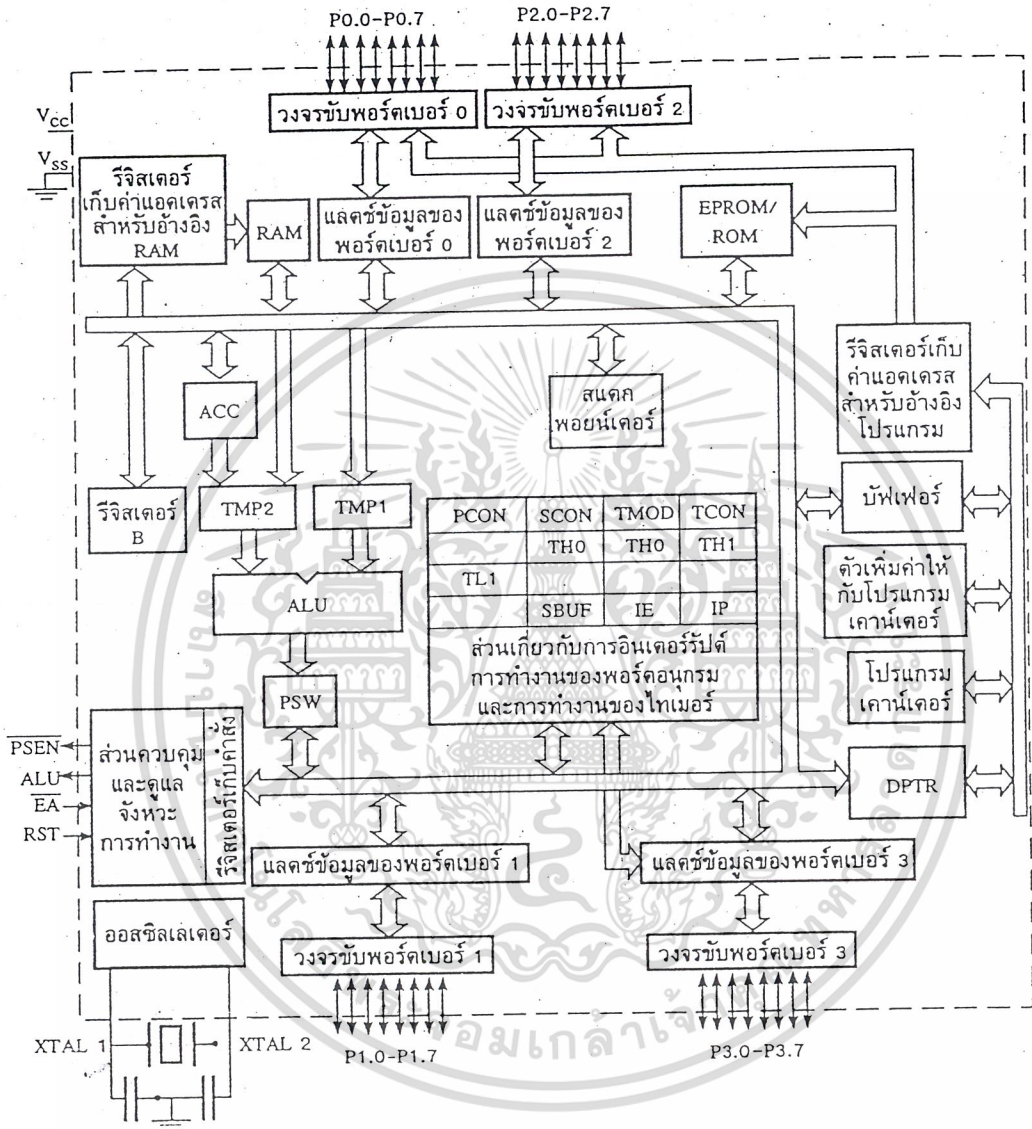
2.7.11 สามารถทำการอินเทอร์รัพได้ทั้งภายในและภายนอก การอินเทอร์รัพภายในได้มาจากแหล่งกำเนิดการอินเทอร์รัพสามแหล่ง การอินเทอร์รัพภายนอก ได้มาจากแหล่งกำเนิดการอินเทอร์รัพจากภายนอกสองแหล่ง

2.7.12 มีส่วนของออสซิลเลเตอร์และวงจรรสร้างสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2:25 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของ 8051
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของ 8051

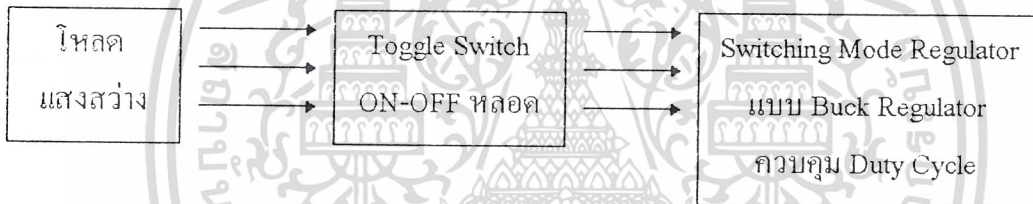
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบโหลดและวงจรสร้างงาน

ในโครงการเครื่องวัดกำลังมนุษย์ การออกแบบโหลดถือเป็นส่วนสำคัญต่อการสร้างขีดความสามารถในการวัดกำลังงาน โดยพิจารณาถึงหลักการสร้างความพอใจให้กับผู้ออกกำลังกาย ดังนั้นตามโครงการนี้ได้มีการออกแบบ Load ไว้ถึง 3 Load ได้แก่

1. โหลดแสงสว่าง เป็นโหลดที่ออกแบบไว้โดยใช้หลอดไฟ $w \Omega 20$ หลอดต่อขนานกันใช้ ทอร์กเกิ้ล สวิตช์ ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดปิดของหลอด นอกจากนี้เมื่อต่อหลอดไฟซึ่งเป็นโหลด เราสามารถควบคุมกระแสเข้าโหลดได้ด้วย switching Mode Regalotor แบบ Buck Regurator อีกทีหนึ่ง ซึ่งเป็นเป็นควบคุมโดยการปรับ duty cycle นั้นเอง อธิบายโดยพิจารณาจาก Block diagram ดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดง Block diagram ของ load แสงสว่าง

2. โหลดลดความร้อน (ลดนิโครัม) โดยออกแบบให้ค่าความต้านทานประมาณ 1 โอห์ม นำมาเป็นโหลด โดยออกแบบให้ใช้งานในลักษณะของการนำความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการต้มน้ำ ซึ่งในโครงการเครื่องวัดกำลังมนุษย์ได้มุ่งไปที่กำลัง (Watt) ที่ถูกออกแบบไว้สูงสุดนั้นคือการพิจารณาว่าที่ได้นั้นจะสามารถก่อให้เกิดความร้อนแก่ลดความร้อนมากพอที่จะทำให้ น้ำเดือดได้ตามสมการ

$$J = I^2 R t$$

เมื่อ J : พลังงานความร้อน (จูล)

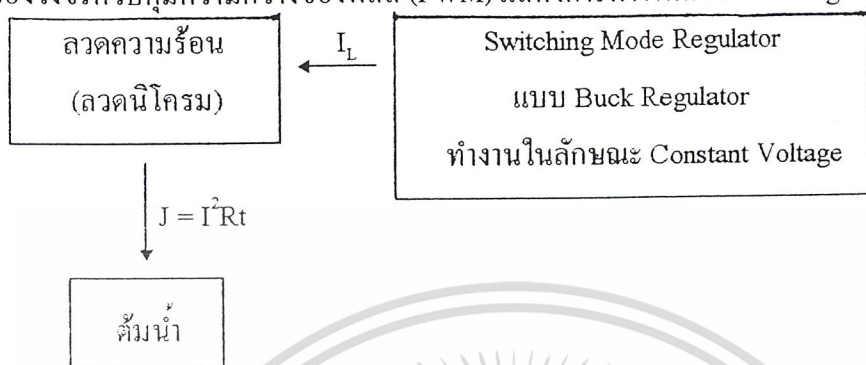
I : กระแสที่ไหลผ่านโหลด (แอมแปร์)

R = ความต้านทานของโหลด (โอห์ม)

t = เวลาที่ใช้งาน (วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานโหลดควบคุมความร้อนจะใช้งานในการทำงานของ switching Mode Regulator แบบ Buck Regulator โดยการทำงานในลักษณะของ Constant Voltage กล่าวคือ มีการออกแบบให้เกิด Voltage และกระแสที่ Load คงที่ ทำให้ Power (Watt) คงที่ที่ค่าหนึ่ง ซึ่งปรับเปลี่ยนได้โดยปรับ duty cycle ของวงจรควบคุมความกว้างของพัลส์ (PWM) แสดงการทำงานดัง Block diagram



รูปที่ 3.2 Block diagram สำหรับ load ควบคุมความร้อน

3. โหลดแบตเตอรี่ โดยการออกแบบให้ใช้แบตเตอรี่เป็นโหลดสำหรับชาร์จกระแสเข้าแบบ constant current ซึ่งวงจรการทำงานก็เป็นดังแสดงในบทที่ 2 ที่ว่าด้วยเรื่องการชาร์จแบตเตอรี่

