

รถจักรยานชาร์จเจอร์
BICYCLE CHARGER

นายวิฑูลย์ กक्षाเกษตรวิทย์ รหัส 41362278
นายศราวุธ สมยา รหัส 41362328

12083192

| |
|-----------------------------|
| ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| วันที่รับ..... 30 พ.ย. 2544 |
| เลขทะเบียน..... P. 4400622 |
| เลขเรียกหนังสือ..... 7L |
| มหาวิทยาลัยนเรศวร 410 |
| J 5745 |

2544 C.2
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2544



รถจักรยานชาร์จเจอร์

BICYCLE CHARGER

นายวิฑูลย์ กล้าเกษตรวิทย์ รหัส 41362278
นายศราวุธ สมนยา รหัส 41362328

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2544



ใบรับรองโครงการวิจัย

หัวข้อโครงการ รดจักรยานชาร์จเจอร์
ผู้ดำเนินโครงการ นายวิฑูลย์ กัด้าเกษตรวิทย์ รหัส 41362278
นายศราวุธ สมยา รหัส 41362328
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สมชาย โขคมาวิโรจน์
สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2544

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัย

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ชยยุทธ ชนบทดีเฉลิมรุ่ง)

.....กรรมการ

(อาจารย์สุชาติ หุ้มเม่น)

.....กรรมการ

(อาจารย์สมชาย โขคมาวิโรจน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ชนศิริ จำเพชร)

.....กรรมการ

(อาจารย์สุพรรณิกา ยิ่งอยู่)

| | | | |
|------------------|-----------------------------|--------------|---------------|
| หัวข้อโครงการ | รถจักรยานชาร์จเจอร์ | | |
| ผู้ดำเนินงาน | นายวิฑูย์ | กัญญาธรวิทย์ | รหัส 41362278 |
| | นายศราวุธ | สมยา | รหัส 41362328 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์สมชาย | โชคมาวิโรจน์ | |
| สาขา | วิศวกรรมไฟฟ้า | | |
| ภาควิชา | วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ | | |
| ปีการศึกษา | 2544 | | |

บทคัดย่อ

โครงการนี้ เป็นการเสนอการสร้างรถจักรยานชาร์จแบตเตอรี่ (นิกเกิล - แคดเมียม) ซึ่งจะประกอบด้วยเงินนอร์เรเตอร์ที่สามารถผลิตกระแส และแรงดันเพื่อนำไปจ่ายให้กับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ได้ ส่วนที่สองเป็นส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ซึ่งสามารถชาร์จแบตเตอรี่ (นิกเกิล - แคดเมียม) ขนาด AA 1.25 V ความจุ 500 mAh ได้ ไม่ต่ำกว่า 2 ก้อน โดยการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ จะสามารถหยุดชาร์จประจุได้เมื่อ 1) เมื่อแรงดันตกคร่อมแต่ละเซลล์เพิ่มขึ้น เกิน 1.35 โวลต์ 2) เมื่ออุณหภูมิของถ่านแต่ละเซลล์เพิ่มขึ้นเกิน 42 องศาเซลเซียส

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการครั้งนี้ คือ ได้รถจักรยานที่สามารถผลิตแรงดันออกมาได้เมื่อใช้งาน และสามารถนำแรงดันที่ได้นั้นไปใช้จ่ายให้วงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อชาร์จแบตเตอรี่เพื่อนำเอาแรงดันที่ได้จากแบตเตอรี่ที่ชาร์จเสร็จแล้วมาช่วยในการจ่ายให้กับหลอดไฟรถจักรยานเพื่อให้แสงสว่างกับผู้ใช้

| | | |
|------------------------|-------------------------|--------------|
| Project Title | Bicycle Charger | |
| Name | Mr. Witoon Klakrasetwit | ID. 41362278 |
| | Mr. Sarawut Somya | ID. 41362328 |
| Project Advisor | Mr. Somchai Chokmaviroj | |
| Major | Electrical Engineering | |
| Department | 2001 | |

ABSTRACT

This project study battery (Ni - Cd) charger, generator system of bicycle which produces electricity and voltage distributing to battery charger, and battery charging circuit which is able to charge at least 2 Ni – Cd batteryies sized AA 1.25 V, 500 mAH. Batery Charger will stop when. 1) Voltage drop each cell increasing over 1.35 volt 2) Temperature of battery each cell is over 42 °C

Expected product from this project is a bicycle which is able to produce voltage which can be brought to distribute to battery charging circuit in order to use the charged batteries to make the right for riders.

มหาวิทยาลัยนเรศวร

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถดำเนินงานมาถึงจุดนี้ได้—เนื่องด้วยได้รับคำปรึกษาและข้อเสนอแนะจาก
อาจารย์สมชาย โชคมาวิโรจน์ ที่เสียสละเวลาและมอบความรู้ต่างๆในการทำโครงการนี้ ขอบขอบคุณ
คุณแดง (ไม่ทราบนามสกุล) ร้าน โรงกลิ้ง และพี่ซึ่งให้คำแนะนำในการฟื้นเงินเนอร์เรเตอร์ คณะผู้จัดทำ
โครงการจึงขอบพระคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำโครงการ



สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญรูป | ช |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... | 1 |
| 1.3 ขอบข่ายของโครงการ..... | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 2 |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 1.6 งบประมาณที่ใช้..... | 3 |
| | |
| บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในจักรยานชาร์จเจอร์ | |
| 2.1 เจนเนอเรเตอร์..... | 5 |
| 2.2 ไคนาโม..... | 11 |
| 2.3 กฎต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับไคนาโม..... | 19 |
| 2.4 วงจรแรงดันอ้างอิง..... | 24 |
| 2.5 วงจรเรกูเรเตอร์ใช้ ไอซีออปแอมป์..... | 26 |
| 2.6 วงจรเปรียบเทียบ..... | 27 |
| 2.7 ไอซีเรกูเรเตอร์สามขา..... | 36 |
| 2.8 วงจรตรวจจับระดับแรงดัน..... | 38 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 การออกแบบบรอดจักรยานชาร์จเจอร์ | |
| 3.1 การศึกษาการสร้างเงินเนอร์เรเตอร์..... | 40 |
| 3.2 วงจรชาร์จแบตเตอรี่..... | 41 |
| 3.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ นิกเกิล – แคดเมียม..... | 43 |
| 3.4 การติดตั้งเงินเนอร์เรเตอร์ และวงจรชาร์จแบตเตอรี่เข้ากับรถ..... | 46 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล | |
| 4.1 ผลการทดลองวัดความเร็วกับแรงดันกระแสตรงที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่..... | 50 |
| 4.2 ผลการทดลองวัดความเร็วกับแรงดันกระแสตรง ที่ได้จากเครื่องผลิต ไฟฟ้าแบบเก่า..... | 51 |
| 4.3 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ที่ความเร็วต่างๆ..... | 53 |
| 4.4 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่..... | 57 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 58 |
| 5.2 ปัญหาอุปสรรค และการแก้ไขปัญหา..... | 58 |
| 5.3 ข้อดีข้อเสียระหว่างเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่และเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่า..... | 59 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 60 |
| ประวัติผู้จัดทำโครงการ | 61 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 การดำเนินงานช่วงแรก..... | 2 |
| 1.2 การดำเนินงานช่วงสุดท้าย..... | 3 |
| 2.1 ความแตกต่างของการพันอาร์เมเจอร์ที่โรเตอร์แบบแลป และแบบเวฟ..... | 18 |
| 2.2 การหาค่าแรงดันออฟเซตที่อินพุต..... | 29 |
| 4.1 ผลการทดลองวัดความเร็วกับแรงดัน กระแสตรงที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่ | 50 |
| 4.2 ผลการทดลองวัดความเร็วกับแรงดัน กระแสตรงที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่า..... | 51 |
| 4.3 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง..... | 53 |
| 4.4 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง..... | 54 |
| 4.5 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ที่ความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง..... | 55 |
| 4.6 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเก่าที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง..... | 56 |
| 5.1 ข้อดี และข้อเสียระหว่างเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่ และเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่า..... | 59 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 2.1 | ลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง..... 6 |
| 2.2 | ชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเจนเนอเรเตอร์.....7 |
| 2.3 | เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า.....8 |
| 2.4 | ขดลวดหมุนในสนามแม่เหล็ก.....9 |
| 2.5 | หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....10 |
| 2.6 | สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปมาในขดลวดจะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ.....10 |
| 2.7 | ไดนาโมคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์.....11 |
| 2.8 | เปลือกหุ้มหรือโครงของไดนาโม.....12 |
| 2.9 | รูปร่างลักษณะของแผ่นเหล็กแกนขั้วแม่เหล็กและแกนอาร์เมเจอร์ของไดนาโม.....12 |
| 2.10 | แกนขั้วแม่เหล็ก.....13 |
| 2.11 | วงจรแม่เหล็กของ ไดนาโม.....13 |
| 2.11 | ขดลวดสนามแม่เหล็กของไดนาโม.....14 |
| 2.13 | แผ่นเหล็ก.....14 |
| 2.14 | ขดลวดอาร์เมเจอร์.....15 |
| 2.15 | คอมมิวเตเตอร์.....15 |
| 2.16 | แปรงถ่านพร้อมด้วยสริงกดแปรงถ่านให้แน่น.....16 |
| 2.17 | ขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.....16 |
| 2.18 | ขดลวดอาร์เมเจอร์ Lap wound winding ของไดนาโม ชนิด 4 -ขั้ว 120 V 40 A.....17 |
| 2.19 | การลงปลายสายขดลวดอาร์เมเจอร์แบบ wave wound winding.....18 |
| 2.20 | กฎมือขวาของสกรู.....19 |
| 2.21 | สนามแม่เหล็กของตัวนำเส้นตรง.....20 |
| 2.22 | กฎมือขวาของเฟลมมิง.....21 |
| 2.23 | แรงเคลื่อน ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวนำในสนามแม่เหล็ก.....22 |
| 2.24 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนที่เส้นแรงแม่เหล็ก และแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามกฎมือขวาของเฟลมมิง.....22 |

บทที่ 1

MISSING



บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในรถจักรยานชาร์จเจอร์

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงเรื่อง เจนเนอเรเตอร์ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ หลักการทำงานของเจนเนอเรเตอร์ และทฤษฎีการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในวงจรชาร์จแบตเตอรี่

2.1 เจนเนอเรเตอร์ (Generator) [1]

2.1.1 เครื่องกลกระแสตรง ชนิดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1.1 เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องกลไฟฟ้าชนิดนี้เรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ ไดนาโม

2.1.1.2 เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เครื่องกลชนิดนี้เรียกว่า มอเตอร์

โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้า กระแสตรง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์กระแสตรง มีโครงสร้างและหลักการที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยส่วนใหญ่อายุ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (stator part) และ ส่วนที่เคลื่อนที่ (rotor part)

2.1.2 ส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย

2.1.2.1 เปลือกหรือโครง ทำด้วยเหล็กหล่อ หรือสารแม่เหล็ก ทำหน้าที่คือ

ก. ยึดขั้วแม่เหล็ก และส่วนประกอบทั้งหมด

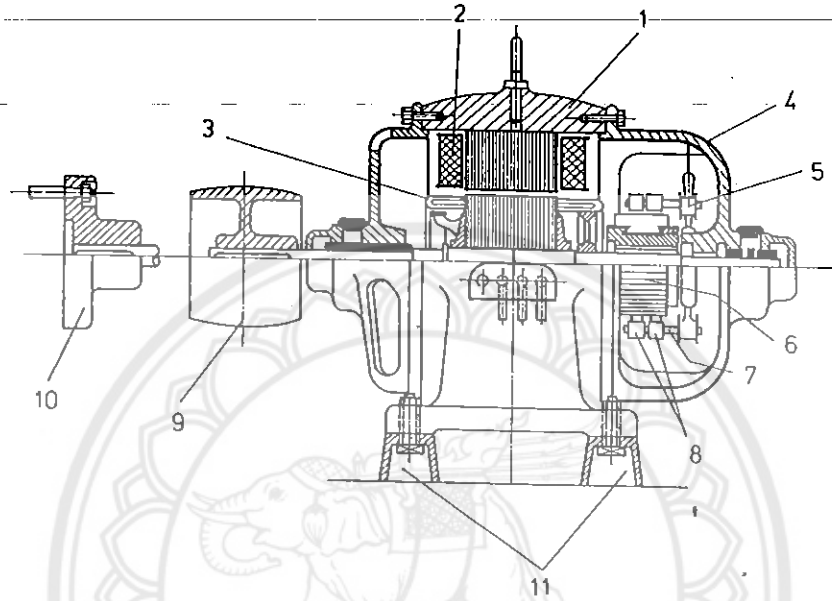
ข. เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก

2.1.2.2 ขั้วแม่เหล็ก ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ อัดซ้อนกัน โดยแต่ละแผ่นจะเคลือบไว้ด้วยฉนวน ขั้วแม่เหล็กนี้จะนำไปยึดเข้ากับ โครงค้ำยกระดูก

2.1.2.3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก หรือเรียกว่าขดลวดฟิลด์คอยล์ เป็นลวดตัวนำพันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ขดลวดฟิลด์มี 2 ชนิด คือ ขดลวดชั้นที่ฟิลด์ จะพันด้วยเส้นลวดเล็ก ความต้านทานจะสูง ขดลวดซีรีส์ฟิลด์ จะพันด้วยลวดเส้นโตความต้านทานจะต่ำ

2.1.2.4 แปร่งถ่านและแบร็ง ทำหน้าที่เป็นสะพานไฟจากคอมมิวเตเตอร์ ไปยังวงจรถภายนอก แปร่งถ่านทำมาจากคาร์บอนอัดแน่น จะมีลักษณะ เป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในช่องถ่าน และถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา และช่องถ่านจะถูกยึดติดอยู่กับฝาครอบส่วนแบร็ง หรือ ลูก

ป้อนนั้น จะเป็นตัวรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุน และช่วยลดแรงเสียดทานที่เพลลา ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุน ปกติแล้วแบร์ริงจะยึดติดอยู่ที่ฝาครอบทั้ง 2 ด้านของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปร่งถ่านและ ช่องถ่าน



1. เปลือกหุ้ม (วางจรมแม่เหล็ก)
2. ขดลวดสนามแม่เหล็ก
3. ขดลวดอาร์เมเจอร์
4. ฝาครอบหัวท้าย
5. กล่องใส่แปร่งถ่าน
6. คอมมิวเตเตอร์
7. แปร่งถ่าน
8. สปริงกดแปร่งถ่านให้แน่น
9. ล้อสายพาน
10. อุปกรณ์ต่อแกนโดยตรง หรือคัปปลิง
11. สกรู (น๊อต) ยึดโครงไดนาโมกับฐานให้แน่น

รูปที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

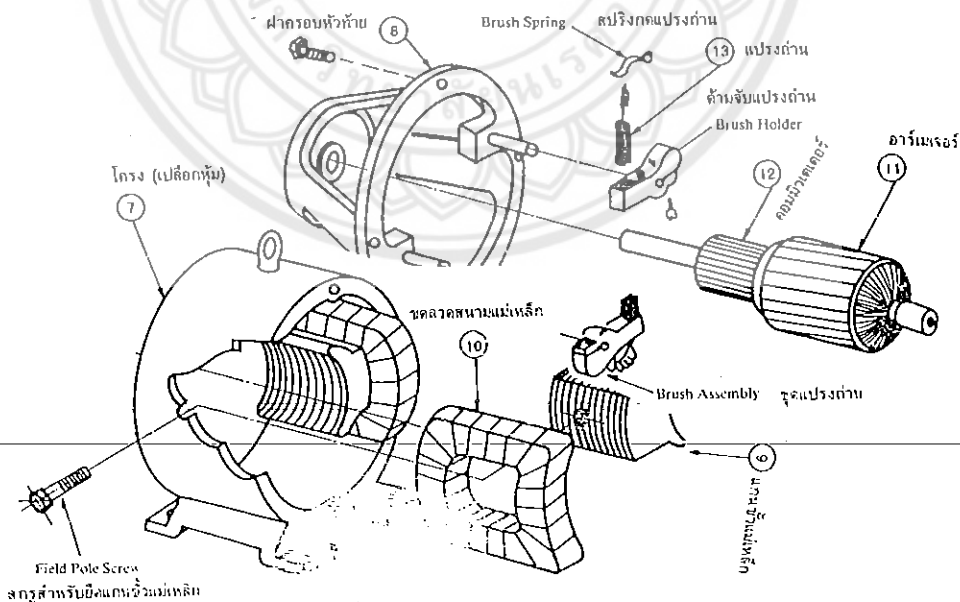
2.1.2.5 ฝาปิดหัวท้าย หรือ ฝาครอบ ทำมาจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครง ทำหน้าที่รับเพลลาของส่วนหมุนและบีคของถ่าน

2.1.3 ส่วนที่เคลื่อนที่ ประกอบไปด้วย

2.1.3.1 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ แกนเหล็กอาร์เมเจอร์เป็นที่ใช้สำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆที่ด้านหนึ่งฉาบด้วยฉนวนอัดซ้อนเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก และทำเป็นช่องสลีทไว้ และที่แกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้จะเจาะรูไว้ด้วยเพื่อช่วยในการระบายความร้อนอันเนื่องมาจาก loss

2.1.3.2 ขดลวดอาร์เมเจอร์ คือ ขดลวดที่บรรจุลงในช่องสลีทของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ซึ่งจะมีการพันเป็นแบบแลป หรือเวฟ ปลายของขดลวดจะถูกนำไปต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์

2.1.3.3 คอมมิวเตเตอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายๆ ซี่ อัดเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก และระหว่างซี่ทองแดงแต่ละซี่จะกั้นด้วย ฉนวนที่หนาแข็งแรง และยึดติดไว้บนเพลลาอันเดียวกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์



รูปที่ 2.2 ชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเจนเนอเรเตอร์

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมักมีหลักการทำงานคล้ายกัน คือ การให้ตัวนำหมุนตัดฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อตัวนำยังไม่เคลื่อนที่ตัดกับฟลักซ์แม่เหล็กหรือตัวนำเคลื่อนที่ขนานกับฟลักซ์แม่เหล็กตามจะไม่เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แต่ถ้าตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับฟลักซ์แม่เหล็ก ตามแนวตั้งหรือเฉียงแล้ว จะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำ จะได้ว่าสูตร

$$e = Blv(\sin \theta) \tag{2.1}$$

เมื่อ

e = แรงดันไฟฟ้า

B = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (เวเบอร์/ตารางเมตร)

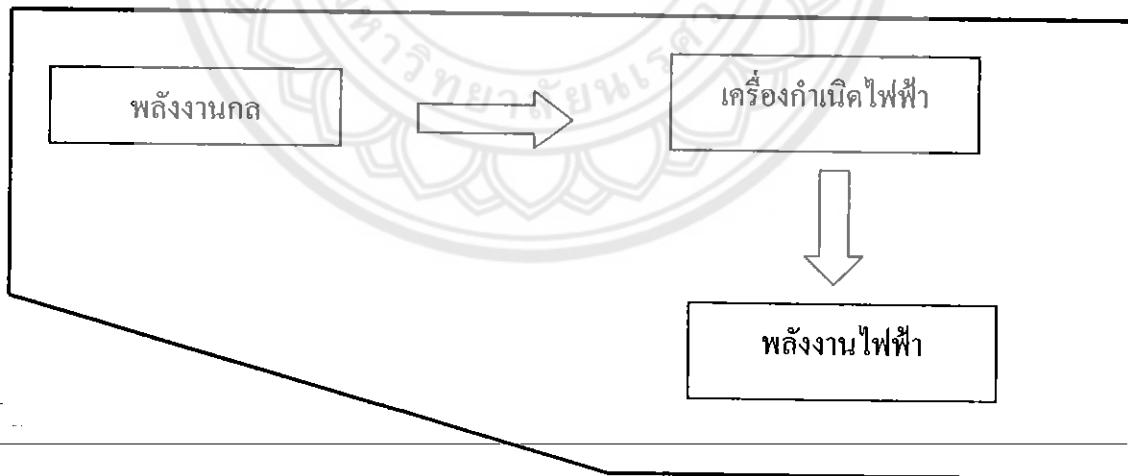
l = ความยาวของตัวนำที่วางตัวตัดกับฟลักซ์แม่เหล็ก

v = ความเร็วในการเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก

θ = มุมที่ตัวนำเคลื่อนที่ตัวฟลักซ์แม่เหล็ก

2.1.4 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกล เป็น พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เปลี่ยนพลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้า

2.1.5 แรงเคลื่อนไฟฟ้า

แรงเคลื่อนไฟฟ้า คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยการทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนค่าในหนึ่งหน่วยเวลาตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้

$$e = N d\phi/dt \quad (2.2)$$

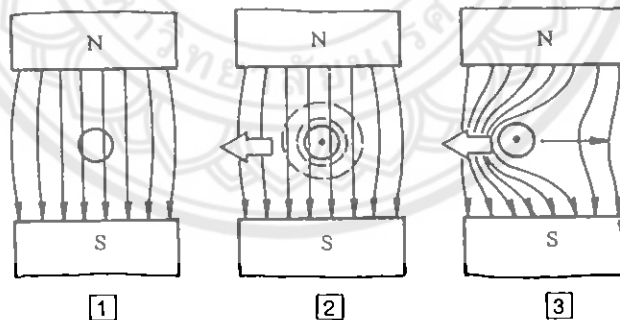
เมื่อ

| | | |
|------------|---|--|
| e | = | แรงเคลื่อนไฟฟ้า หน่วย โวลต์ |
| N | = | จำนวนรอบของขดลวด หน่วย รอบ |
| ϕ | = | เส้นแรงแม่เหล็ก หน่วย เวเบอร์ |
| t | = | เวลา หน่วยเป็น วินาที |
| $d\phi/dt$ | = | อัตราการเปลี่ยนค่าเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วย เวเบอร์/วินาที |

ดังนั้นถ้าทำให้เส้นแรงแม่เหล็ก จำนวน 1 เวเบอร์ เกิดการเปลี่ยนค่าในเวลา 1 วินาที จะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1 โวลต์

$$1 \text{ (V)} = 1 \text{ (Wbs}^{-1}\text{)} \quad (2.3)$$

การเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็กด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า นั้น กระทำได้ 2 วิธีคือ ให้ขดลวดหมุนในสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด ดังนี้



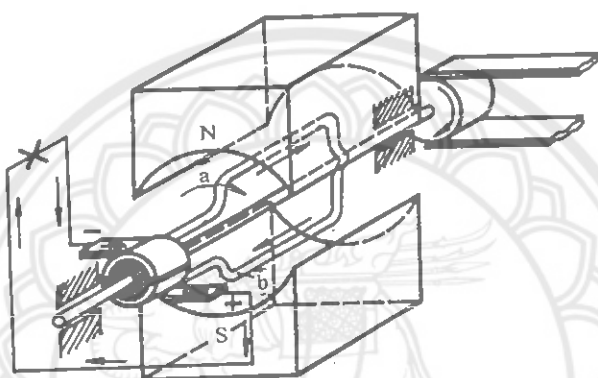
รูปที่ 2.4 ขดลวดหมุนในสนามแม่เหล็ก

ตามรูปที่ 2.4 (1)วางตัวนำในสนามแม่เหล็ก N – S (2)ทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กจะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนตัวนำ มีทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวาของเฟลมมิง และ(3) แสดงให้เห็นถึงการให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนตัวนำ เมื่อทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก ขณะเดียวกันจะให้กำเนิดแรงผลักรตัวนำเล็กน้อย ตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิงในทิศทางตรงกันข้าม

การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะนี้ เป็นหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งกระแสตรง และกระแสสลับ ขนาดเล็กให้กำเนิดแรงดันและกำลังค่อนข้างน้อย

2.1.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

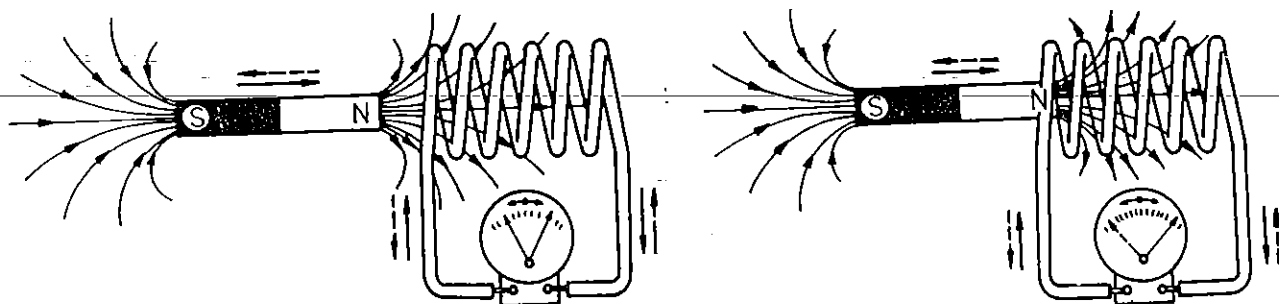
ตามรูปที่ 2.5 เป็นหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบไปด้วยขดลวดเพียงขดเดียว (2 - ตัวนำ) ซึ่งปลายทั้งสองต่อเข้ากับชี้ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อทำให้หมุนในสนามแม่เหล็ก $N - S$ จะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับบนตัวนำทั้งสองของขดลวด ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง และจะเปลี่ยนเป็นกระแสตรงเมื่อต่อผ่านชี้ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์



รูปที่ 2.5 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

2.1.7 สนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด

ให้ขดลวดอยู่กับที่ ต่อปลายทั้งสองเข้ากับกัลวานอมิเตอร์ เมื่อทำให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายในขดลวด จะพบว่าเข็มของกัลวานอมิเตอร์แกว่ง กลับไปกลับมาเช่นเดียวกันแสดงว่ามีกระแสสลับเกิดขึ้นแล้วบนขดลวด



รูปที่ 2.6 สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปมาในขดลวด จะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ