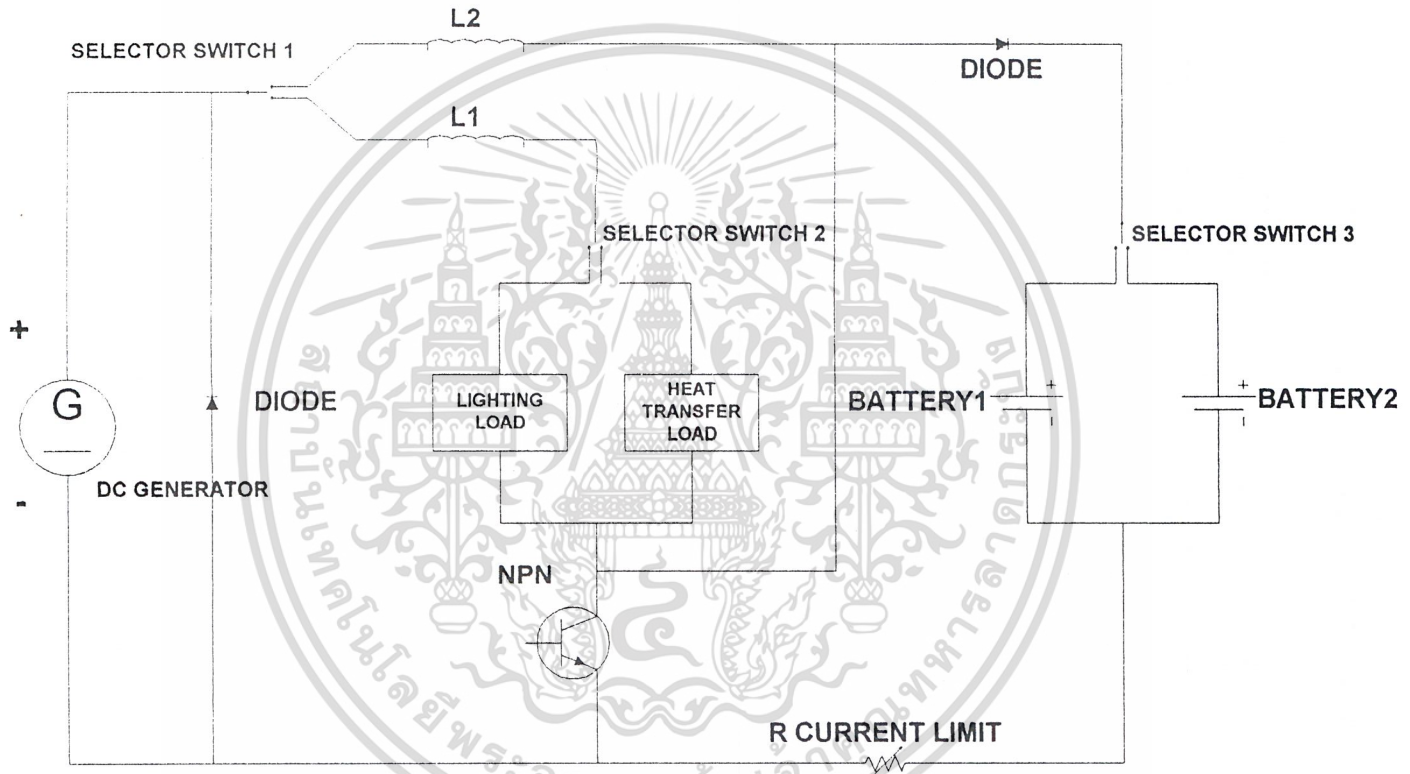
สำหรับในโครงงานเครื่องวัดกำลังมนุษย์จะออกแบบให้ใช้แบตเตอรี่ 2 ลูก สำหรับเป็นโหลด และสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงของวงจรขับเบสของทรานซิสเตอร์ โดยในการชาร์จกระแสเข้าแบตเตอรี่นั้น จะเป็นการชาร์จด้วยประจุที่ละน้อย ผู้ออกกำลังกายสามารถเลือกโหมดการทำงานสำหรับชาร์จแบตเตอรี่ได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่แบตเตอรี่นั่นเอง แสดงการทำงานดัง Block diagram



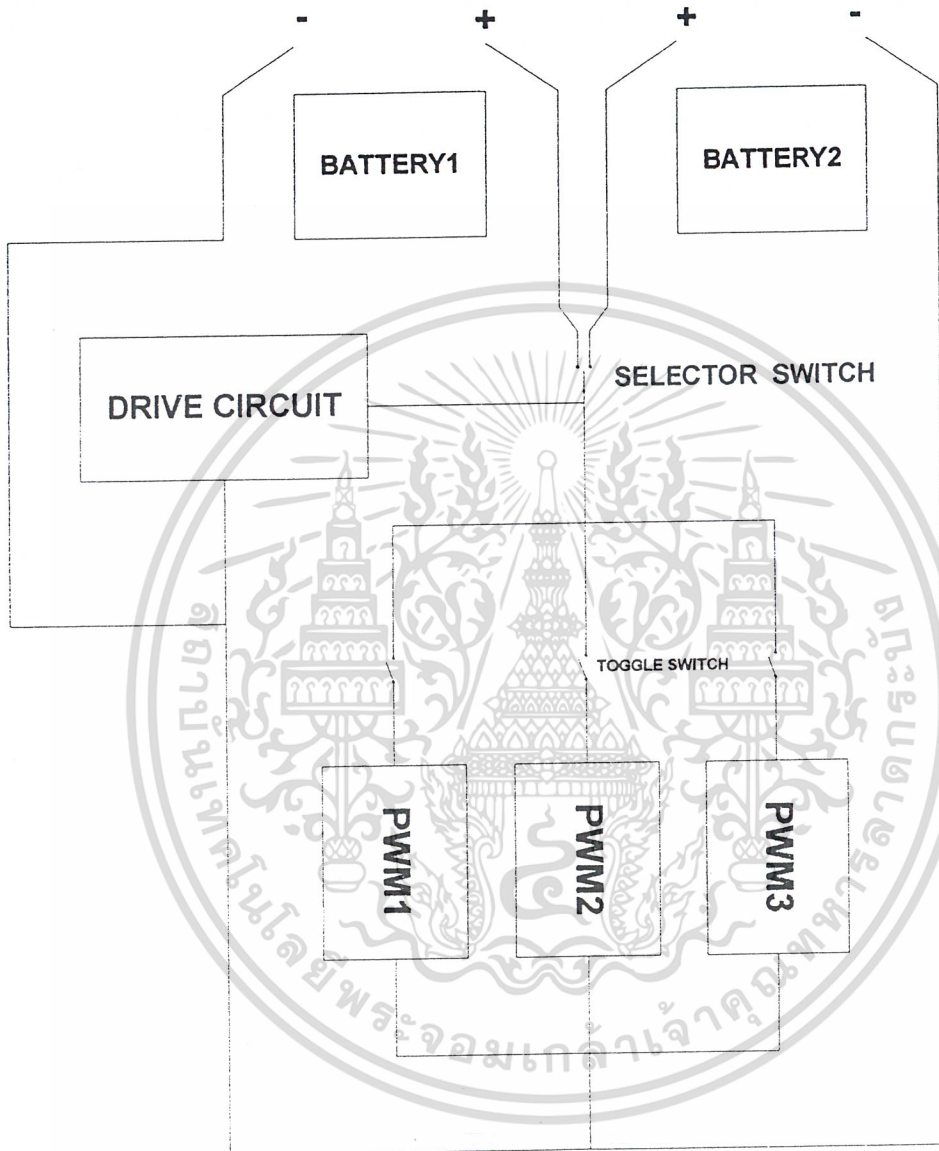
รูปที่ 3.3 Block diagram สำหรับ load แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 วงจรแสดงการต่อสำหรับสร้างโถงงานจากการออกแบบโพลิตชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 3.5 วงจรแสดงการทำงานของไฟเลี้ยงที่ได้จากการเลือกจากแบตเตอรี่ดูกลไกดูหนึ่งแสดงดังนี้



- วงจร PWM (1) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับโหลดแสงสว่างหรือลดความร้อน
- วงจร PWM (2) ถูกออกแบบเป็นวงจร Constant Voltage ใช้สำหรับลดความร้อนเป็น โหลด

• วงจร PWM (3) ถูกออกแบบสำหรับการใช้งานในการ Charge Battery ดังนั้น PWM (3) จึงใช้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
งานกรณีที่เลือกโหลดสำหรับ Charge Battery เท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การคำนวณและการสร้างโรงงาน

การคำนวณเพื่อใช้ในการออกแบบวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดกำลังงานและออกแบบโครงสร้าง โดยเราสามารถแบ่งการคำนวณเป็นข้อย่อย ๆ ดังนี้

4.1 โครงสร้างทางกล

เราจะใช้จักรยานเป็นตัวรับพลังงานที่มนุษย์ออกกำลังผ่านเฟืองงานทกรอบ เพื่อให้จำนวนรอบสูงขึ้น โดยจะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงการทกรอบของจักรยาน

จากรูปเราสามารถคำนวณความเร็วรอบและขนาดของงานได้จากสูตร

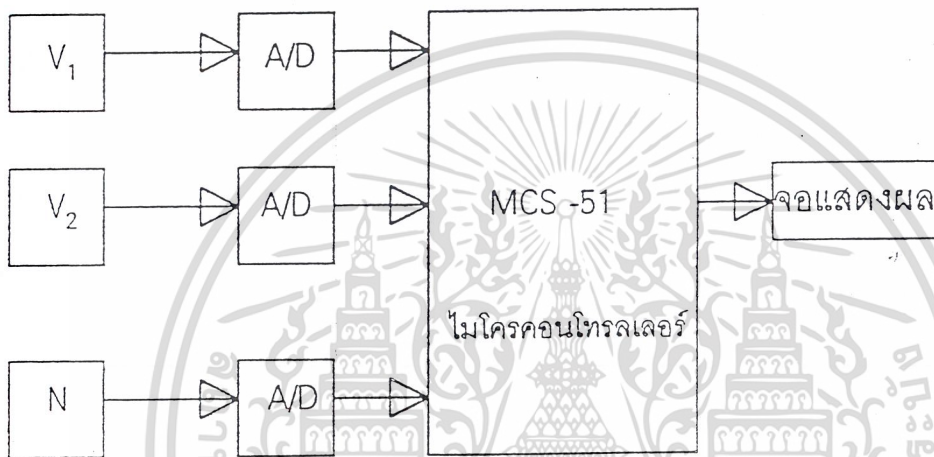
$$N_1/N_2 = D_1/D_2$$

- โดยที่ N_1 คือความเร็วรอบของงานที่ 1
 N_2 คือความเร็วรอบของงานที่ 2
 D_1 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของงานที่ 1
 D_2 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของงานที่ 2

หลังจากนั้นเราสามารถออกแบบอัตราทดตามที่เราต้องการได้ เพื่อที่จะได้ค่าความเร็วสูงขึ้น แล้วนำไปติดตั้งกับเครื่องกำเนิดเพื่อได้ตามที่เราต้องการ ศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เพื่อที่จะให้เข้าใจในการคำนวณในข้อต่อไป เราจะมาทำความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบของวงจรวัดเสียก่อน ในการวัดกำลังงานของโครงการนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นตัวคำนวณผล ดังนั้นในการวัดจะต้องมีวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D) เพื่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะมีลักษณะโคอะแกรมตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกโคอะแกรมการทำงานของโครงการ

จากบล็อกโคอะแกรมเราสามารถอธิบายบล็อกต่าง ๆ ได้ดังนี้

- V1 คือ แรงดันที่ได้รับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยผ่านวงจรแบ่งแรงดันแล้ว
- V2 คือ แรงดันที่ได้รับจากการแปลงกระแส โดยผ่านวงจรแบ่งกระแสแล้ว
- N คือ ความเร็วรอบที่ได้จากเทคโคเจน (Tachogenerator)
- A/D คือ วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล

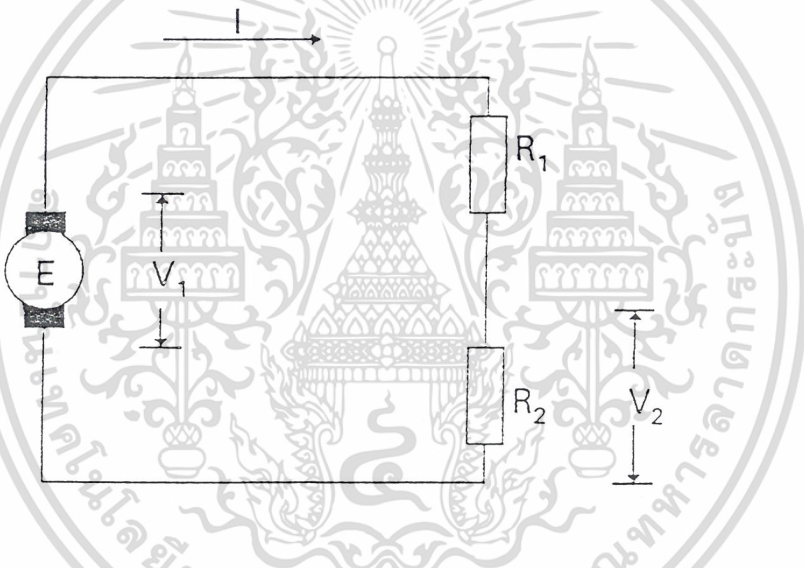
ในการวัดค่าแรงดันและกระแสจากการทดสอบกับผู้ทดสอบในการปั่นจักรยาน โดยจะได้ค่าเฉลี่ยที่ความเร็วรอบสูงสุดจะได้แรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประมาณ 20 โวลต์ ซึ่งเป็นไฟกระแสตรง และเมื่อป้อนโวลต์ให้เครื่องกำเนิดจะได้กระแสสูงสุด 24 แอมแปร์หรือจะได้กำลังสูงสุดประมาณ 480 วัตต์

จากการทดสอบจะพบว่าแรงดันสูงสุดมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับแรงดันที่จะใช้เป็นอินพุทของวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิตอลเพราะวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิตอลจะทนแรงดันสูงสุดเพียง

5 โวลต์เท่านั้น ดังนั้นในการวัดแรงดันจึงต้องใช้วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) และวงจรแบ่งกระแส (Current Diverder) ซึ่งจะอธิบายต่อไป

4.3 วงจรแบ่งแรงดัน

ในการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลที่แรงดันอินพุทเข้า 5 โวลต์เป็นอะนาล็อก จะได้แรงดัน 256 โวลต์เป็นดิจิทัล ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้น จึงกำหนดค่าแรงดันสูงสุดให้หาร 256 โวลต์ ได้ลงตัว และให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับแรงดันสูงสุดมากที่สุด ดังนั้นเราจะได้ค่าเท่ากับ 32 โวลต์ แล้วนำค่าที่ได้ไปหาอัตราส่วนในวงจรแบ่งแรงดัน โดยเมื่อแรงดันเท่ากับ 32 โวลต์ จะแบ่งแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัล



รูปที่ 4.3 วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

จากรูปวงจรสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (V), กระแส (I) และความต้านทาน (R) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_1 = I(R_1+R_2) \tag{4.1}$$

และ $V_2 = IR_2 \tag{4.2}$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$V_1/V_2 = (R_1+R_2)/R_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_2 = (V_1+R_2)/(R_1+R_2) \tag{4.4}$$

อัตราส่วนแรงดันที่เราต้องการจะได้เท่ากับ

$$R_2/(R_1+R_2) = V_2/V_1 = 5/32$$

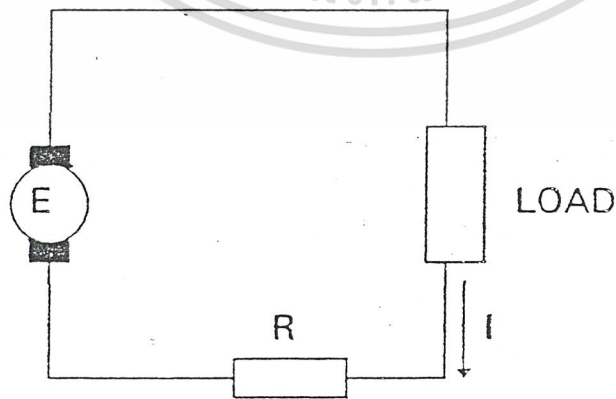
เราสามารถสรุปได้ว่าถ้าค่า R_2 เท่ากับ 5 K โอห์ม ค่าของ R_1 จะเท่ากับ 27 K โอห์ม เพื่อให้ได้อัตราส่วนตามที่เราต้องการ

4.4 วงจรแบ่งกระแส (Current Divider)

เช่นเดียวกับกับวงจรแบ่งแรงดัน เราจะต้องลดค่ากระแสที่จะป้อนเข้าวงจรแบ่งอะนาล็อก ดิจิตอลที่ทนแรงดันสูงสุดได้ 5 โวลต์ และจากการทดสอบเราจะพบว่าค่ากระแสสูงสุดเราจะได้เท่ากับ 24 แอมป์ ดังนั้นเราจะได้อัตราที่ใกล้เคียงที่หาร 256 ลงตัวก็คือ 32 แอมป์ นั่นก็คือเมื่อกระแสมีค่าเท่ากับ 32 แอมป์ จะต้องออกแบบให้วงจรแบ่งกระแสเหลือ 5 โวลต์ แต่ในวงจรแบ่งกระแสจริง เมื่อกระแสเท่ากับ 32 แอมป์ ความต้านทานจะสูงมากไม่ได้ เพราะเมื่อความต้านทานสูง วัตต์ไฟฟ้าก็จะสูงตามไปด้วย จากสูตร

$$P = I^2 R \quad (4.5)$$

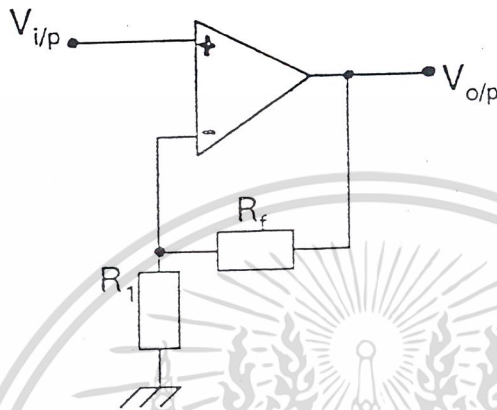
ดังนั้น เราจึงต้องต้องใช้ค่าความต้านทานต่ำ ๆ โดยออกแบบให้ใช้ค่าความต้านทาน 0.1 โอห์ม 10 วัตต์ มาต่อขนานกันให้ได้ความต้านทาน 0.0125 โอห์ม เมื่อกระแสสูงถึง 24 แอมป์ วัตต์ทางไฟฟ้าจะได้เท่ากับ 7.2 วัตต์ ซึ่งไม่เกิด 10 วัตต์ ที่ค่าความต้านทานจะทนได้ โดยจะได้วงจรดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.4 วงจรแบ่งกระแส (Current Divider)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าความต้านทาน (R) คือ ความต้านทาน 0.1 โอห์ม 10 วัตต์ ต่อขนานกัน 8 ตัว จะได้ค่าความต้านทานเท่ากับ 0.0125 โอห์ม

แต่เมื่อนำค่ากระแสมาคูณกับค่าความต้านทานแล้วจะได้แรงดันต่ำมาก จึงต้องมีการขยายแรงดันโดยใช้วงจรออปแอมป์แบบค่าเป็นบวก (Non-inverting Amp) รูป



รูปที่ 4.5 วงจร Non-inverting Amp

ค่าขยายอัตรา

$$A_v = [(R_f/R_1) + 1] = V_{o/p} / V_{i/p} \tag{4.6}$$

ดังนั้น

$$V_{o/p} = [(R_f/R_1) + 1] V_{i/p} \tag{4.7}$$

ค่าที่เราต้องการขยาย คือ เมื่อกระแสเท่ากับ 32 แอมป์ จะได้ค่าแรงดันเท่ากับค่า 32 คูณด้วย 0.0125 จะมีค่าเท่ากับ 0.4 โวลท์ แล้วจะต้องขยายแรงดันให้ได้ 5 โวลท์ เท่ากับแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัลสูงสุด ดังนั้นจะได้อัตราขยายดังนี้

$$V_{o/p} = 5 \text{ V}$$

$$V_{i/p} = 0.4 \text{ V}$$

แทนค่าในสมการ

$$A_v = 0.4 A_v$$

$$A_v = 5/0.4 = 12.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่วงจรในความเป็นจริงไม่สามารถขยายได้ถึง 12.5 เท่า ดังนั้นเราจึงทำการเปลี่ยนค่าจาก 32 แอมป์เป็น 64 แอมป์ แทน เราก็จะได้ค่าแรงดันตกคร่อมความต้านทานเท่ากับ 64 คูณด้วย 0.0125 เท่ากับ 0.8 โวลต์

จะได้

$$V_{op} = 5 \text{ V}$$

$$V_{ip} = 0.8 \text{ V}$$

แทนค่าใน (4.7)

$$5 = 0.8A_v$$

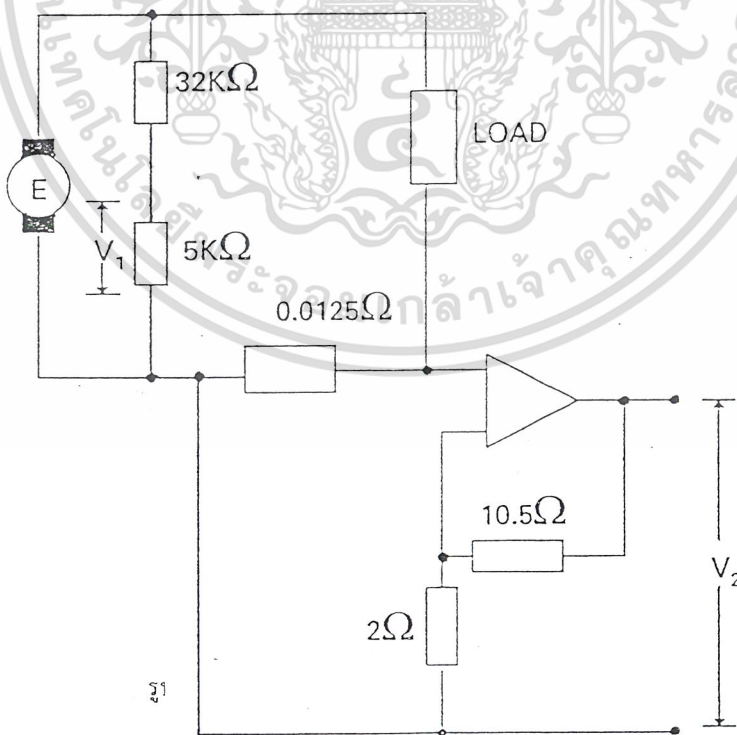
$$A_v = 6.25 \text{ เท่า}$$

และค่าความต้านทานจะเท่ากับ

$$(R_f/R_1)+1 = 6.25$$

$$R_f/R_1 = 5.25$$

ดังนั้นเราจะได้อัตราส่วนของความต้านทานเท่ากับ 5.25 โวลต์ โดยเราสามารถนำไปหาค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้า R_1 เท่ากับ 2 โอห์ม ค่า R_2 จะเท่ากับ 10.5 โอห์ม เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 4.6 มุมวงจรที่ออกแบบเพื่อใช้ในโครงงานเพื่อวัตถุประสงค์ใช้งานต่างๆ ที่มีการนำไปใช้