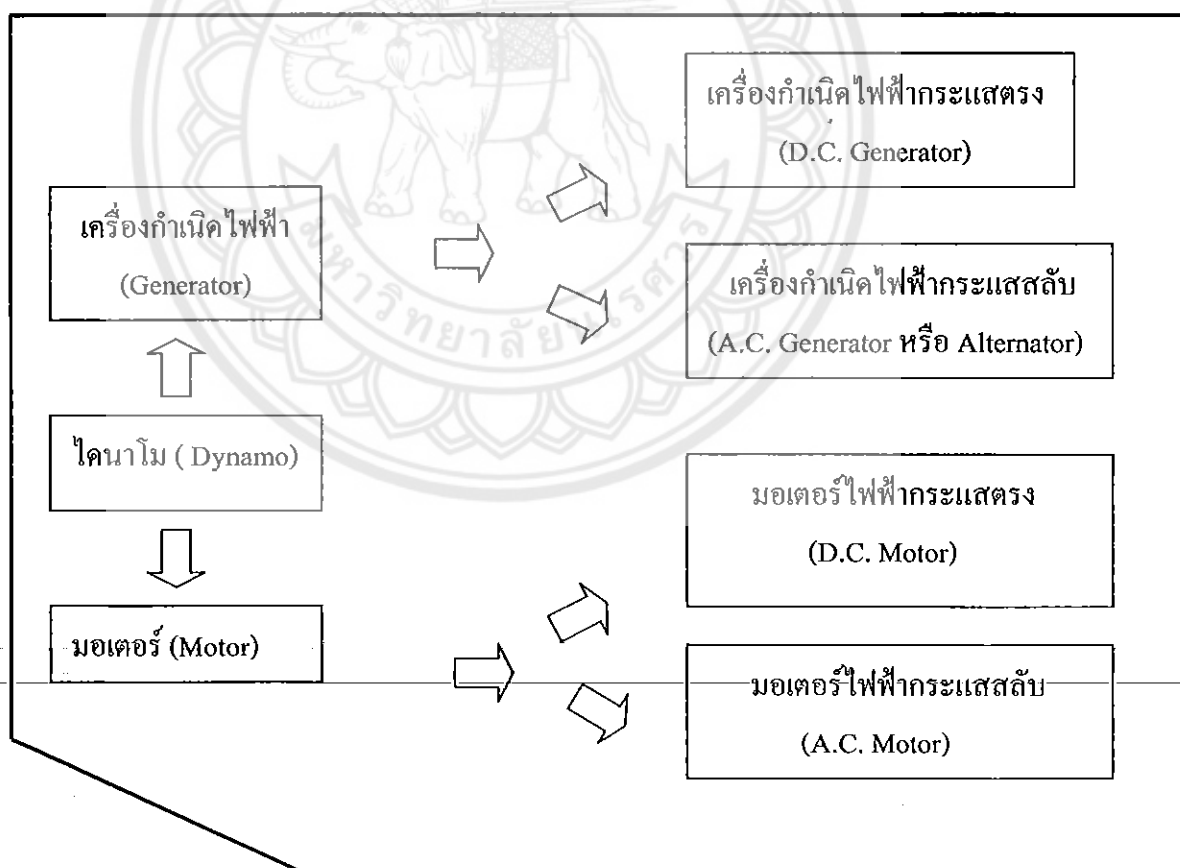
การเหนี่ยวนำแม่เหล็กด้วยวิธีนี้ตรงกันข้ามกับวิธีแรก คือขดลวดอยู่กับที่ ให้สนามแม่เหล็กเป็นตัวหมุนตัดขดลวด แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิดขึ้นบนขดลวดซึ่งอยู่กับที่ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะเช่นนี้เป็นหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ-ขนาดใหญ่ที่ให้กำเนิดแรงดันและกำลังไฟฟ้าสูง

พลังงานไฟฟ้าที่มีใช้งานกันอย่างแพร่หลายในโลกปัจจุบัน ให้กำเนิดมาจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยวิธีสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด วิธีนี้ทั้งนั้น

2.2 ไดนาโม (Dynamo)

ไดนาโม (Dynamo) คือเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานกล

เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ส่วนเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานกล เรียกว่า มอเตอร์ (Motor)

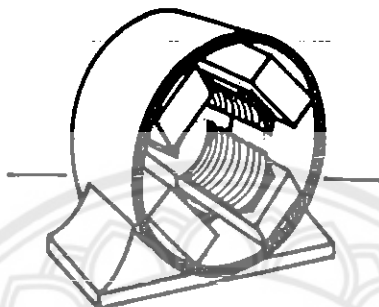


รูปที่ 2.7 ไดนาโมคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์

2.2.1 ส่วนประกอบของไดนาโม

2.2.1.1 เปลือกหุ้มหรือโครง (Field Frame หรือ Yoke)

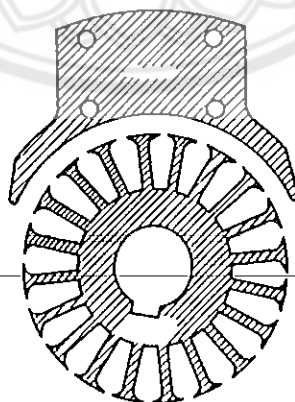
มีรูปร่างทรงกระบอกกลวง ทำด้วยเหล็กหล่อให้มีขนาดและรูปร่างตามที่ต้องการ เป็นส่วนที่ห่อหุ้มไดนาโมทั้งหมด ภายนอกมีฉลากแผ่นป้ายบอกรายละเอียดต่าง ๆ ส่วนภายในมีแกนขั้วแม่เหล็กยึดติดอยู่ หน้าที่หลักของเปลือกหุ้มหรือโครง คือ เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก หรือให้เป็นส่วนหนึ่งของวงจรแม่เหล็ก



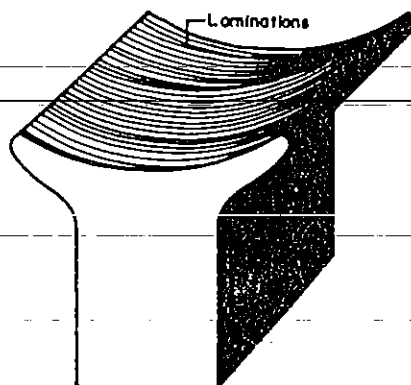
รูปที่ 2.8 เปลือกหุ้มหรือโครงของไดนาโม

2.2.1.2 แกนขั้วแม่เหล็ก (Pole Core)

ทำด้วยแผ่นเหล็กไฟฟ้าแผ่นบาง ๆ ชนิดที่เคลือบผิวทั้งสองหน้าด้วยวัสดุฉนวน แต่ละแผ่นปั๊มใส่เป็นรูปร่าง และมีขนาดตามต้องการ ใช้หลาย ๆ แผ่นมาเรียงซ้อน ๆ กัน (เพื่อลดกำลังสูญเสียบนแกนเหล็กให้น้อยลง) ให้ได้ขนาดตามต้องการ

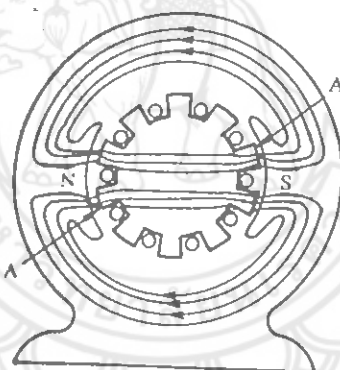


รูปที่ 2.9 รูปร่างลักษณะของแผ่นเหล็กแกนขั้วแม่เหล็ก และแกนอาร์มเจอร์ของไดนาโม



รูปที่ 2.10 แกนขั้วแม่เหล็ก

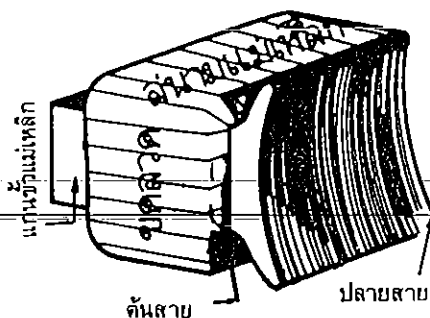
หน้าที่หลักของแกนขั้วแม่เหล็ก ให้กำเนิดเส้นแรงแม่เหล็ก ไหลออกจากขั้วเหนือ ผ่านช่องอากาศ ไปยังขั้วใต้ ผ่านเปลือกหุ้มหรือ โครง แล้วย้อนกลับมายังขั้วเหนือ



รูปที่ 2.11 วงจรแม่เหล็กของไดนาโม

2.2.1.3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก

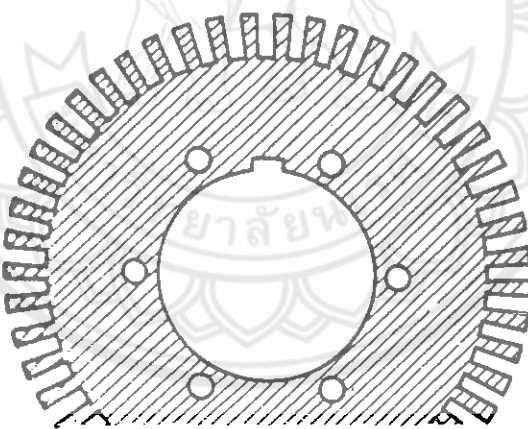
เป็นทองแดง ที่พันบนแกนขั้วแม่เหล็ก เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะสร้างขั้วแม่เหล็กให้เกิด ขึ้นบนแกนขั้วแม่เหล็ก มีขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) เพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กออกจากขั้วเหนือผ่านช่องว่างอากาศไปยังขั้วใต้ ผ่านเปลือกหุ้ม โครง แล้วย้อนกลับมายังขั้วเหนือ



รูปที่ 2.12 ขดลวดสนามแม่เหล็กของไดนาโม

2.2.1.4 แกนอาร์เมเจอร์ (Armature Core)

ทำด้วยเหล็กแผ่นบางๆ วางเรียงซ้อน ๆ กันเช่นเดียวกับแกนขั้วแม่เหล็ก มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตัน รอบ ๆ เซาะเป็นร่องสลิต สำหรับใส่ตัวนำที่ต้องการให้เกิดพลังงานไฟฟ้า เมื่อให้อาร์เมเจอร์หมุนในสนามแม่เหล็ก รูป 2.13 เป็นอาร์เมเจอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ที่เรียกกันว่า คริมอาร์เมเจอร์ หรืออาร์เมเจอร์แบบกลอง หรือ “Drum Armature”



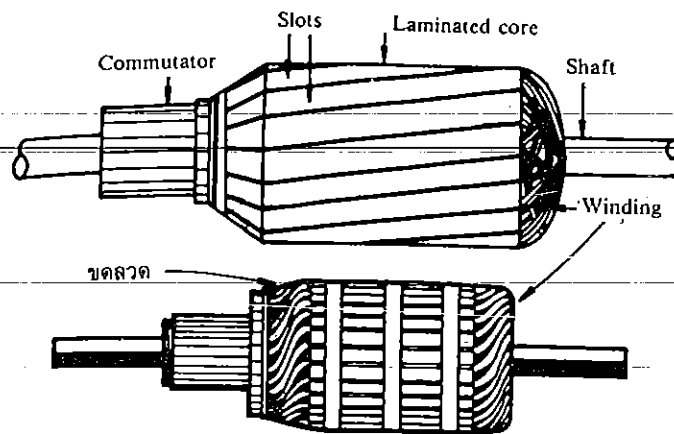
รูปที่ 2.13 แผ่นเหล็กของแกนอาร์เมเจอร์ของไดนาโม

2.2.1.5 ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding)

เป็นขดลวดทองแดงที่ต้องการให้เกิดพลังงานไฟฟ้า เมื่อให้หมุนตัดสนามแม่เหล็ก ด้วยการใส่ไว้ในสลิต ของแกนอาร์เมเจอร์ ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนขดลวดที่ใส่ไว้ในสลิตจะตัดสนามแม่เหล็ก ให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามสมการ

$$E_{av} = B.l.v.Z/a \quad (2.4)$$

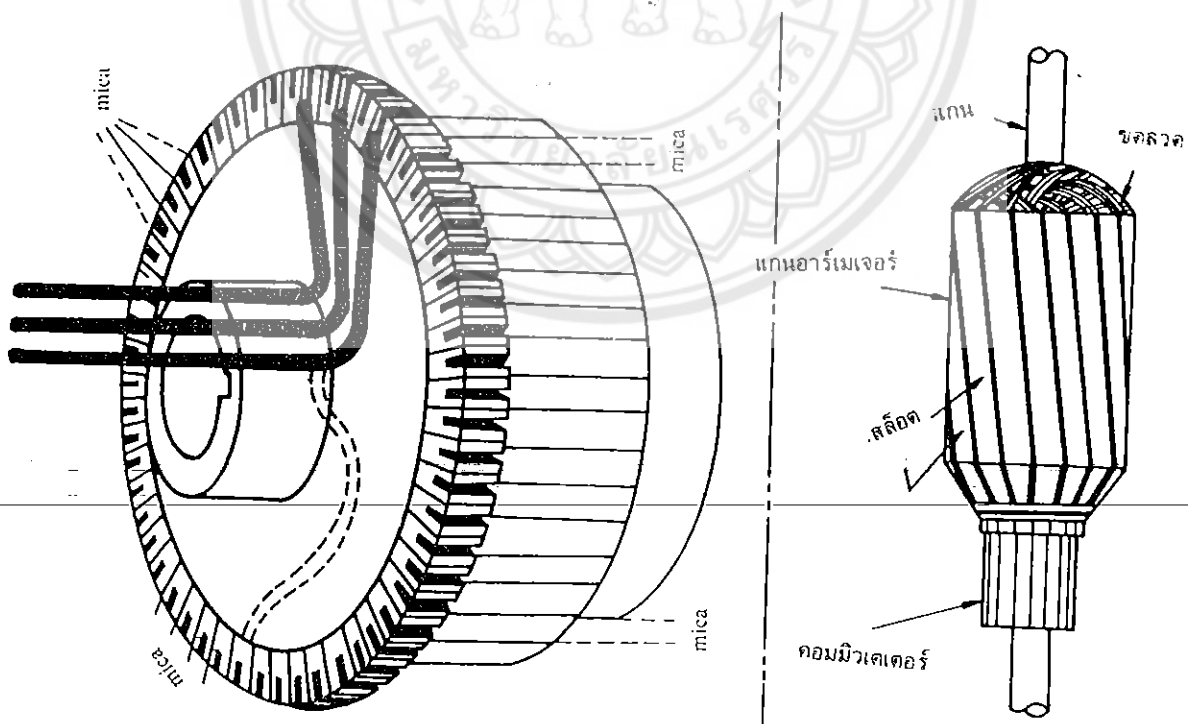
$$E_{av} = [\phi.p.n/60].Z/a \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.14 ขดลวดอาร์เมเจอร์