โดยที่ V_1 คือ สัญญาณแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัล

V_2 คือ สัญญาณกระแสที่อยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัล

4.5 การหาค่ากำลังสูญเสียและความเร็วรอบ

จากตารางทดลองเราจะพบว่า เมื่อนำค่าอัตราส่วนของอัตราส่วนของความเร็วรอบกับแรงดันจากเทคโคเจนมาหาค่าเฉลี่ยคือ

$$\begin{aligned} N/V \text{ เฉลี่ย} &= 3988.82/13 \\ &= 306.83 \end{aligned}$$

หรือประมาณ 307

แต่ในการรับแรงดันของวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อแรงดันเท่ากับ 5 โวลต์ค่าดิจิทัลจะเป็น 256

นั่นแสดงว่าเมื่อแรงดันอินพุทเท่ากับ 5 โวลต์ ดิจิตอลจะเป็น 256

ถ้าแรงดันอินพุทเท่ากับ 1 โวลต์ ดิจิตอลจะมีค่าเป็น $256/5 = 51.2$

แต่เราต้องการให้เมื่อค่าแรงดัน 1 โวลต์ ดิจิตอลจะเป็น 307 รอบต่อนาที

ดังนั้นเมื่อแรงดันเข้ามา 1 โวลต์ เราจะต้องคูณ ค่าดิจิทัลด้วยค่า $307/51.2 = 5.99$ หรือ

ประมาณ เท่ากับ 6

ดังนั้นในโปรแกรมเราจะเขียนให้เป็นสูตรดังนี้

$$N_{rpm} = 6 \cdot V_{i,c} \quad (4.8)$$

และจากการหาค่ากำลังสูญเสียในระบบเราจะทำการเทียบดังนี้คือ

เมื่อมีความเร็วรอบเท่ากับ 32 รอบต่อนาที เราจะได้กำลังสูญเสียเท่ากับ 1 วัตต์

และถ้าความเร็วรอบเท่ากับ 1 รอบต่อนาที เราจะได้กำลังสูญเสียเท่ากับ $1/32$ วัตต์

ดังนั้นในโปรแกรมจะได้สูตร

$$P_{(w)} = N_{rpm}/32 \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาเอกสารต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้

$$P_{(w)} = 6 \cdot V_{i,c}/32 \quad (4.10)$$

4.6 การนำค่าต่าง ๆ ที่ได้รับไปเขียนโปรแกรม

จากการคำนวณข้างต้น เราสามารถสรุปผลเพื่อนำไปเขียนโปรแกรมได้คือ

4.6.1 ในการวัดแรงดัน เมื่อแรงดันที่ได้รับจากเครื่องกำเนิดมีค่าเท่ากับ 32 โวลต์ แรงดันที่ป้อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ มีค่าเท่ากับ 256 เป็นสัญญาณดิจิทัล ดังนั้นค่าแรงดันที่ได้รับจะต้องโปรแกรมให้หารด้วย 8 เพื่อจะได้ค่าเท่ากับ 32 โวลต์ เท่ากับแรงดันจริง

4.6.2 การวัดกระแสก็เหมือนกับการวัดแรงดัน เมื่อกระแสสูงสุดมีค่าเท่ากับ 64 แอมป์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะได้รับเท่ากับ 256 เป็นสัญญาณดิจิทัล จึงต้องให้หารด้วย 4 เพื่อจะได้ค่าเท่ากับ 64 แอมป์ เท่ากับกระแสจริง

4.6.3 ในการคำนวณหาค่าความสูญเสียนั้น เมื่อเรารู้ค่าแรงดันที่เทคโคโนเจน จะรู้ค่าโดยทันทีที่ใช้สูตร

$$P_{(w)} = 6 \times (V_{tc}/32) \quad (4.11)$$

โดยที่

$P_{(w)}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

V_{tc} คือ แรงดันที่วัดได้จากเทคโคโนเจน

ตัวอย่างเช่น ถ้าแรงดันที่เทคโคโนเจน มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ จะได้แรงดันที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์เท่ากับ 256 โวลต์ เป็นสัญญาณดิจิทัล

แทนค่าใน (4.8)

$$\begin{aligned} P_{(w)} &= (6 \times 256)/32 \\ &= 48 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

4.6.4 ในการคำนวณหาค่าความเร็วรอบนั้นเราจะใช้สูตร

$$N_{rpm} = 6 \times V_{tc} \quad (4.12)$$

ตัวอย่างเช่น เมื่อแรงที่เทคโคโนเจนมีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ จะได้แรงดันที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์เท่ากับ 256 โวลต์ เป็นสัญญาณดิจิทัล

$$\begin{aligned} N_{rpm} &= 6 \times 256 \\ &= 1536 \text{ รอบต่อนาที (rpm)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

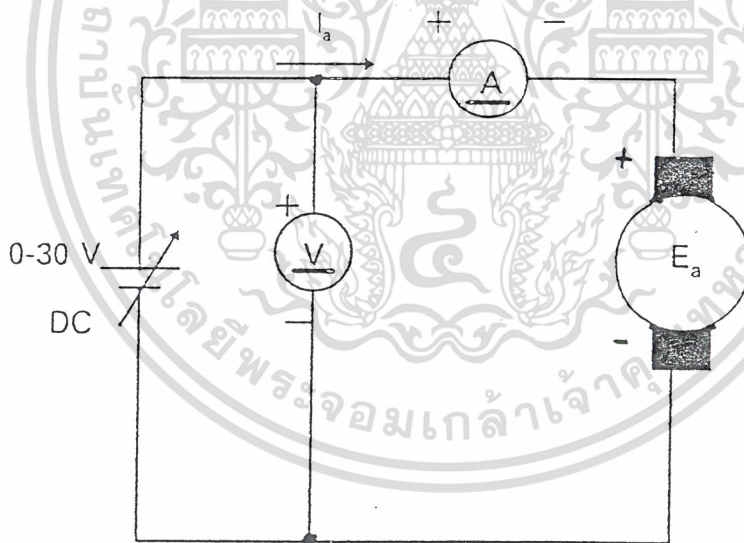
ในการทดลองเครื่องวัดกำลังงานมนุษย์จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

5.1 ทดลองก่อนการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ก่อนการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น เราจะต้องทำการทดสอบหาค่าความสูญเสียของระบบทั้งหมด ซึ่งอาจจะเกิดจากเฟืองทด และเครื่องกำเนิดดังนี้

5.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับเครื่องกำเนิดกระแสตรง (เปลี่ยนเป็นมอเตอร์กระแสตรง)
2. ทำการวัดค่าแรงดันเข้า ค่ากระแสเข้า ความเร็วรอบที่แกนเพลลา และวัดค่าแรงดันที่เทคโคโนเจน ดังรูป



รูปที่ 5.1 วงจรการทดลองหาค่าความสูญเสีย

3. ทำการคำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้า ค่าความสูญเสียทางไฟฟ้า และค่าความสูญเสียทางกล โดยค่าความสูญเสียทางไฟฟ้านั้นหาได้จากการทดลองหาค่าความต้านทานในขดลวดก่อนแล้วนำมาคูณกับค่ากระแสกำลังสอง ส่วนค่าความสูญเสียทางกลหาได้จากค่ากำลังไฟฟ้าลบด้วยค่าความสูญเสียทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่าการณี 4. ทำการทดสอบหาค่ากำลังงานสูงสุดที่ออกกำลังได้ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ผลการทดลอง

$V_{i/p}$ (V)	I_a (A)	$V_{t.c}$ (V)	N(rpm)	$P_{i/p}$ (W)	P_{loss} (W)	P_{mech} (W)
2.00	0.75	0.16	48.00	1.50	0.28	1.22
4.00	0.84	0.35	108.00	3.36	0.35	3.00
6.00	0.88	0.55	169.00	5.38	0.38	5.00
8.00	0.90	0.75	230.00	7.20	0.40	6.80
10.00	0.92	0.96	294.00	9.20	0.42	8.78
12.00	0.94	1.17	360.00	11.28	0.44	10.80
14.00	0.96	1.40	430.00	13.44	0.46	12.98
16.00	0.98	1.63	502.00	15.68	0.48	15.20
18.00	1.00	1.87	576.00	18.00	0.50	17.50
20.00	1.04	2.16	665.00	20.80	0.54	20.26
22.00	1.08	2.47	760.00	23.76	0.58	23.18
24.00	1.10	2.75	844.00	26.40	0.60	25.80
26.00	1.14	3.08	948.00	29.64	0.64	29.00

ตารางที่ 5.1 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

เราหาค่ากำลังงานสูงสุดได้โดยทดสอบกับคน 10 คน ผลปรากฏว่าในจำนวน 10 คนนั้น สามารถออกแรงได้แรงดันเท่ากับ 20 โวลท์และค่ากระแสเท่ากับ 24 แอมป์ ดังนั้นจึงได้หาค่ากำลังงานด้านการค้า สูงสุดเท่ากับ 480 วัตต์ อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความต้านทานในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Resistance) เพื่อหาค่าความสูญเสีย

ด้วยวิธี VI-Method

$V_{i/p}(V)$	$I_a(A)$	$R(\Omega)$
1	2	0.5
2	4	0.5

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองหาค่าความต้านทานในขดลวดอาร์เมเจอร์

จากการทดลองและคำนวณเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วรอบกับค่าความสูญเสียทางกลเรานำความสัมพันธ์นี้ไปคำนวณเพื่อไปเขียนโปรแกรมต่อไป

5.2 การทดลองหลักการออกแบบวงจรถออิเล็กทรอนิกส์

การทดลองหลังการออกแบบนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องวัดพลังงานมนุษย์ใช้งานได้จริงเราจึงต้องทำการทดสอบเครื่องโดยการวัดกำลังงานจริงกับค่าที่อ่านได้จากจอแสดงผล การวัดค่ากำลังงานจริงทำได้โดยการนำค่ากำลังงานไฟฟ้าบวกกับค่าความสูญเสียเมื่อเทียบกับความเร็วรอบโดยจะได้ผลการทดลองดังนี้

ค่ากำลังงานไฟฟ้า	ความเร็วรอบ	ค่าความสูญเสีย	ค่าที่อ่านได้
194	640	20	252
267	640	20	316
456	640	20	562
395	640	20	436

ตารางที่ 5.3 ตารางการทดลองการวัดกำลัง

จากการทดลองเราจะเห็นว่าค่าที่แตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับจอแสดงผลต่างกันเพียง

เล็กน้อยเพราะเนื่องจากในโปรแกรมมีการปิดเศษทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทวิจารณ์และสรุปผล

จากโครงการเครื่องวัดกำลังมนุษย์ เมื่อเราได้ทำการทดลองและออกแบบในการสร้างโครงการ จากส่วนต่างๆอันได้แก่

- การทดสอบคุณสมบัติต่างๆที่จำเป็นของ DC GENERATOR เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับโครงการ
- การออกแบบ LOAD โดยคำนึงถึงความสามารถที่เลือกได้ของผู้ออกกำลังกายรวมทั้งประโยชน์ของ LOAD แบบต่างๆ
- การออกแบบทางด้าน POWER ELECTRONICS เกี่ยวกับ SWITCHING MOAD REGURATOR เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับโครงการ
- การทดสอบเพื่อนำผลมาอ้างอิงในการใช้งานของโครงการ เราจะได้เครื่องวัดกำลังงานมนุษย์ที่ค่ากำลัง(POWER) ค่าความเร็วรอบ (SPEED) อันเป็นผลมาจากการนำค่าต่างๆที่คำนวณได้ไปเขียน โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกแสดงออกมาทางหน้าจอหลักโดยเครื่องวัด จะแสดงผลที่หน้าจอเป็นค่ากำลังและค่าความเร็วรอบ ซึ่งสามารถวัดกำลังงาน ได้จริงตามวัตถุประสงค์หลักของ โครงการ

นอกจากนี้เรายังสามารถพิจารณาถึงประโยชน์จากการออกแบบ LOAD แบบต่างๆ เช่น LOAD สำหรับดัมพ์น้ำ โดยใช้สวดความร้อนจะให้ความรู้สึกดีแก่ผู้ออกกำลังกายเมื่อสามารถปั่นจักรยานจนน้ำเดือดได้ หรือ LOAD สำหรับ CHARGE BATTERY ก็เช่นเดียวกัน จะได้ประโยชน์ต่อการประจุกระแสเข้า BATTERY ไว้ใช้งานได้

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้เกี่ยวกับการทำงานของ LOAD แบบต่างๆที่ได้ทำการออกแบบสำหรับใช้ในโครงการจุดที่จะต้องปรับปรุงอันได้แก่

การส่งจ่ายพลังงานไปที่ LOAD ยังไม่สามารถออกแบบได้ดีพอจึงส่งผลให้พลังงานที่จะนำไปใช้งานที่ LOAD แบบต่างๆไม่มากพอทำให้การใช้ประโยชน์จาก LOAD เป็นไปอย่างไม่มี ประสิทธิภาพเท่าที่ควร การทำงานของเครื่องวัดกำลังงานมนุษย์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นยังให้อึดสรุปที่ว่าด้วยการออกแบบยังไม่ดีพอเกี่ยวกับคุณสมบัติแรงบิด ความเร็วรอบ ของ DC GENERATOR ที่ออกแบบใช้งานในโครงการส่งผลให้เกิดความผิดพลาด(ERROR)ในด้านต่างๆของโครงการ ตลอดจนส่งผลต่อความรู้สึกในการใช้งานสำหรับผู้ที่ต้องการออกกำลังกายนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและการวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและการวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
 การออกแบบ LOAD การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และอื่นๆจะนำไปสู่การพัฒนา
 โครงการนี้ได้ต่อไป

ภาคผนวก ก

โปรแกรมที่ใช้ ในเครื่องวัดกำลังมนุษย์

```

: PORT_I (V0) —> V0/CONS1 —————\
:
: *—\
: PORT_V (V1) —> V1/CONS2 —————/ |
:
: |
: >>>> POWER <<<<< <— +
:
: |
: #PORT_TKGEN (V2) —> V2*CONS3 —————> /CONS4 —/
:
: |
: >>>> RPM <<<<< <—

:***** set constances *****
CONS1 EQU 4
CONS2 EQU 8
CONS3 EQU 6
CONS4 EQU 32
PORT_I equ 0F800h
PORT_V equ 0F801h
PORT_TKGEN equ 0F802h
CONTROL_PORT equ 0F803h
RATE_REFRSH equ 0 ;wait diaplay
CONS_I_UP equ 2
CONS_I_CONVRT equ 2
CONS_V_UP equ 2
CONS_TKGEN equ 5
CONS_LOSS equ 3
CONS_K equ 21
LCD_Write_I equ 0FA00h
LCD_Read_I equ 0FA01h
LCD_Write_D equ 0FA02h
LCD_Read_D equ 0FA03h
RESULT_CONS equ 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 org 8100h
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 start: ljmp main

```
init8255:
```

```
    mov     dptr,#CONTROL_PORT
    mov     a,#80h      ;all port out
    ret
```

```
: multiple 16 with 16 to 16
```

```
: AB * R0 -> AB (Limit 4 byte)
```

```
mul16:
```

```
    xch     a,r2
    push   acc
    mov     a,b
    xch     a,r3
    push   acc
    r     a,r2
    mov     b,r0
    mul     ab
    push   acc      ;store lsb only
    mov     a,r3
    mov     b,r0
    mul     ab
    xch     a,b
    mov     r0,a
    pop     acc
    add     a,r0
    mov     r0,a

    pop     acc
    mov     r3,a
    pop     acc
    mov     r2,a
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

:-----
: read data from 8255 since I,V,Gen
: T can read from 'V' cause convert to T
: R0R1 = I
: R2R3 = V
: R4R5 = Gen

```

```
get_data:
```

```

    push    dpl
    push    dph
    push    acc
    push    b

    mov     dptr,#PORT_I
    movx   a,@dptr
    mov     b,#CONS_I_CONVRT
    div    ab      ;convert to "I"
    mov     b,#CONS_I_UP
    mul    ab      ;up voltage
    mov     r0,b
    mov     r1,a      ;store

    mov     dptr,#PORT_I ;PORT_V
    movx   a,@dptr
    mov     b,#CONS_V_UP
    mul    ab
    mov     r2,b
    mov     r3,a

    mov     dptr,#PORT_I ;PORT_TKGEN
    movx   a,@dptr
    mov     b,#CONS_TKGEN
    mul    ab
    mov     r4,b

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    :pop    b
```

```

pop    acc
pop    dph
pop    dpl
ret

```

```

;-----

```

```

; get data

```

```

; AB = Round per min.

```

```

; ROR1 = Power

```

```

get_data2:

```

```

push   dph
push   dpl

mov    dptr,#PORT_TKGEN
movx   a,@dptr      ;get data from port TK
mov    b,#CONS3
mul    ab           ;find RMP
push   acc
push   b

mov    dptr,#PORT_TKGEN
movx   a,@dptr
mov    b,#(CONS3/CONS4) ;find value loss for multi to Power
mul    ab
push   acc
push   b

mov    dptr,#PORT_I
movx   a,@dptr      ;find I
mov    b,#CONS1
div    ab
push   acc

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov    dptr,#PORT_V
movx   a,@dptr
mov    b,#CONS2      ;find V

```

```

div    ab

mov    b,a
pop    acc          ;find Power
mul    ab

pop    b            ;get Loss
pop    acc
call   add16       ;AB+R0R1->AB

pop    b
pop    acc
pop    dpl
pop    dph
ret

:-----
delay:  push    dpl
        push    dph
        push    acc
        mov    dptr,#LCD_Read_I

loop_delay:
        movx   a,@dptr
        anl   a,#10000000b
        jnz   loop_delay      ;LCD busy cause wait

        pop    acc
        pop    dph
        pop    dpl

        ret

:-----
; a is position
gotoxy:
        push   dpl
        push   dph
        mov    dptr,#LCD_Write_I

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากท่านมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

call delay

movx @dptr,a

pop dph

pop dpl

ret

;-----

; a is data to LCD

display_LCD:

push dpl

push dph

mov dptr,#LCD_Write_D

call delay

movx @dptr,a

pop dph

pop dpl

ret

;-----

; initial LCD

init_LCD:

mov dptr,#LCD_Write_I ;PORT control LCD

mov a,#00111000b ;init type LCD

call delay

movx @dptr,a

mov a,#00001100b ;cursor on

call delay

movx @dptr,a

mov a,#01h ;function clear LCD

call delay

movx @dptr,a

ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

: display string until data is (ASCII 254)

: DPTR pointer by

: R3 amount of data

: R0 x axis

; R1 y axis

display_string:

push acc

cjne r1,#00h,display_s_line2

mov a,#80h

jmp set_position

display_s_line2:

mov a,#0C0h

set_position:

orl a,r0

call gotoxy

loop_next_display:

mov a,r3

jz end_display_string

mov a,#00h

movc a,@a+dptr

show_datatoLCD:

call display_LCD

inc dptr

dec r3

jmp loop_next_display

end_display_string:

pop acc

ret

: display integer 8 bit to LCD

: A = data 1 byte

: R0 = x axis (0h..13h)

: R1 = y axis (0h..1h)

display8:

push acc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

push  b           ;use all
xch   a,r2
push  acc         ;use all
mov   a,r3
push  acc         ;counter
push  dph
push  dpl
mov   r3,#00h
mov   a,r2

repeat1:
mov   b,#10      ;constance convert to BCD
div   ab
jz    next_display1
push  b          ;push result to stack
inc   r3        ;inc amount of data in stack
jmp   repeat1

next_display1:
cjne  r1,#00,line2_display
mov   a,#080h
jmp   convert_display

line2_display:
mov   a,#0C0h

convert_display:
add   a,r0
call  gotoxy
clr   c
mov   a,b

next_display2:
addc  a,#30h
call  display_LCD
mov   a,r3
jz    end_display
dec   r3
pop   acc
jmp   next_display2

end_display:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนี้ผู้จัดทำเอกสารนี้ได้อัปโหลดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end_display:

```

pop    dpl
pop    dph
pop    acc
mov    r3,acc
pop    acc
mov    r2,acc
pop    b
pop    acc
ret