2.2.1.6 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

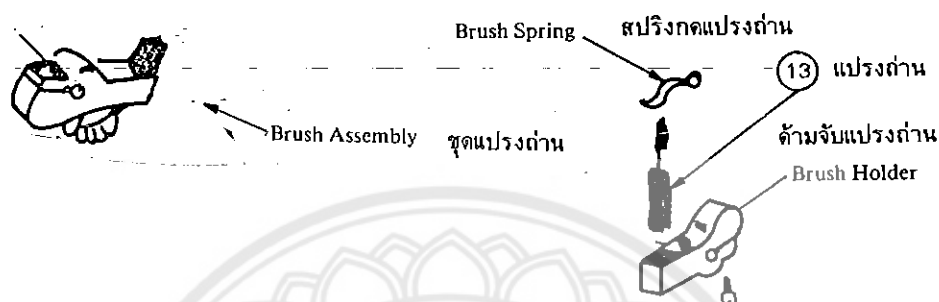
เป็นส่วนที่รองรับปลายทั้งหมดของขดลวดอาร์เมเจอร์และมีหน้าที่หลักเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) ที่เกิดขึ้นบนขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)



รูปที่ 2.15 คอมมิวเตเตอร์

2.2.1.7 แปรงถ่าน (Brush)

ทำด้วยแท่งคาร์บอนปกผิววงให้สัมผัสอยู่กับซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์หรือหน้าสัมผัสของสปริง เพื่อนำกระแสออกไปจากโพลด์ หรือนำกลับเข้ามายังขดลวดอาร์เมเจอร์ปกติแล้วหน้าสัมผัสระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ หรือ สปริงต้องเรียบ และแนบสนิทจริง ๆ จึงต้องกดแปรงถ่าน

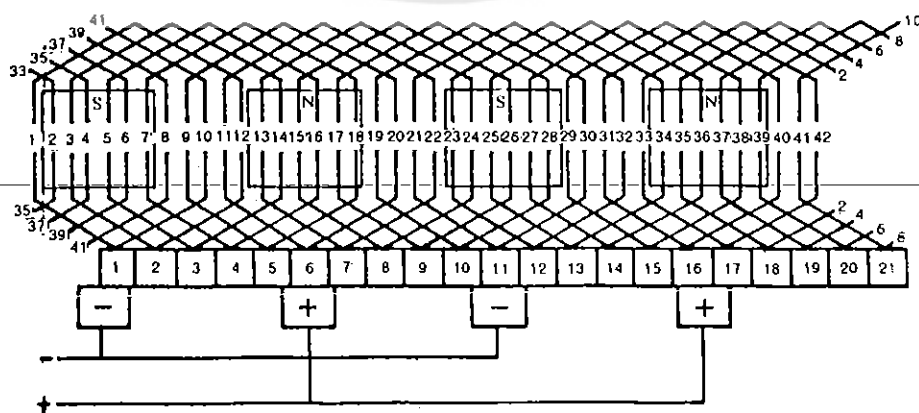


รูปที่ 2.16 แปรงถ่านพร้อมด้วยสปริงกดแปรงถ่านให้แน่น

2.2.2 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์

2.2.2.1 ขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

ขดลวดต่ออนุกรมกันบนซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อพิจารณาวงจรแล้วจะพบว่าขดลวดเป็นวงจรไม่รู้จัก และวงจรครบรอบเป็นวงจรปิดอยู่บนซี่ทองแดง ดังนั้นจึงกล่าวว่ขดลวดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็น “ขดลวดวงจรปิด”

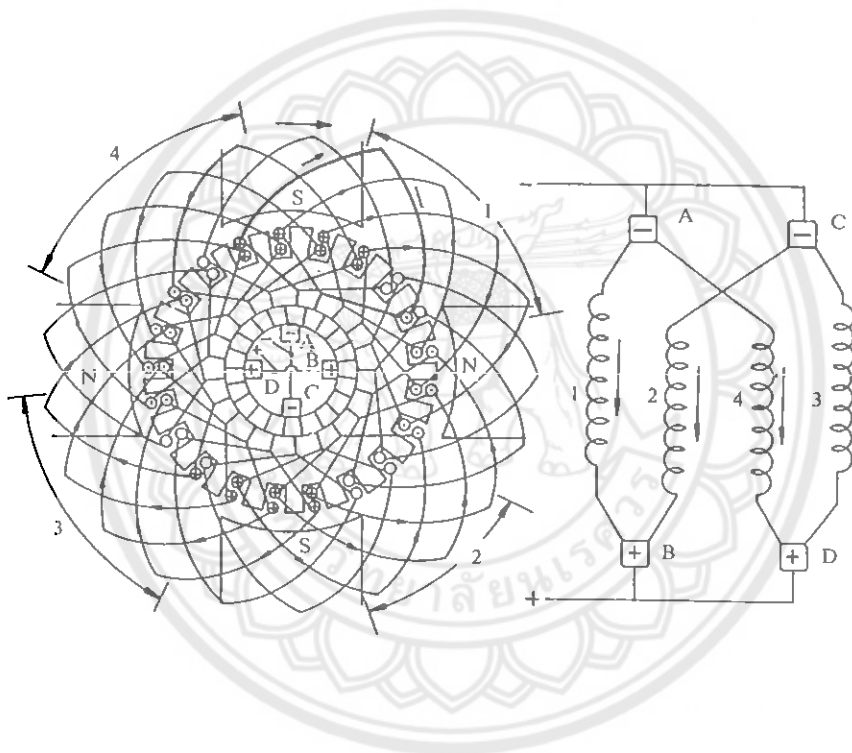


รูปที่ 2.17 ขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.3 ชนิดของขดลวดอาร์เมเจอร์

2.2.3.1 ขดลวดแบบ Lap Wound Winding

เป็นการลงปลายสายบนซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์เพื่อทำให้วงจรไฟฟ้าคู่ขนานบนอาร์เมเจอร์ มีจำนวนเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็ก เช่น โคนาโม 4, 8 ขั้ว จะให้วงจรไฟฟ้าคู่ขนานเท่ากับ 4 และ 8 วงจร ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้การลงขดลวดแบบ Lap Winding จึงเรียกว่า Multiple circuit หรือ parallel Winding



รูปที่ 2.18 ขดลวดอาร์เมเจอร์ Lap Wound Winding ของโคนาโม ชนิด 4-ขั้ว 120 V 40 A

2.2.3.2 ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบ Wave Wound Winding

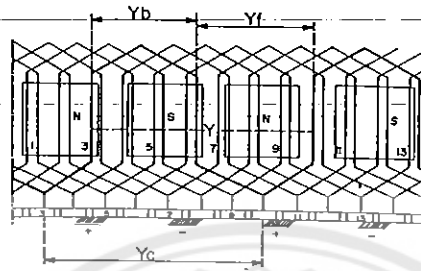
เป็นการลงปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์บนซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เพื่อทำให้มีวงจรไฟฟ้าคู่ขนานบนอาร์เมเจอร์เท่ากับ เพียง 2 วงจร เท่านั้น ไม่ว่าจะ มีขั้วแม่เหล็กกี่ขั้วก็ตาม ด้วยเหตุนี้ขดลวดแบบ Wave จึงเรียกว่า “2 – Circuit Winding หรือ Series Winding”

$$a = p = 2 \quad (2.6)$$

เมื่อ

p = จำนวนขั้วแม่เหล็กของไดนาโม

a = จำนวนวงจรไฟฟ้าคู่ขนานบนอาร์เมเจอร์



รูปที่ 2.19 การลงปลายสายขดลวดอาร์เมเจอร์ แบบ Wave wound Winding

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างของการพันอาร์เมเจอร์ที่โรเตอร์แบบแลป และแบบเวฟ

| การพันแบบแลป | การพันแบบเวฟ |
|---|--|
| 1. มีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์สูงแต่แรงดันไฟฟ้าต่ำ | 1. มีกระแสไฟฟ้าต่ำแต่แรงดันสูงกว่า โดยกำลังไฟฟ้าที่ได้เท่ากันแบบแลป |
| 2. ทางขนานในการพัน Simplex lap มี $a = p$ Duplex lap มี $a = 2p$ Triplex lap มี $a = 3p$ | 2. ทางขนานในการพัน Simplex wave มี $a = 5$ Duplex wave มี $a = 4$ Triplex wave มี $a = 6$ |
| 3. การพันแบบแลป $Y_c = 1$ เสมอ | 3. การพันแบบเวฟมีระยะ $Y_c > 1$ เสมอ |
| | 4. ขดลวดตัวนำที่มีขั้วแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเหมือนกันจะต่อกับแปรงถ่านอันเดียวกัน ดังนั้นการพันแบบเวฟจึงมีแปรงถ่านเพียง 2 อันก็พอ |

2.2.4 ชนิดการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ที่คณะผู้ศึกษาเลือกพัน

ในการทำโครงงานนี้ ผู้ศึกษาได้นำเอามอเตอร์ซึ่งเป็นโครงข่ายที่ใช้ในรถยนต์ มาพันใหม่เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น มาใช้เป็นเจนเนอเรเตอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรชาร์จ

แบคเตอร์รี่ เนื่องจากในการชาร์จแบคเตอร์รี่ต้องการกระแสชาร์จที่สูงพอสมควรเพื่อให้สามารถชาร์จแบคเตอร์รี่ได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นจากศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการพันแกนเนอร์เรเตอร์แบบต่างๆ คณะผู้ศึกษาจึงเห็นว่า การพันขดลวดคอร์เมเจอร์นั้นควรพันแบบแลป เพื่อให้ได้กระแสที่สูงเพียงพอในการชาร์จแบคเตอร์รี่

การหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวนำอาร์เมเจอร์

$$E_g = (z\phi P\omega)/(2\pi a) \quad (2.7)$$

หรือ

$$E_g = (z\phi PS * 10^{-8})/(60a) \quad (2.8)$$

เมื่อ

E_g = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ยของอาร์เมเจอร์

z = จำนวนตัวนำ

P = จำนวนขั้ว

a = จำนวนทางขนาน

ω = ความเร็ว (เรเดียน/วินาที)

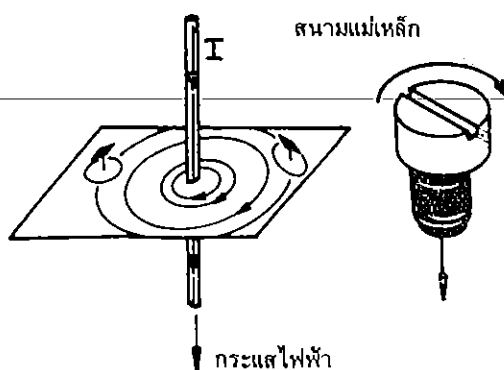
ϕ = ฟลักซ์แม่เหล็ก

S = ความเร็ว (รอบ/นาที)

2.3 กฎต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับไดนาโม [2]

2.3.1 กฎมือขวาของสกรู (Right hand screw หรือ Corkscrew Rule)

ให้กระแสไฟฟ้า : I ไหลไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสกรูที่มีเกลียวหมุนขวา ทิศทางการหมุนของเกลียวจะเป็นทิศทางของสนามแม่เหล็ก ตามรูปที่ 2.20