```

```

:-----
: ADD-BCD 16 bit
: (Hight R7)AB + (Lower R7)ROR1 => (Hight R7)AB
adder16:

```

```

xch    a,r2
push   acc
mov    a,r3
push   acc
push   dph
push   dpl

mov    a,b           ;simulate digit 0 (bit 3-0)
anl    a,#0Fh
mov    r3,a         ;store register
mov    a,r1         ;with add
anl    a,#0Fh
add    a,r3
push   acc

clr    c

subb   a,#0Ah       ;check less than 10
pop    acc

jc     adder16_next1

push   acc
mov    a,r1
add    a,#10h
mov    r1,a

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

push  ace
mov   a,r4
push  acc
mov   a,r5
push  acc           ; store all data to stack

mov   r0,#00h
mov   r1,#00h
mov   r3,#16
mov   dptr,#Line1
call  display_string ; write blank
pop   b
pop   acc
:*****
mov   dptr,#PORT_I
movx  a,@dptr
mov   b,#00
xch  a,b
:*****
mov   r0,#00
mov   r1,#00h
mov   r7,#00h
call  display16    ; write V

mov   r0,#06
mov   r1,#01h
mov   r3,#6
mov   dptr,#Blank
call  display_string ; write blank
pop   b
pop   acc
:*****
mov   dptr,#PORT_V
movx  a,@dptr
mov   b,#00
xch  a,b

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pop    acc
clr    c
subb   a,#0Ah

adder16_next1:
push   acc
mov    a,b
anl    a,#0F0h
swap   a
mov    r3,a
mov    a,r1
anl    a,#0F0h
swap   a
add    a,r3
push   acc
clr    c
subb   a,#0Ah
pop    acc
jc     adder16_next2
inc    r0
clr    c
subb   a,#0Ah

adder16_next2:
swap   a
inc    dptr
mov    r3,a
pop    acc
orl    a,r3
push   acc

mov    a,r2    ;simulate digit 2
anl    a,#0Fh
mov    r3,a    ;store register

mov    a,r0    ;with add
anl    a,#0Fh
add    a,r3
push   acc

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clr    c
subb   a,#0Ah      ;check less than 10
pop    acc
jc     adder16_next3
push   acc
mov    a,r0
add    a,#10h
mov    r0,a
pop    acc
clr    c
subb   a,#0Ah
adder16_next3:
push   acc
mov    a,r2      ;digit 4
ani    a,#0F0h
swap  a
mov    r3,a
mov    a,r0
ani    a,#0F0h
swap  a
add    a,r3
push   acc
subb   a,#0Ah
pop    acc
jc     adder16_next4
clr    c
subb   a,#0Ah
inc    r7
adder16_next4:
swap  a
mov    r3,a
pop    acc
ori    a,r3
push   acc
mov    a,r7
ani    a,#0F0h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

swap a
mov b,a
mov a,r7
anl a,#0Fh
add a,b
swap a
mov r7,a
pop acc
mov r0,a
pop b

pop dpl
pop dph
pop acc
mov r3,a
pop acc
mov r2,a
mov a,r0
ret

```

```

: _____
: display integer 16 bit to LCD

```

```

: AB = data

```

```

: R0 = x axis

```

```

: R1 = y axis

```

```

cons_table: db 00h,00h,01h,00h, 00h,02h,00h,00h, 04h,00h,00h,08h

```

```

db 00h,00h,16h,00h, 00h,32h,00h,00h, 64h,00h,01h,28h

```

```

db 00h,02h,56h,00h, 05h,12h,00h,10h, 24h,00h,20h,48h

```

```

db 00h,40h,96h,00h, 81h,92h,01h,63h, 84h,03h,27h,68h

```

```

display16:

```

```

xch a,r2 ;R2 store value of A

```

```

push acc

```

```

mov a,r3

```

```

push acc

```

```

mov a,r4

```

```

push acc

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่เห็น อีเมลนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov a,r5
push acc
mov a,r7
push acc
push dph
push dpl

mov dptr,#cons_table
mov a,r1 ;now no use R0 then push to stack
push acc ;use R0 for addetion
mov a,r0 ;now no use R1 then push to stack
push acc ;now R1 for addetion
mov r3,b ;R3 store value of B
mov r0,#00h
mov r1,#00h
mov r5,#01h ;init R5
mov r7,#00h
loop_check:
mov a,r3 ;check bit
anl a,r5 ;check digit
jz check_endloop
mov b,r1
mov a,r0
push acc
mov a,#00h
movc a,@a+dptr
ori a,r7
mov a,r7
mov a,#01h
movc a,@a+dptr
mov r0,a
mov a,#02h
movc a,@a+dptr
mov r1,a
pop acc
call -adder16 ;adder BCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov r0,a
mov r1,b
check_endloop:
inc dptr
inc dptr
inc dptr
mov a,r5
rl a
mov r5,a
anl a,#11111110b
jz next_adder
jmp loop_check
next_adder: ;high byte
mov r5,#01h
high_adder:
mov a,r2
anl a,r5
jz next_check_loop
mov b,r1
mov a,#00h
movc a,@a+dptr
ori a,r7
mov r7,a
mov a,#02h
movc a,@a+dptr
mov r1,a
mov a,r0
push acc
mov a,#01h
movc a,@a+dptr
mov r0,a
pop acc
call adder16

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบหมายให้จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

next_check_loop:

```

inc   dptr
inc   dptr
inc   dptr
mov   a,r5
rl    a
mov   r5,a
anl   a,#11111110b
jz    complete_change_BCD
jmp   high_adder

complete_change_BCD:                ;now result store to (Hight R7)R0R1
                                        ;old R0R1 in stack
pop   acc
mov   b,a
pop   acc
jz    show_line2
mov   r2,#0C0h
jmp   next_show

show_line2:
mov   r2,#80h

next_show:
mov   a,b
orl   a,r2
call  gotoxy
mov   r2,#00H                ;MSB is zero
mov   a,r7                    ;Write msb
jz    show_digit4
anl   a,#0F0h
swap  a
add   a,#30h
call  display_LCD
inc   r2

show_digit4:
mov   a,r0
anl   a,#0F0h
jz    show_digit4_2
show_digit4_1:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

swap a
add a,#30h
call display_LCD
inc r2
jmp show_digit3

```

```

show_digit4_2:
cjne r2,#00,show_digit4_1
push acc
mov a,r2
pop acc
jnz show_digit4_1

```

```

show_digit3:
mov a,r0
anl a,#0Fh
jz show_digit3_2

```

```

show_digit3_1:
add a,#30h
call display_LCD
inc r2
jmp show_digit2

```

```

show_digit3_2:
cjne r2,#00,show_digit3_1
push acc
mov a,r2
pop acc
jnz show_digit3_1

```

```

show_digit2:
mov a,r1
anl a,#0F0h
jz show_digit2_2

```

```

show_digit2_1:
swap a
add a,#30h
call display_LCD
inc r2
jmp show_digit1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

show_digit2_2:
    cjne r2,#00,show_digit2_1
    push acc
    mov a,r2
    pop acc
    jnz show_digit2_1

```

```

show_digit1:
    mov a,r1
    anl a,#0Fh
    add a,#30h
    call display_LCD

    pop dpl
    pop dph
    pop acc
    mov r7,acc
    pop acc
    mov r5,acc
    pop acc
    mov r4,acc
    pop acc
    mov r3,acc
    pop acc
    mov r2,acc
    ret

```

:————— adder 16 bit —————

: adder binary 16

: AB + R0R1 -> AB & carry flag

add16:

```

push acc
mov a,b
add a,r1
mov b,a
pop acc
addc a,r0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

:----- MAIN -----
;***** data *****
Line1:   db '           ' ;Power   W '
Line2:   db '           ' ;Round   rpm '
Blank:   db ' '

main:

;***** Header *****

    call  init_LCD
    call  init8255

    mov   r3,#20
    mov   r0,#0
    mov   r1,#0
    mov   dptr,#Line1
    call  display_string      ;write Line 1

    mov   r3,#20
    mov   r0,#0
    mov   r1,#1
    mov   dptr,#Line2
    call  display_string      ;write Line 2

;***** display data *****
again:

    call  get_data2
    push  acc
    push  b                ;push Round per min.
    mov   a,r0
    push  acc
    mov   a,r1
    push  acc                ;push Power

    mov   a,r2
    push  acc
    mov   a,r3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*****
```

```
mov r0,#05
mov r1,#00h
mov r7,#00h
call display16 ; write V
```

```
*****
```

```
mov dptr,#PORT_TKGEN
movx a,@dptr
mov b,#00
xch a,b
```

```
*****
```

```
mov r0,#10
mov r1,#00h
mov r7,#00h
call display16 ; write Gen
```

```
mov r0,#00h
mov r1,#01h
mov r3,#16
mov dptr,#Line1
call display_string ; write blank
```

```
call get_data2
push acc
push b ;push Round per min.
mov a,r0
push acc
mov a,r1
push acc ;push Power
```

```
mov r0,#00
```

```
mov r1,#01h
```

```
mov r7,#00h
```

```
pop acc
```

```
pop b
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
call display16      ; write Gen
```

```
mov r0,#08
```

```
mov r1,#01h
```

```
mov r7,#00h
```

```
pop b
```

```
pop acc
```

```
call display16      ; write Gen
```

```
***** delay *****
```

```
delay22:
```

```
mov r1,#RATE_REFRSH
```

```
delay23:
```

```
dec r1
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
cjne r1,#00,delay23
```

```
dec r0
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
cjne r0,#00,delay22
```

```
jmp again
```

```
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
การคำนวณค่าต่าง ๆ ที่ใช้วงจร

การออกแบบวงจรสับเบออร์เพื่อใช้ใน Switching-Mode Regulator

ในโครงการงานเครื่องวัดกำลังงานมนุษย์ได้มีการนำเอาวงจรสับเบออร์ ซึ่งเป็นวงจรป้องกันทรานซิสเตอร์มาใช้งาน

สำหรับค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
ส่วนวงจรสับเบออร์ ช่วงหยุดนำกระแส



ความถี่สร้างโครงการ ความถี่ = 25 KHZ ; $T = 1/f = 1/(25 \times 10^3) = 4 \times 10^{-5} \text{ sec}$
 $T = 0.04 \text{ ms} = 6 \times 10^{-7} \text{ min}$

$t_{on} = 98\% = (6.53 \times 10^{-5}) / 100 \text{ min} = 5 \times 10^{-7} \text{ min}$