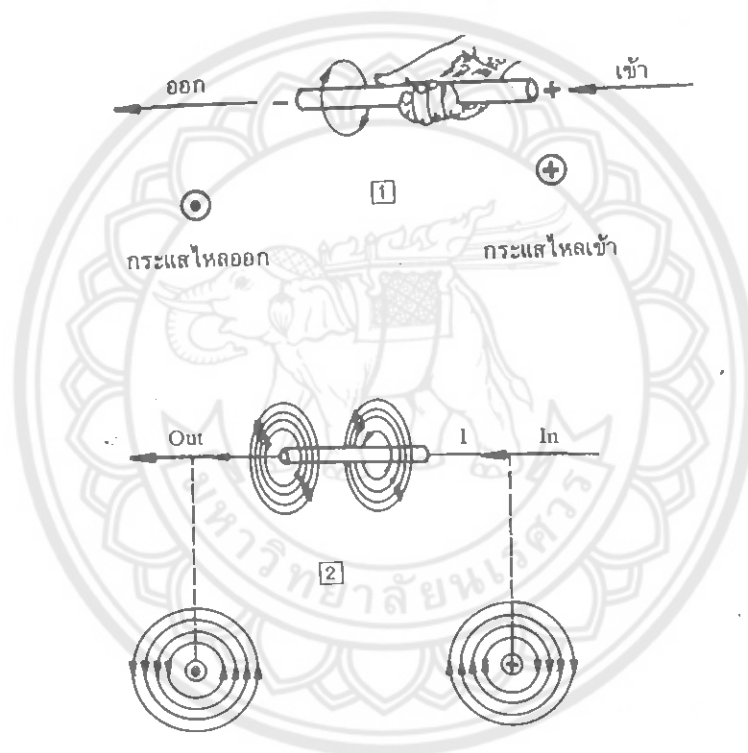


รูปที่ 2.20 กฎมือขวาของสกรู

2.3.2 สนามแม่เหล็กของตัวนำเส้นตรง

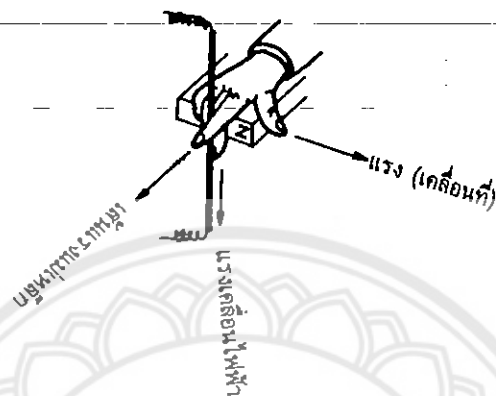
เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำที่เป็นเส้นตรง จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นล้อมรอบตัวนำ
ในลักษณะตั้งฉากกับกระแสไฟฟ้านั้น

ทิศทางของสนามแม่เหล็ก สามารถหาได้โดยใช้กฎมือขวา (Thumb Rule) ตามรูปที่ 2.21 (1) ให้
กำตัวนำที่เป็นเส้นตรงด้วยมือขวา นิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า นิ้วทั้งสี่ที่เหลือ จะ
แทนทิศทางของสนามแม่เหล็ก และ (2) กฎมือขวาของสกรู



รูปที่ 2.21 สนามแม่เหล็กของตัวนำเส้นตรง

2.3.3 กฎมือขวาของเฟลมมิง (Fleming's Right Hand Rule)



รูปที่ 2.22 กฎมือขวาของเฟลมมิง

ใช้สำหรับหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (แรงดันเหนี่ยวนำ) ที่เกิดขึ้นบนตัวนำในสนามแม่เหล็กกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวนำของอาร์เมเจอร์ โดยเฉพาะดังนี้

ให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางของมือขวา วางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ตามรูปที่ 2.22 กำหนดให้นิ้วหัวแม่มือ แทนทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก นิ้วชี้แทนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux) นิ้วกลางจะแทนทิศทางการเคลื่อนที่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Induced Emf)

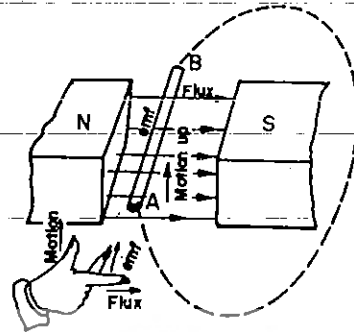
ตามรูปที่ 2.22 แสดงการหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวนำ AB ในสนามแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิง

ถ้าให้ F = แรงเคลื่อนที่

\emptyset = เส้นแรงแม่เหล็ก

$+$ = กระแสไหลเข้า

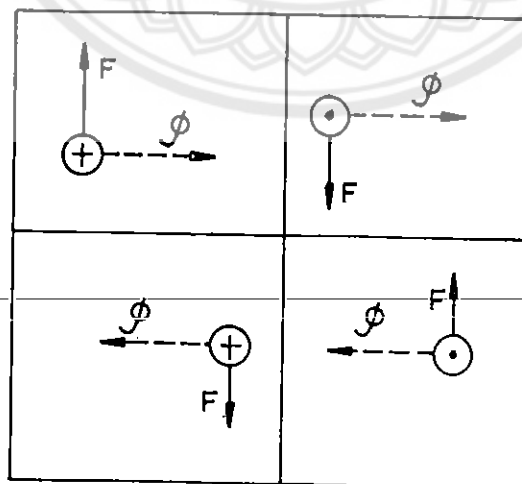
\odot = กระแสไหลออก



รูปที่ 2.23 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวนำในสนามแม่เหล็ก

ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงเคลื่อนที่ (Motion) เส้นแรงแม่เหล็ก (Flux) และ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (แรงดันเหนี่ยวนำ Induced Emf) ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง สามารถแสดงให้เห็นจริงด้วยสัญลักษณ์ตามรูปที่ 2.24 ต่อไปนี้

- แรงเคลื่อนที่ F แทนด้วยนิ้วหัวแม่มือ
- เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ แทนด้วยนิ้วชี้
- แรงเคลื่อนไฟฟ้า $+$ หรือ \odot แทนด้วยนิ้วกลาง



รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงเคลื่อนที่ เส้นแรงแม่เหล็ก และแรงเคลื่อนไฟฟ้า ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง

2.3.4 กฎมือซ้ายของเฟลมมิง (Fleming's Left Hand Rule)

ใช้สำหรับหาทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กกรณีของมอเตอร์หาทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์โดยเฉพาะ ดังนี้

ให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางของมือซ้ายวางตั้งฉากซึ่งกันและกันตาม รูปที่ 2.25 กำหนดให้นิ้วชี้แทนทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วกลางแทนทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วหัวแม่มือจะเป็นทิศทางของแรง (ทิศทาง การหมุนของอาร์เมเจอร์)



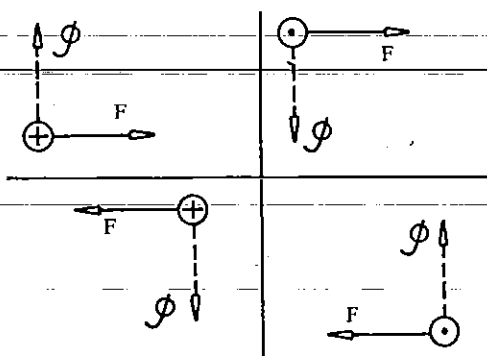
รูปที่ 2.25 กฎมือซ้ายของเฟลมมิง

เมื่อ

- Ø แทนสนามแม่เหล็ก (เส้นแรงแม่เหล็ก)
- + หรือ ๐ แทนกระแสไฟฟ้าไหลเข้าและไหลออกตามลำดับ
- F แทนทิศทางการหมุน

ความสัมพันธ์ระหว่าง แรง เส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้า ตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง สามารถแสดงให้เห็นจริงได้ ด้วยรูปสัญลักษณ์ตาม รูปที่ 2.26 ต่อไปนี้

- Ø เส้นแรงแม่เหล็กแทนด้วยนิ้วชี้
- + หรือ ๐ กระแสไฟฟ้าไหลเข้าหรือไหลออก แทนด้วยนิ้วกลาง
- F แรง หรือทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์ แทนด้วยนิ้วหัวแม่มือ



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรง เส้นแรงแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้า ตามกฎมือซ้ายของ เฟลมมิง

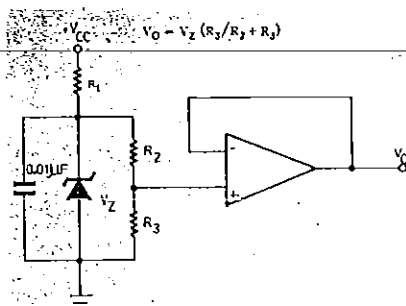
2.4 วงจรแรงดันอ้างอิง [3]

วงจรแรงดันอ้างอิงแสดงให้เห็นใน รูปที่ 2.27 ตัวออปแอมป์ จะให้ค่าแรงดันคงที่กับโหลดไม่ว่าจะเป็นค่าเท่าไร โดยค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้ขึ้นอยู่กับค่า แรงดันซีเนอร์ไดโอดทางด้านอินพุต ค่าแรงดัน V_{REF} จะคงที่แม้ว่าค่าแรงดันไฟเลี้ยงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วก็ตาม

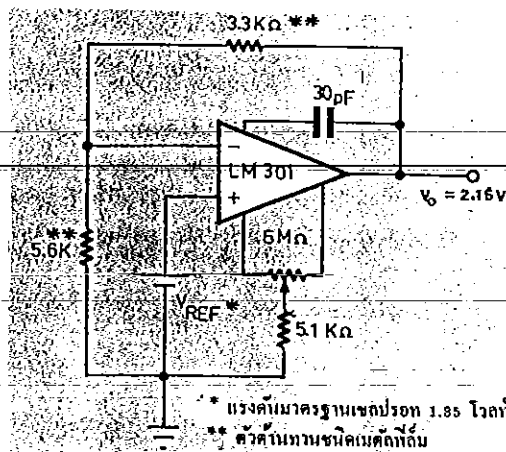
การเลือกค่า V_0 ทำให้แบบต่อเนื่องตั้งแต่แรงดัน 0 โวลต์ จนถึงค่าแรงดัน V_z ด้วยการต่อแบ่งแรงดันที่ R_2, R_3 โดยค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าความสัมพันธ์ของ V_z และ R_2, R_3 หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_0 = V_z (R_3/R_2 + R_3) \tag{2.9}$$

ค่าแรงดันอ้างอิงที่ได้จะมีค่าเป็นบวก หรือเป็นลบอย่างไรก็ได้ขึ้นอยู่กับค่าการแบ่งแรงดันให้ทางด้านอินพุตถ้าให้แรงดันลบ เอาต์พุตก็จะได้ค่าแรงดันอ้างอิงเป็นลบด้วย



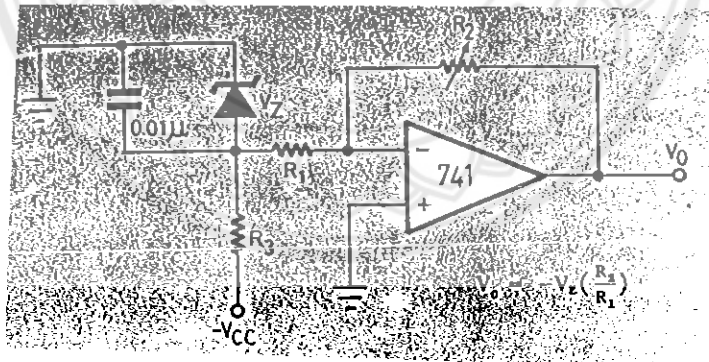
รูปที่ 2.27 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง



รูปที่ 2.28 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง

2.4.1 แรงดันอ้างอิงที่ได้สูงกว่า V_{REF}

ในกรณีที่ต้องการแรงดันอ้างอิงที่สูงกว่าแรงดัน V_Z ตัววงจรออปแอมป์จำเป็นที่จะต้องใช้อัตราขยาย ดังวงจร รูปที่ 2.28 โดยปกติถ้าต้องการให้แรงดันเอาต์พุตเป็นแรงดันที่มีเสถียรภาพ ไม่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิเราจึงต้องใช้ V_{REF} ที่เสถียรภาพ ในที่นี้เราจะใช้เซปปรอทซึ่งเสถียรภาพกับอุณหภูมิดีมาก โดยวงจรจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า $\pm 0.2\%$ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงระหว่าง $0 - 70^\circ\text{C}$



4400622
TL
410
จ5748
2744 C. 2

รูปที่ 2.29 วงจรแรงดันอ้างอิง

2.4.2 แรงดันอ้างอิงที่มีค่าตรงข้ามกับ V_Z

วงจรแรงดันอ้างอิงที่แสดง รูปที่ 2.29 ให้เอาต์พุตที่มีค่าตรงข้ามกับ V_Z นั่นคือสามารถสร้างแรงดันอ้างอิงที่มีค่าเป็นลบได้หรือบวกก็ได้ ข้อดีของวงจรนี้คือสามารถปรับระดับแรงดันเอาต์พุตได้ง่ายโดยการปรับที่ตัวต้านทาน R_2 และจากวงจรสามารถหาค่าแรงดันเอาต์พุตได้

2.5 วงจรเรกเตอริ์ใช้ไอซีออปแอมป์ [3]

เราใช้ออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายความแตกต่าง อินพุทขั้วบวกของออปแอมป์ ต่อกับแรงดันอ้างอิงที่ได้จากซีเนอร์ไดโอด D_1 โดยมี R_2 เป็นตัวไบแอส D_1 แรงดันตัวอย่าง V_o จาก $R_2 + R_1$ ต่อเข้ากับอินพุทขั้วลบของ ออปแอมป์ เอาท์พุทต่อที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ตามรูปที่ 2.30 ตัวต้านทานที่สำคัญคือค่า R_2 และ R_1 จะเป็นตัวกำหนดแรงดันเอาท์พุท

จาก รูปที่ 2.30

$$V'_o = A_v(V_R - \beta V_o)$$

$$V_o = V'_o + 0.7$$

$$\sim V'_o \text{ เมื่อ } V'_o \gg 0.7$$

$$V_o = A_v V_R - \beta V_o A_v$$

$$V_o = A_v V_R / (1 + \beta A_v)$$

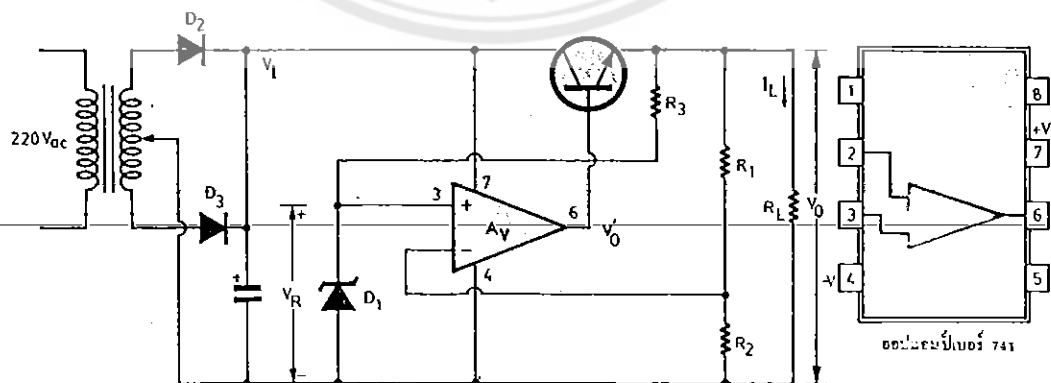
$$= V_R / (1/A_v + \beta)$$

$$A_v \gg 1$$

$$= V_R / \beta$$

$$\beta = R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$V_o = (1 + R_1/R_2) V_R$$



รูปที่ 2.30 วงจรจ่ายไฟตรงแบบเรกเตอริ์ที่ใช้ไอซีแบบออปแอมป์

2.6 วงจรเปรียบเทียบ [3]

โดยปกติแรงดันไฟเลี้ยงที่ให้กับออปแอมป์จะเป็นแรงดัน $+V_{cc}$ และ $-V_{cc}$ ที่มีค่าตั้งแต่ ± 3 โวลต์ จนถึง ± 18 โวลต์เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเอาต์พุตของออปแอมป์เมื่อเป็นวงจรขยายเปิดลูป จะอิมิตัวอยู่ที่ $+V_{cc}$ หรือ $-V_{cc}$ เท่านั้น นั่นคือถ้าแรงดันที่ขาอินเวอร์ตติงของออปแอมป์มีค่ามากกว่าขาอนอินเวอร์ตติงเพียงเล็กน้อย แรงดันเอาต์พุตก็จะอิมิตัวอยู่ที่ $-V_{cc}$ และถ้าแรงดันขาอินเวอร์ตติงมีค่าน้อยกว่าขาอนอินเวอร์ตติงแรงดันเอาต์พุตก็จะอยู่ที่ $+V_{cc}$

จะเห็นว่าลักษณะของออปแอมป์จึงเป็นวงจรเปรียบเทียบที่ให้ค่าแรงดัน เอาต์พุต $+V_{cc}$ หรือ $-V_{cc}$ ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในวงจรทางด้านดิจิตอลหรือวงจรอินเทอร์เฟสระหว่างวงจรรอนาลอก กับวงจรดิจิตอล เพราะแรงดันเอาต์พุตอาจทำให้ภาควงจรถอดเกิดการเสียหายได้ บริษัทผู้ผลิต ไอซี จึงหันมาผลิตออปแอมป์ที่ได้ รัศมีแรงดันอยู่ 2 ระดับเช่น 0 โวลต์กับ 5 โวลต์ เพื่อใช้กับวงจรที่ทีแอลหรือซีมอส และให้ชื่อออปแอมป์ที่ใช้งานเฉพาะอย่างนี้ว่า วงจรเปรียบเทียบ Comparator

สรุปให้เห็นชัด ได้คือวงจรเปรียบเทียบก็เป็นวงจรออปแอมป์ที่ได้ออกแบบมาพิเศษให้ระดับเอาต์พุตอิมิตัวที่สองระดับแรงดัน ไม่ใช่ $+V_{cc}$ หรือ $-V_{cc}$ โดยใช้ในขณะที่เป็นวงจรขยายเปิดลูป หรือออกแบบให้มีขาควบคุมเพิ่มขึ้น เช่นขาสไตรป หรือขาอินฮิบิต เพิ่มเติม

2.6.1 ไอซีวงจรเปรียบเทียบ

ไอซีวงจรเปรียบเทียบมีลักษณะเป็นวงจร ขยายความแตกต่าง (Differential Amp) ในลักษณะวงจขยายเปิดลูปหรือไม่มีการป้อนกลับ ดังนั้นวงจขยายนี้จึงมีอัตราขยายค่อนข้างสูงมาก และเอาต์พุต ก็จะอิมิตัวอยู่ที่ ระดับแรงดันสองระดับ คือสูง หรือต่ำ ขึ้นอยู่กับค่าระดับแรงดันอินพุตที่ขาทั้งสอง

วงจรเปรียบเทียบในอุดมคติก็คือ วงจรออปแอมป์ในอุดมคตินั่นเอง และควรมีคุณสมบัติของวงจดังต่อไปนี้

อัตราขยายแรงดันของผลต่างที่อินพุตมีค่าเป็นอนันต์

อัตราขยายแรงดันเมื่ออินพุตทั้งสองมีเฟสรวมหรืออยู่ใน โหมดเดียวกันเป็นศูนย์

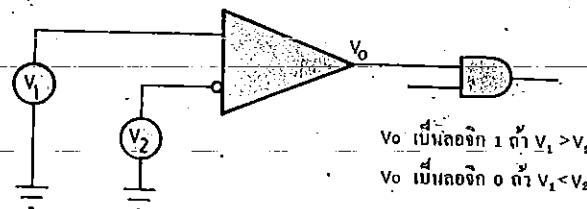
อินพุตอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์

เอาต์พุตอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์

แถบขยายทางด้านความถี่เป็นอนันต์

แรงดันและกระแสออฟเซตเป็นศูนย์

สิ่งที่ได้ปรับปรุงขึ้นในวงจรเปรียบเทียบก็คือ การปรับปรุงผลของการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันกับการเปลี่ยนโหมด หรือเรียกว่า ช่วงเวลารีโคฟเวอรี่ (Recovery Time) ช่วงเวลาการสวิทช์ และระดับแรงดันเอาต์พุต เพราะหน้าที่หลักของวงจรเปรียบเทียบ คือใช้เป็นวงจรอินเทอร์เฟสระหว่างสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ดังนั้นระดับสัญญาณเอาต์พุตซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลต้องมีระดับสัญญาณที่พอเหมาะเป็นระดับของสัญญาณลอจิกได้การใช้งานของวงจรเปรียบเทียบเบื้องต้นแสดงให้ดูดังรูปที่ 2.3.1



รูปที่ 2.31 วงจรเปรียบเทียบเบื้องต้น

2.6.2 สเปกและขีดจำกัดการใช้งานวงจรเปรียบเทียบ

2.6.2.1 อัตราขยายแรงดัน (A_{VD})

อัตราขยายแรงดันเป็นตัวบอกถึงความไว (Sensitivity) ของวงจรเปรียบเทียบ ถ้าอัตราขยายแรงดันสูงก็จะทำให้เอาต์พุตเกิดการสวิทช์เปลี่ยนระดับได้เร็ว โดยปกติแล้ววงจรเปรียบเทียบในอุดมคติจะต้องมีอัตราขยายเป็นอนันต์ นั่นคือแรงดันเพียงเล็กน้อยที่ป้อนให้ที่อินพุตทั้งสอง จะทำให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนสถานะที่เป็นอยู่ได้ ในทางปฏิบัติแล้ว อัตราขยายแรงดันของวงจรเปรียบเทียบ จะมีค่าไม่ถึงอนันต์ ดังนั้น ต้องให้แรงดันอินพุตเพียงเล็กน้อยเพื่อทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงและเราคิดในรูปของการเปลี่ยนแปลงแรงดันจำนวนหนึ่งทีอินพุตเพื่อที่จะให้การเปลี่ยนแปลงสถานะที่เอาต์พุต อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุต ต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุตคือ กำลังขยายแรงดันของวงจรเปรียบเทียบ และจากความสัมพันธ์ที่กล่าวมาเราสามารถหาค่าความไวน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของเอาต์พุตคือ

$$\Delta V_{imin} \neq \Delta V_o / A_{VD} \quad (2.10)$$

เมื่อ

ΔV_o คือผลต่างของแรงดันสถานะ (Hi) และสถานะ (Low) ที่เอาต์พุต โดยปกติประมาณ 5 โวลต์ และ 0 โวลต์

A_{VD} คืออัตราขยายแรงดันหรือความไวของวงจรเปรียบเทียบ

ΔV_{imin} คือค่าความไวน้อยที่สุด

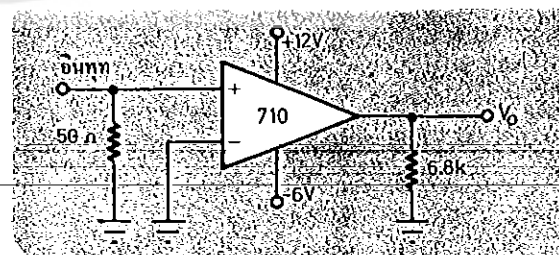
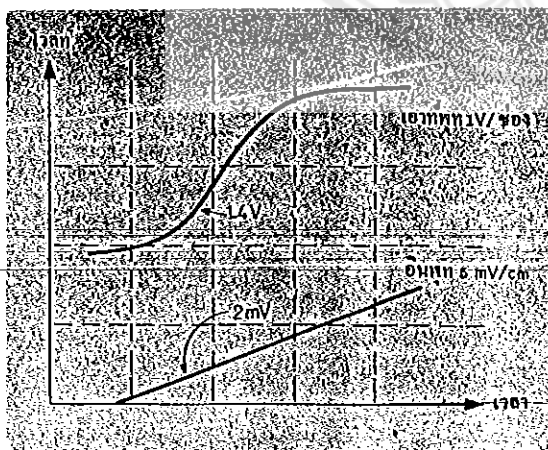
2.6.2.2 แรงดันออฟเซตที่อินพุท

แรงดันออฟเซตที่อินพุท คือแรงดันที่ให้ระหว่างอินพุท เพื่อที่จะทำให้เอาต์พุทมีค่า ค่าหนึ่งซึ่งผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดโดยคิดเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิที่ใช้งานด้วย แรงดันออฟเซตที่บริษัทเทกซัสอินสตรูเมนต์กำหนดไว้ที่มาตรฐานที่อุณหภูมิและแรงดันเอาต์พุตดัง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 การหาค่าแรงดันออฟเซตที่อินพุท

| อุณหภูมิ (°C) | ระดับแรงดันเอาต์พุท (V) |
|---------------|-------------------------|
| -55 | 1.8 |
| 0 | 1.5 |
| 25 | 1.4 |
| 70 | 1.2 |
| 125 | 1.0 |

รูปที่ 2.32 นี้แสดงรูปคลื่นความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุทและแรงดันเอาต์พุทโดยให้ระดับแรงดันเอาต์พุทค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และไอซีที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็น ไอซีเบอร์ 710 ซึ่งมีขั้วอินพุทลบต่อกราวนด์ และขั้วบวกที่อินพุทต่อกับสัญญาณลาด เมื่อระดับแรงดันที่เอาต์พุทมีค่า 1.4 โวลท์จะเป็นจุดที่ใช้หาค่าแรงดันออฟเซตที่อินพุท จาก รูปที่ 2.32 แสดงเราจะได้อ่านค่าแรงดันออฟเซตที่อินพุทมีค่า -2 mV และเมื่อคิดหาความไวหรืออัตราขยายแรงดันเราจะได้อ่านค่าอัตราขยายของแรงดันประมาณ 1150 โวลท์