$t_{off} = 2\% = (2 \times 6 \times 10^{-7}) / 100 \text{ min} = 1.2 \times 10^{-8} \text{ min}$

$I_p (PK) = 25 \text{ Amp}$ $V_{in} = 25 \text{ V}$

ดังนั้น ค่า $C_1 = (25 \times 1.2 \times 10^{-8}) / (2 \times 25) = 6 \times 10^{-9} \text{ F}$

$C_1 = 6 \mu\text{F}$

ค่า $R_1 = (5 \times 10^{-7}) / (2.3 \times 6 \times 10^{-9}) = 36.23 \Omega$

ค่ากำลังงานสูญเสียใน R_1 กำหนดได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $P_D = (C_1 (2 V_{in})) / 2 T = ((6 \times 10^{-9}) (2 \times 25)) / 2 (6 \times 10^{-7})$
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
= 12.5 watt

เพราะฉะนั้น ค่าของ $C_1 = 6$ ไมโครฟารัด
 $R_1 = 36.23 \Omega$
 ค่ากำลังงานสูญเสียใน $R_1 = 12.5$ watt

ทฤษฎีของทรานซิสเตอร์กำลัง (Power Transistors)

ทรานซิสเตอร์กำลัง คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีหลักการทำงานคล้ายกับ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรขยายทั่วไป แต่มีพิกัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าสูงกว่ามาก

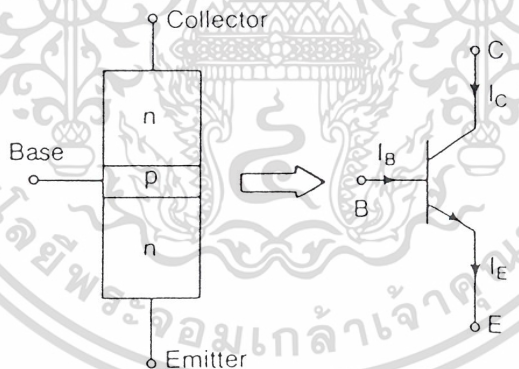
ทรานซิสเตอร์กำลัง แบ่งออกกว้าง ๆ ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อ ไบโพลาร์
2. มอสเฟตกำลัง

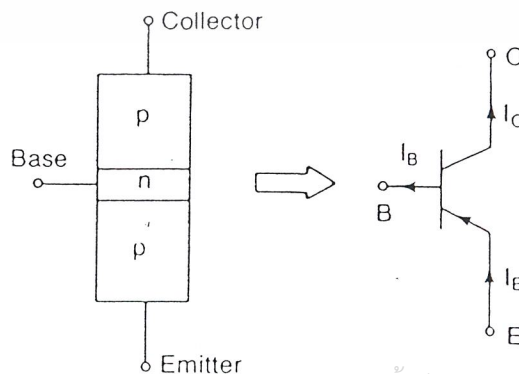
ซึ่งในที่นี้จะขออธิบายในรายละเอียดเฉพาะทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อ ไบโพลาร์เท่านั้น เพราะเป็น ชนิดที่ใช้ในโครงการนี้

ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อ ไบโพลาร์ (BJT) เรียกสั้น ๆ ว่า ทรานซิสเตอร์ มี 3 ขั้ว คือ ขั้วเบส , ขั้วอีมิเตอร์ และขั้วคอลเลกเตอร์ ซึ่งแบ่งออกตามโครงสร้างได้เป็น 2 ชนิด คือ

- ชนิด NPN



- ชนิด PNP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การคำนวณค่า Inductance (L) และ Capacitance (C) ที่ใช้ใน Swiching Mode Regulator ใน
โครงงาน**

จาก
$$\Delta I = (V_s K (1-K)) / fL$$

จากโครงงาน

$$V_s = 25 \text{ V}$$

$$K = \text{Duty Cycle} = 0.98$$

$$f = 25 \text{ kHz}$$

$$\Delta I = 0.8 \text{ A}$$

$$L = ((25)(0.98)(1-0.98)) / ((25 \times 10^3)(0.8))$$

$$= 0.0295 \text{ mH}$$

นั่นคือ ค่า Inductance ที่ใช้ในวงจรประมาณ 0.0295 mH

$$\Delta V_c = 20 \text{ mV}$$

$$\Delta I = 0.8 \text{ A}$$

จาก

$$C = \Delta I / 8f\Delta V_c$$

$$C = 0.8 / ((8)(25 \times 10^3)(20 \times 10^{-3}))$$

$$C = 0.2 \mu\text{F}$$

นั่นคือ ค่า Capacitance ที่ใช้ในโครงงานมีค่าเท่ากับ 0.2 ไมโครฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ทฤษฎีของวงจรขับเบส

เนื่องจากในโครงการเครื่องวัดกำลังมนุษย์ได้มีการนำเอา Switching Mode Regulator มาใช้ในการสร้างโครงการโดยส่วนสำคัญส่วนหนึ่ง ก็คือ วงจรขับเบสหรือวงจร Drive ใช้ทรานซิสเตอร์ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์เพื่อขับให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน

วงจรขับเบสส่วนใหญ่ประกอบด้วย

1. ส่วนแบบกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง เพื่อป้องกันการรบกวนและเป็นอันตรายจากไฟแรงดันสูง จากวงจรกำลังโดยใช้ออปโตคัปเปิล (optocouple) ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ P521 และมีการต่อวงจรช่วยในลักษณะที่เพิ่มขีดความสามารถในด้านความเร็วและให้มีการเลื่อนเฟสระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตให้น้อยที่สุด
2. ส่วนของการให้มีแรงดันเป็นลบ ก็เพื่อเร่งการหยุดทำงานของมอสเฟตหรือ Power Transistor ให้เร็วขึ้น

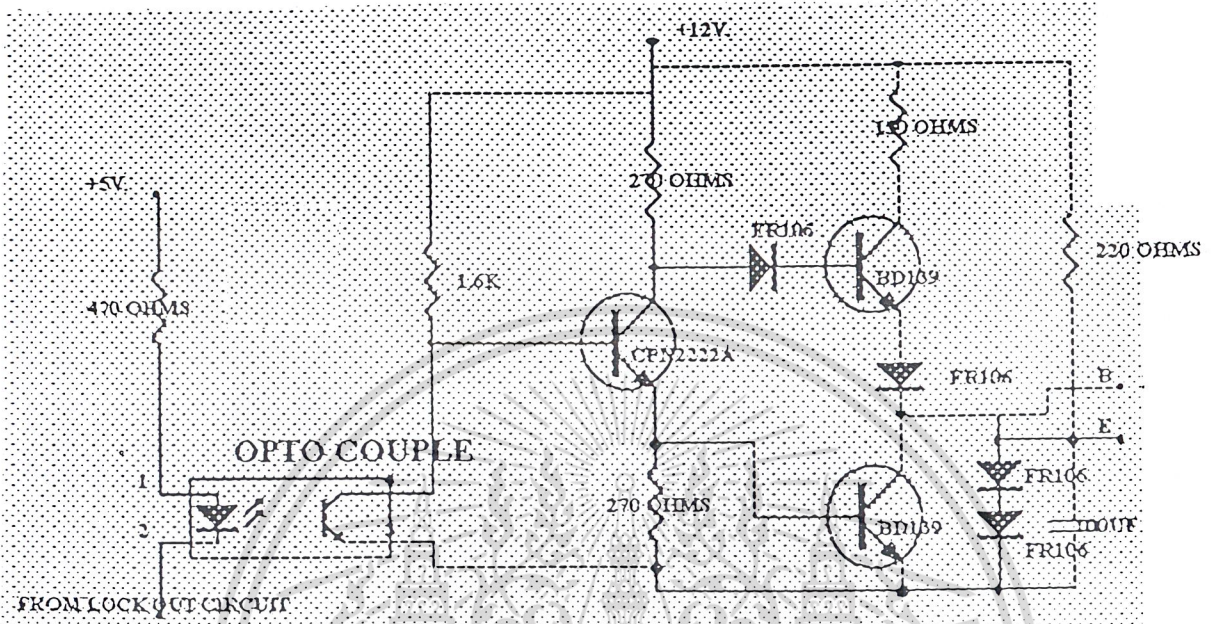


รูปที่ 1 ข. แสดง Wave forms ของ Voltage ที่ขาเบส

หลักการทำงาน

เมื่อสัญญาณ PWM เข้ามาที่ออปโต-คัปเปิล โดยมี R ทำหน้าที่จำกัด I ให้กับออปโต-คัปเปิล I ที่ไหลเข้าออปโต-คัปเปิล จะไปไบอัสให้ LED ที่อยู่ใน opto คัดและดับตามสัญญาณ PWM ที่ป้อนเข้าไป เมื่อ LED คัด (on) โฟโตทรานซิสเตอร์ที่อยู่ภายใน IC ได้รับการไบอัสให้เกิดการนำกระแส และสัญญาณ output ที่ได้จะถูกนำไปขยายสัญญาณโดยใช้ Transistor เบอร์ BD139 และนำสัญญาณที่ได้จากทรานซิสเตอร์ควมผ่านวงจรคาร์ลิงคิน เพื่อทำหน้าที่ขยาย I (กระแส) ให้สูงขึ้นพอที่จะนำไปขยาย

สัญญาณเพื่อขับให้แก power switching ได้ โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณ PWM แบบ 3 ระดับ (+ ground -) ทั้งนี้เพื่อให้แรงดันซีกลบทำหน้าที่ให้ power switching หยุดทำงานได้เร็วขึ้น จากวงจรจะเห็นว่าสัญญาณซีกลบนี้จะได้จากไดโอดที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุนั่นเอง



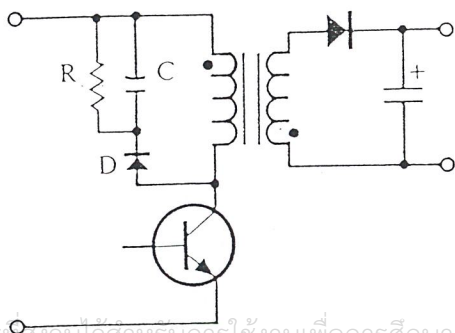
รูปที่ 2 ข. แสดงรูปวงจรขับเกท

ทฤษฎีของวงจรสับเบอร์

วงจรสับเบอร์เป็นวงจรที่ถูกออกแบบสร้างขึ้นสำหรับป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ switching เช่น power transistor, มอสเฟต เป็นต้น