รูปที่ 2.32 การวัดอัตราขยายแรงดันออฟเซตของไอซีเบอร์ 710

2.6.2.3 ลักษณะสมบัติทางด้านเอาต์พุต

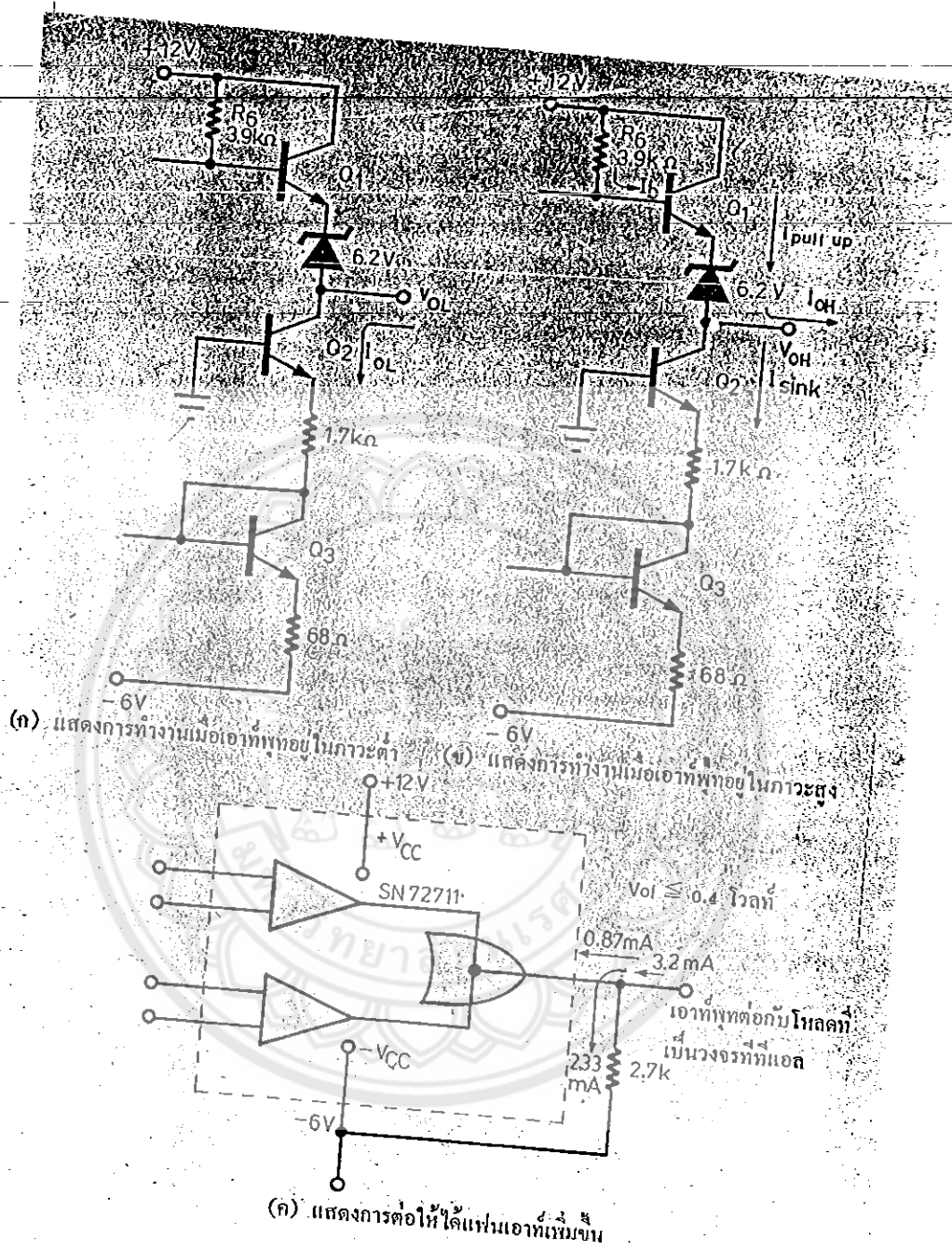
วงจรเปรียบเทียบกับส่วนมากจะมีค่าเฟ้นเอาท์เมื่อต่อวงจรที่ที่แอลได้เพียงหนึ่งเท่านั้นแต่ก็มีไอซีบางตัวที่มีเฟ้นเอาท์ได้ถึง 10 หรือมากกว่านั้น ลักษณะของวงจรเอาท์พุทจะแสดงข้อจำกัดต่าง ๆ ของวงจรเปรียบเทียบ

ลักษณะของวงจรเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบแสดงให้เห็นในรูป 2.33 และจากรูปที่ 2.33 เป็นวงจรที่เรียกว่าแอกติฟฟูลคาวน์ หรือการดึงลงขณะที่เอาท์พุทอยู่ในสภาวะระดับค่าคั้งนั้นจึงมีกระแสซิงค์ไหลเข้าวงจร ขีดจำกัดของกระแสซิงค์ หรือ I_{OL} จะจำกัดด้วยตัวต้านทานที่มีอิมิตเตอร์ 1.7 กิโลโอห์ม และ 68 โอห์ม และจากวงจรจะเห็นว่าเบสของ Q_2 ต่อกับกราวน์ ดังนั้นที่อิมิตเตอร์ของ Q_2 จะมีค่าแรงดัน $-V_{BE}$ หรือประมาณ -0.7 โวลท์ และ Q_3 ทำตัวเสมือนเป็นไดโอดจึงมีแรงดันตกคร่อมอีก $1 V_{BE}$ ดังนั้นกระแส I_{OL} สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} I_{OL} &= -V_{cc} + 2V_{BE} / 1.77 \text{ k} \\ &= -6 + 1.4 / 1.77 \text{ k} \\ &= -2.6 \text{ mA} \end{aligned}$$

จากการคำนวณดังกล่าวเราสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเอาท์พุทเมื่ออยู่ในสภาวะต่ำได้จากสมการนี้

$$\begin{aligned} V_{OL} &= V_E(Q_2) + V_{CE}(\text{อิมิตัว})(Q_2) \\ &= -0.7 + 0.2 \\ &= -0.5 \end{aligned}$$



รูปที่ 2.33 ลักษณะเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ

ในขณะที่เอาต์พุตอยู่สถานะต่ำและต่อโหลดเป็นวงจรทีทีแอล โดยกระแสที่ดึงจากวงจรทีทีแอล จะมีค่าได้ สูงสุดประมาณ -1.6 mA จะเห็นได้ว่าเราไม่สามารถจะต่อกับทีทีแอลได้สองตัวแต่ในบางโอกาสเราอาจจะสร้างให้วงจรมีแผ่นเอาต์พุตได้มากกว่าหนึ่งได้ โดยการต่อความต้านทานระหว่างเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟลบ เพื่อเป็นการแบ่งกระแสไฟลบ

ในช่วงขณะที่เอาท์พุทอยู่ในสถานะสูงหรือแรงดันเอาท์พุทเป็น V_{OH} โดยปกค่าแรงดัน V_{OH} เราเริ่มตั้งแต่ค่า 3.2 โวลต์ ค่าแรงดันที่เบสของ Q_1 สามารถคำนวณได้จาก

$$V_B [Q_1] = V_{OH} + V_Z + V_{BE} [Q_1] \quad (2.11)$$

ค่า V_Z จะมีค่าประมาณ 6.2 โวลต์และ $V_{BE} [Q_1]$ ก็จะมีค่าประมาณ 0.7 โวลต์ ดังนั้น

$$V_B [Q_1] = 10.1 \text{ โวลต์}$$

นั่นคือกระแสเบส I_B สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} I_B &= V_{CC} - V_B / R_B \\ &= 12 - 10.1 / 3.9k \\ &= 0.48 \text{ mA} \end{aligned}$$

สมมติว่า h_{fe} ของทรานซิสเตอร์มีค่า 12 ดังนั้น ค่ากระแสคอลเลกเตอร์ที่ได้ จะเป็น $0.48 \times 12 = 5.8 \text{ mA}$ กระแสส่วนนี้มีบางส่วนเท่านั้นที่ไหลเป็นกระแสเอาท์พุท โดยจะมีบางส่วนไหลลงค้ำานล่าง เนื่องจากขณะที่เอาท์พุทเป็น ลอจิก “1” จะยังไม่ทำให้ทรานซิสเตอร์ออฟ ดังนั้นกระแส I_{OH} ที่จะขับวงจรเอาท์พุทภายนอกคือ $5.8 - 2.6$ เท่ากับ 3.2 mA ซึ่งมากพอ เพราะว่า I_{OH} ที่ต้องการประมาณ $40 \mu\text{A}$ ต่อโหลดที่เป็นทีทีแอล 1 เกท เท่านั้น

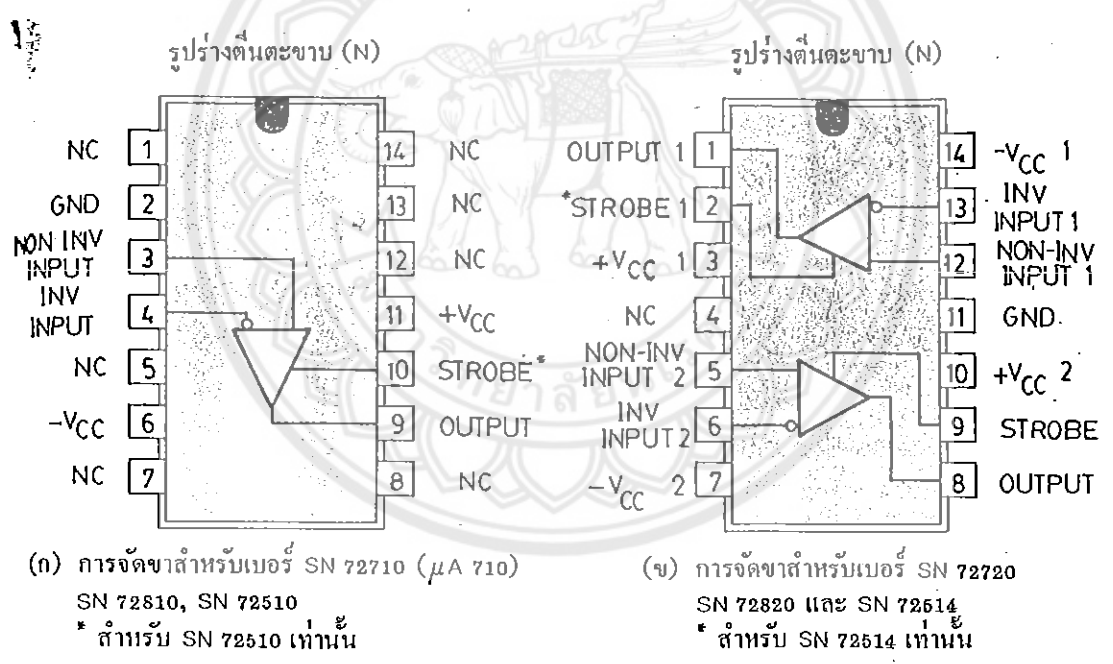
โดยอาศัยการคำนวณเช่นเดียวกันสำหรับไอซีเบอร์ 711 $I_{OL} = 0.87 \text{ mA}$ $I_{OH} = 4.3 \text{ mA}$ สำหรับไอซีเบอร์ 710 และ 711 นั้น การเพิ่มแฟนเอาท์ทำได้โดยการใช้ตัวต้านทาน 2.7 k ต่อระหว่างเอาท์พุท กับไฟลอปที่เลี้ยงวงจร เพื่อให้ได้ $I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$ กรณีที่เกทสองเกท เป็น โหลดผลรวมกระแส 3.2 mA นี้จะไหลผ่านตัวต้านทาน 2.7 k

2.6.2.4 ตัวอย่างไอซีวงจรเปรียบเทียบ

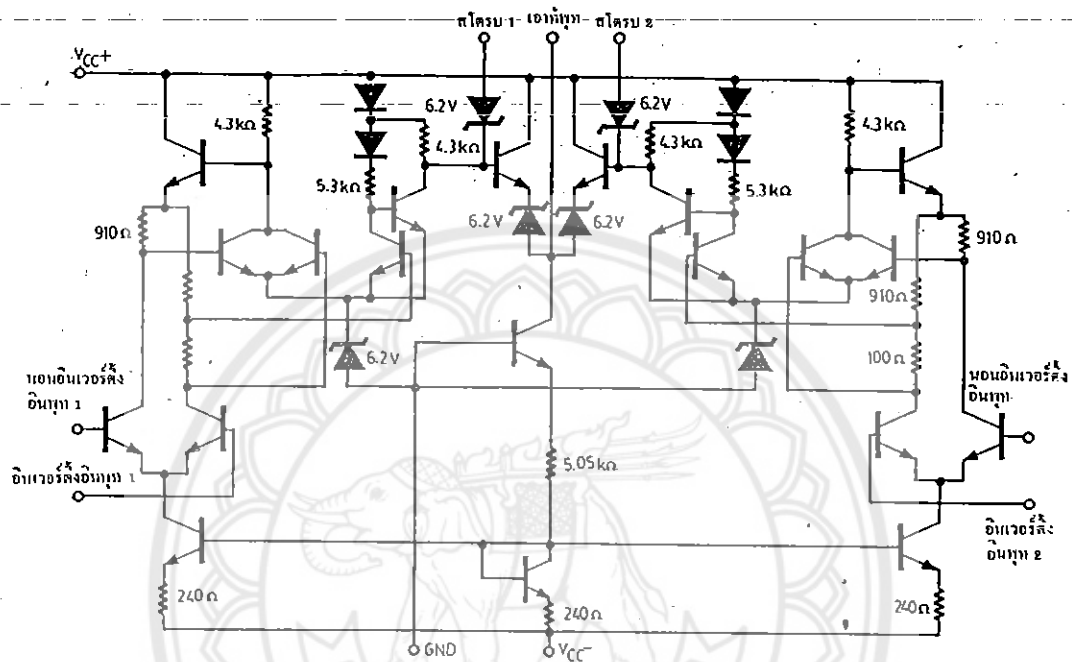
วงจรเปรียบเทียบหลายบริษัทที่ผลิตกันและใช้เบอร์ที่แตกต่างกันแต่บางเบอร์ ก็มีลักษณะคุณสมบัติทางวงจรคล้ายกัน ในที่นี้ได้รวบรวมวงจรเปรียบเทียบเบอร์ต่าง ๆ และอธิบายการทำงานและวงจรภายในอย่างคร่าว ๆ พอรู้เป็นสังเขป $\mu\text{A}710$, $\text{LM}710$, $\text{SN}7210$ วงจรเปรียบเทียบครั้งนี้เป็นแบบพื้นฐานเบื้องต้น คำนใช้งานง่ายและส่วนมากจะใช้กับสัญญาณทีทีแอลได้ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ประกอบภายนอกเลยหรือใช้ก็น้อย ถ้าลงขยายแรงดันที่ต่ำที่สุด 500 จะมีผลทำให้ความแม่นยำแน่นอนน้อยกว่าวงจรเปรียบเทียบตัวอื่น สำหรับไอซีเบอร์ 710 จะให้ระดับสัญญาณทีทีแอลที่แน่นอน โดยมีผลต่างของสัญญาณอินพุท $\pm 5 \text{ mV}$