ลักษณะของวงจรสับเบอร์ที่ป้องกันอุปกรณ์ switching มี 2 ลักษณะคือ

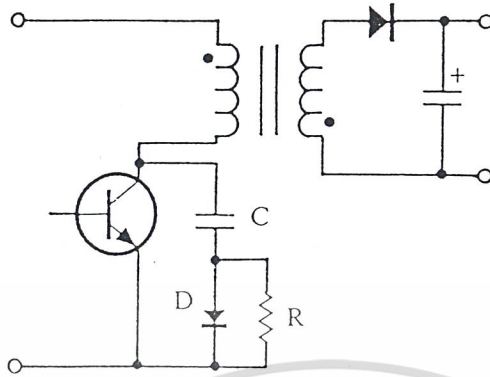
1. ป้องกันแรงดันเกิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 ข. แสดงวงจรสับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

2. วงจรสับเบออร์ช่วยหยุดนำกระแส



รูปที่ 4 ข. แสดงวงจรสับเบออร์ช่วยหยุดนำกระแส

ซึ่งวงจรสับเบออร์จะช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นแก่ทราานซิสเตอร์นั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปวงจรแสดงการสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) สำหรับควบคุมการทำงานของ Power Transistor แสดงดังนี้

โดยการใช้ไอซีเบอร์ TL 494



วงจร PWM สำหรับวงจร Charge Battery

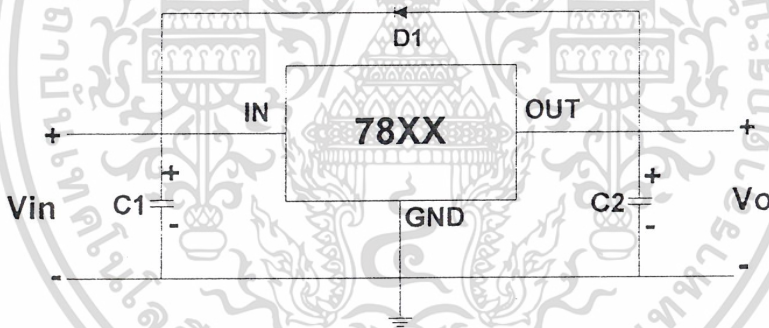
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Regulator

DC Fixed Voltage Regulator

ปัจจุบันมี IC ใช้งานเป็น Voltage Regulator อยู่มากมาย (ไอซี 3 ขา) ที่นิยมใช้กัน เช่น ไอซีตระกูล 78XX โดยที่ XX 2 ตัวหลัง เป็นตัวระบุค่า Voltage เช่น เบอร์ 7805 จะมีค่าแรงดัน O/P เป็น +5 V , เบอร์ 7812 ให้แรงดัน O/P เป็น +12 V หรือตระกูล 79XX ซึ่งเป็นไอซีที่ให้ O/P เป็นลบ

ไอซีตระกูลนี้มีวงจรจำกัด กระแสภายในตัวเพื่อป้องกันกระแส Load มากเกินขีดจำกัด ซึ่งอาจจะทำให้ IC เสียหายได้ (หรืออุปกรณ์อื่นเสียหายได้) การใช้งาน IC เหล่านี้ทำได้ง่าย เพราะใช้อุปกรณ์อื่น ๆ ประกอบน้อยมาก สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ แรงดัน V_{in} เพราะจะมีแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อม IC ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตจะกำหนดไว้ใน Datasheet เรียกว่า Dropout Voltage สำหรับไอซีตระกูล 78XX มี Dropout Voltage ประมาณ 2 Volt ดังนั้น V_{in} ต่ำสุดจะต้องมีค่ามากกว่า $V_o + 2 V$ และ V_{in} สูงสุดก็จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ใน Datasheet เพราะจะทำให้ IC เสียหายได้



ตัวเก็บประจุ C_1 มีไว้เพื่อลดทอนผลของความเหนี่ยวนำของสายตัวนำ ($L \frac{di}{dt}$) ที่ต่อไฟป้อนแหล่งจ่าย Bridge Rectifier ส่วน C_2 ใช้ลดทอนผลของสัญญาณรบกวนความถี่สูงทางด้าน O/P ของไอซี Regulator

ค่า C_1 และ C_2 คูได้จาก datasheet ของไอซีเบอร์นั้น ๆ ปกติค่า C_1 จะเท่ากับ 0.22 μF (แบบ Ceramic) และค่า C_2 จะเท่ากับ 0.1 μF (ไม่ควรน้อยกว่า 0.01 μF)

ส่วน Diode D_1 มีไว้สำหรับป้องกันไอซี Regulator เมื่อ $V_{in} = 0$ (เปิด power supply) กระแสที่ Charge ไว้ โดย C_2 จะ discharge ผ่าน Diode แทน

ปกติ IC ตระกูล 78XX หรือ 79XX จะจ่ายกระแสสูงสุดได้ไม่เกิน 1 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

สารอาหาร

สารอาหารที่ร่างกายต้องการมีอยู่หลายชนิดแบ่งได้ดังนี้

1. คาร์โบไฮเดรต

1.1 คาร์โบไฮเดรตมีหน้าที่ให้พลังงาน คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงาน 4 แคลอรี

1.2 ควรกินอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 50% ของความต้องการพลังงานทั้งหมดของร่างกาย

1.3 ความต้องการคาร์โบไฮเดรตของร่างกายต่อวัน

ความต้องการคาร์โบไฮเดรตของร่างกายขึ้นอยู่กับน้ำหนัก ขนาดของร่างกาย งานที่ทำเป็นประจำของคนนั้น ๆ เช่น ชาวนา ชาวสวน มีความต้องการมากกว่าคนอาชีพอื่น ๆ 6-7 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

อย่างไรก็ดีไม่ว่าจะเป็นคนในอาชีพใด อย่างน้อยที่สุดวันหนึ่ง ๆ ควรจะได้รับประมาณ 4-6 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

2. ไขมัน

2.1 ไขมันให้พลังงานมากกว่าสารอื่น ๆ ไขมัน 1 กรัม ให้พลังงาน 9 แคลอรี

2.2 ไม่ควรกินไขมันเกิน 30% ของความต้องการพลังงานทั้งหมดของร่างกาย

2.3 ความต้องการของร่างกายต่อวัน

ความต้องการอาหารไขมัน หรือพลังงานจะไม่เท่ากันทุกคน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเพศ อายุ และที่สำคัญก็คือ ประเภทของกิจกรรมที่ทำอยู่ประจำวัน รวมทั้งการใช้ร่างกายเป็นประจำหรืองานเบามากน้อยเพียงใดด้วย

กิจกรรมแบ่งเป็น 3 ประเภท

1. งานเบา ได้แก่ ผู้ทำงานในสำนักงาน ผู้ชำนาญการทางด้านอาชีพต่าง ๆ เช่น แพทย์ ครู นักบัญชี สถาปนิก แม่บ้านที่ทำงานโดยมีเครื่องผ่อนแรง เสมียนหน้าร้านและผู้ที่กำลังหางานทำ

2. งานหนักปานกลาง ได้แก่ ผู้ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทเบา นักศึกษา พนักงานร้านขายยา ชาวประมง พนักงานหญิงในห้างสรรพสินค้า แม่บ้านที่ทำงานโดยไม่มีเครื่องผ่อนแรง

3. งานหนัก ได้แก่ ชาวนา ชาวไร่ ชาวสวน กรรมกรแบกหาม พนักงานป่าไม้ ทหารประจำการ การออกกำลังกาย ทั้งสิ้น ล้วนทั้งหนักหรือหนักแต่แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีหาจำนวนแคลอรีที่ต้องการให้อ่านน้ำหนักตัว คุณด้วยจำนวนแคลอรีในประเภทที่อยู่ในอาชีพของตนเอง จากตารางข้างล่าง

เพศ	งานเบา	งานปานกลาง	งานหนัก
ชาย	1.55	1.78	2.10
หญิง	1.56	1.64	1.82

3. โปรตีน

3.1 โปรตีน 1 กรัม ให้พลังงาน 4 แคลอรี

3.2 ความต้องการ โปรตีนของร่างกายแต่ละคนจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสภาพร่างกาย อายุ เพศ แตกต่างกันไป โดยทั่วไป ผู้ใหญ่ควรได้รับประมาณ 15% ของความต้องการพลังงานทั้งหมดของร่างกาย

ผู้ใหญ่	0.75 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม
หญิงมีครรภ์	เพิ่มขึ้นอีกวันละ 7 กรัม
หญิงให้นมลูก	เพิ่มขึ้นอีกวันละ 19 กรัมในระยะ 6 เดือนแรก และ 14 กรัมในระยะ 6 เดือนหลัง
เด็กอายุ 3-5 เดือน	1.85 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม
เด็กอายุ 9-11 เดือน	1.50 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม
เด็กอายุ 1-3 ปี	1.2 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม
เด็กอายุ 10-12 ปี	1.00 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม
เด็กอายุ 16-19 ปี	0.80 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

อาหาร	ปริมาณ	น้ำหนักประมาณ (กรัม)	พลังงานปริมาณ (แคลอรี)
เนย	1 ช้อนโต๊ะ	-	100
ครีมใส่กาแฟ	1 ช้อนโต๊ะ	-	30
นมยี่ห้อไม่เอาครีมออก	1 ถ้วย	-	150
โยเกิร์ต	1 ถ้วย	-	125
ไข่	1 ฟอง	-	80
น้ำมันถั่วเหลืองสำหรับทอด	1 ช้อนโต๊ะ	-	120
ปลาทอด	1 ชิ้น	65	135
เนื้อสุก	1 ถ้วย	-	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงคุณเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี ผู้ร่วมโครงการทุกคนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์พิชิต ลำยอง ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมการทำโครงการนี้และกรุณาให้คำแนะนำแนวความคิดต่าง ๆ ในการดำเนินงาน อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานในโครงการนี้

ผู้ร่วมโครงการขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และอาจารย์ท่านอื่น ๆ ที่ได้ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจ ตลอดการทำโครงการนี้

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการดำเนินงานครั้งนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่าน ช่างค้น ผู้ร่วมงานผู้ศึกษาซึ่งอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิชิต ล้ายอง , “ เครื่องจักรกลไฟฟ้า1 ”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2539
- [2] วิชัย สังข์จันทร์านนท์ “ การควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ” , บริษัท ส.เอเชีย เพรส จำกัด
- [3] มงคล ทองสงคราม “ เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ ”
- [4] บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด “ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ”
- [5] ดร. กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ “ ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ”
- [6] ศุ้ย ชุมสาย หม่อมหลวง , “ ก็นดีเพื่อยุติ ” ,เขตโล่การพิมพ์,2536
- [7] เปรมจิตต์ สิริศิริ และสุทิน เกตุแก้ว , “ ก็นอยู่เพื่อยุติ เล่ม 2 ” ,เขตโล่การพิมพ์,2538



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้