ตัววงจรเปรียบเทียบ เบอร์ 710 แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.35 ส่วนรูปที่ 2.34 เป็นการแสดงการต่อขาของไอซี และจากลักษณะของวงจรจะเห็นว่าที่ภาคอินพุทของวงจรจะจัดตัวเป็นวงจรขยายสัญญาณความแตกต่างสองภาคต่อคั้งกันโดยตรง $\text{SN}72810$ ไอซีเบอร์นี้มีขาเหมือนกับเบอร์ 710 ได้ปรับปรุงเกี่ยวกับ

ความเร็วและกำลังขยาย กำลังขยายของแรงดันอย่างต่ำมีค่า ถึง 8000 ทำให้ไวต่อสัญญาณต่ำ ๆ และมีช่วง
 เทรสโอดที่แน่นอนมาก จากวงจรรูปที่ 2.36 จะเห็นว่าวงจรอินพุทจะทำความไวหรืออัตราขยาย
 สูงยิ่งขึ้น SN72510 บางครั้งเราต้องการให้อาห์พุทของวงจรเปรียบเทียบคงอยู่ที่สถานะ โดยไม่พิจารณา
 เงื่อนไขทางอินพุท SN 72510 เป็นไอซีที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ SN72810 และมีอินพุทที่ใช้สำหรับสโตรบ
 ซึ่งเมื่ออยู่ที่ภาวะต่ำ และจะให้ภาวะต่ำที่เอาท์พุท ของวงจรเปรียบเทียบ SN72720 ตัวไอซีประกอบด้วย
 วงจรเปรียบเทียบ แบบความเร็วสูงสองตัวใน ไอซีตัวเดียว แต่ละตัวเหมือนกับเบอร์ 710 แต่ V_{CC} ที่แยก
 ออกสำหรับแต่ละตัว ก็เพื่อจะแยกวงจรเปรียบเทียบทั้งสองตัวออกจากกันและลดกำลังงานสูญเสีย โดย
 ให้วงจรเปรียบเทียบตัวหนึ่งสำรองไว้เมื่อไม่ใช้ถ้าทั้งสองสโตรบเป็นลอจิกศูนย์ เอาท์พุทก็จะได้อาจิกศูนย์
 ด้วย

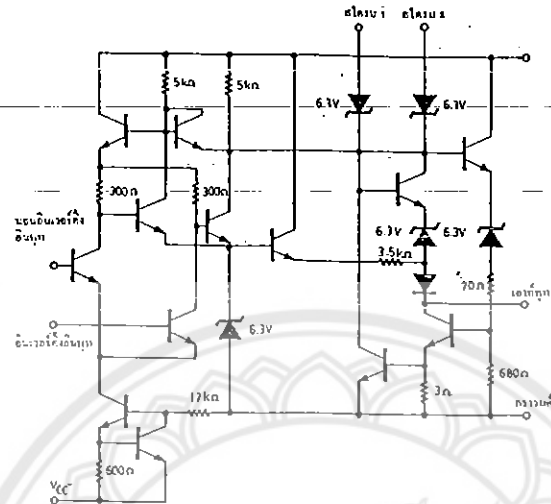


รูปที่ 2.34 ลักษณะขาของไอซีในกลุ่มวงจรเปรียบเทียบ

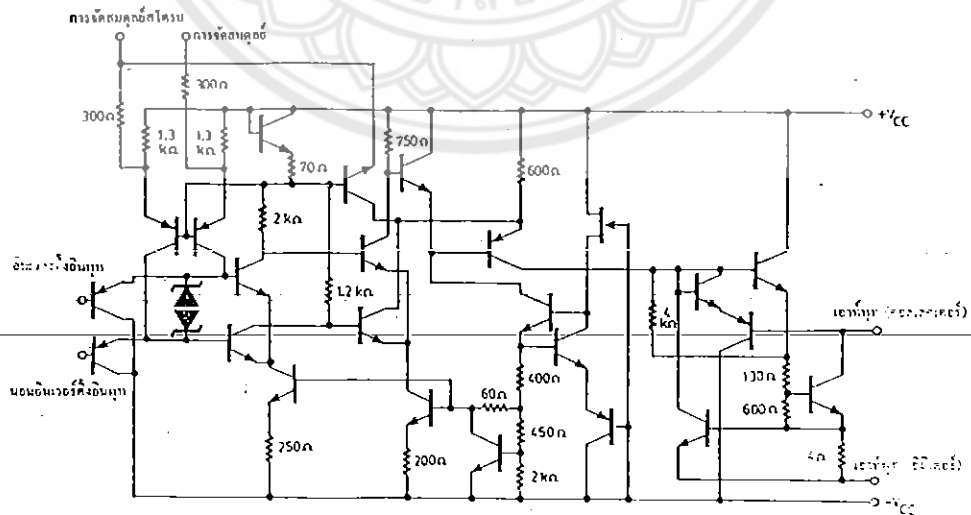


รูปที่ 2.35 วงจรภายในไอซีเบอร์ SN72811

SN52106 / SN 72306 ตามรูปที่ 2.36 เป็นวงจรเปรียบเทียบที่มีอินพุตสองอินพุต และให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ มีค่าต่ำ โดยมีกระแสซิงค์สูง (100 mA) และอินพุตสำหรับสโคปรบสองอันซึ่งนี้ถูกออกแบบมาสำหรับเป็นตัวขับวงจรลอจิกได้จำนวนมาก หรือใช้ขับโหลด เช่นหลอดไฟ รีเลย์ และตัวภาคแสดงอื่น ๆ ได้โดยตรง ตัววงจรมีวงจรป้องกันการลัดวงจรและป้องกันกระแสสูง สัญญาณระดับต่ำแต่ละสโคปรบจะทำให้เอาต์พุตอยู่ภาวะสูงถ้าสโคปรบเป็นแรงดันระดับสูงแรงดันเอาต์พุตจะถูกควบคุมด้วยแรงดันเข้า วงจรนี้ทำงานได้กับไฟบวก 12 โวลต์ และไฟลบ -3 ถึง -12 โวลต์ SN 72506 ไอซีตัวนี้เป็นไอซีที่มีวงจรเปรียบเทียบของเบอร์ SN 72306 จำนวนสองตัว SN 72511/SN 72311 เป็นไอซีมีกำลังขยายสูงมาก ปกติมีประมาณ 200,000 ซึ่งได้รับการออกแบบมาสำหรับใช้กับแหล่งจ่ายไฟในช่วงที่กว้างมารวมทั้งไฟ ± 5 โวลต์ สำหรับออปแอมป์ และ ± 5 โวลต์สำหรับตลอดวงจรวงจรนี้ค่อนข้างจะช้าเมื่อเทียบกับวงจรเปรียบเทียบอื่น ๆ มีช่วงเวลาการตอบสนองประมาณ 165 ns



รูปที่ 2.36 การจัดการไอซีเบอร์ SN52106/SN72306 และ SN72506



รูปที่ 2.37 วงจรภายในไอซีเบอร์ SN 52111 และ SN 72311 และแผนผังแสดงวงจรจัดการ

วงจรนี้สามารถ Drive หลอดไฟหรือรีเลย์ และสามารถสวิตช์แรงดันได้ถึง 50 volt ที่ระดับกระแสสูงสุด 20 mA ใช้ได้ทั้งเอาต์พุตทางคอลเลกเตอร์หรือเอาต์พุตทางค่านิมิตเตอร์และสามารถแยกกราวนด์เอาต์พุตอาจจะเทียบเท่ากับกราวนด์ V_{CC+} หรือ V_{CC-} ก็ได้มีขาสไตรบ และขาควบคุมออฟเซต ทำให้มีความแน่นอนขึ้นสามารถต่อกับเอาต์พุตของอุปกรณ์อื่น ๆ จำนวนมากได้

2.7 ไอซีเรกูเรเตอร์สามขา [3]

วงจรเรกูเรเตอร์ที่ใช้กันอยู่ด้วยวงจรลิเนียร์ส่วนใหญ่พอแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ วงจรเรกูเรเตอร์แบบขนาน และวงจรเรกูเรเตอร์แบบอนุกรม

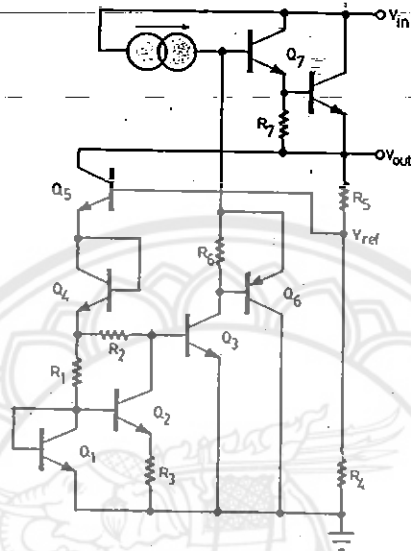
2.7.1 LM340

ตัวไอซี LM 340 เป็นไอซีเรกูเรเตอร์สามขาที่จ่ายกระแสได้สูงถึง 1 A ที่แรงดันเอาต์พุต 5, 6, 8, 12, 15, 18, 24 โวลต์ ตามที่ผู้ผลิตโปรแกรมไว้ โดยจะใส่รหัสต่อท้าย เช่น LM 340 – T ให้เอาต์พุต 15 โวลต์ นอกจากนี้เรายังสามารถคัดแปลงวงจรอีกเพียบเล็กน้อยให้ไอซีเป็นวงจรเรกูเรเตอร์ที่แรงดันต่าง ๆ ที่มากกว่า 5 โวลต์อีกด้วย ตัว LM 340 เป็นไอซีที่มีรูปร่างได้หลายแบบ เช่นเป็นแบบ TO3 ซึ่งเป็นแบบกระป๋องโลหะเหมือนทรานซิสเตอร์กำลังเบอร์ 2N3055 หรือ แบบ พลาสติก TO220 เป็นต้น

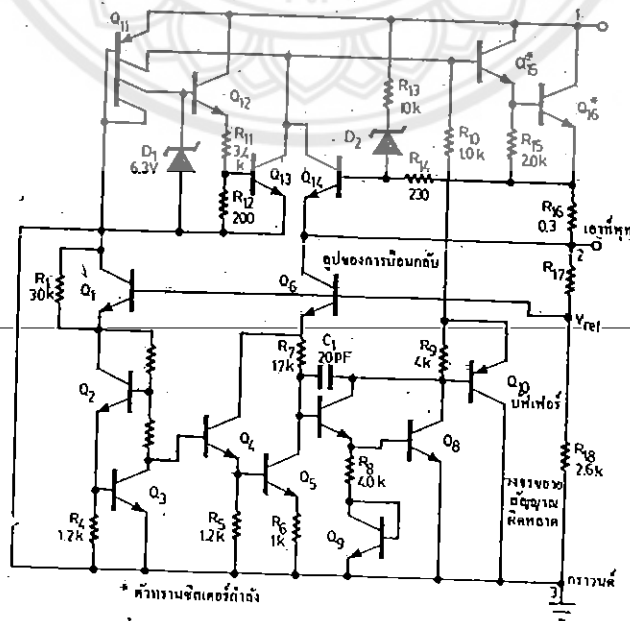
ส่วนของวงจรแรงดันอ้างอิงประกอบด้วยตัวต้านทาน R_1 และ R_2 และ Q_1 และ Q_2 จะเห็นได้ว่า วงจรที่ใช้งานจริง จะแตกต่างจากวงจรพื้นฐานเบื้องต้น แต่ก็มีส่วนคล้ายกันอยู่มากโดยทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 สร้างค่าแรงดัน ΔV_{BE} ให้กับตัวต้านทาน R_2 คำนวณค่าแรงดันอ้างอิงจึงปรากฏที่ขาอิมิตเตอร์ของ Q_2 ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $(RT/q \ln R_2 / R_1) R_2 / R_3 + V_{BEQ}$ และเนื่องจาก Q_4 ทำตัวเหมือนไดโอด ดังนั้นจุดแรงดันอ้างอิง V_{REF} ที่จุดต่อระหว่าง R_3 และ R_4 จึงมีค่าเป็น $(RT/q \ln R_2 / R_1) R_2 / R_3 + V_{BEQ} + V_{BEQ4} + V_{BEQ5}$ ที่ขาเบสของ Q_3 เสมือนกับเป็นอินพุตของวงจรออปแอมป์ โดยมี Q_6 เป็นตัวบัฟเฟอร์ระหว่าง

Q_3 กับตัวจ่ายกระแส ในกรณีที่เอาท์พุทให้แรงดันมีค่าลดลงค่าแรงดันนี้จะป้อนผ่าน R_4 , R_5 และ Q_4 , Q_5 ไปยังเบสของ Q_3 ทำให้ Q_3 นำกระแสได้มากยิ่งขึ้น ค่าแรงดันเอาท์พุทสามารถคำนวณหาได้จาก

$$V_{OUT} = V_{REF} (R_4 + R_5 / R_4) \tag{2.12}$$



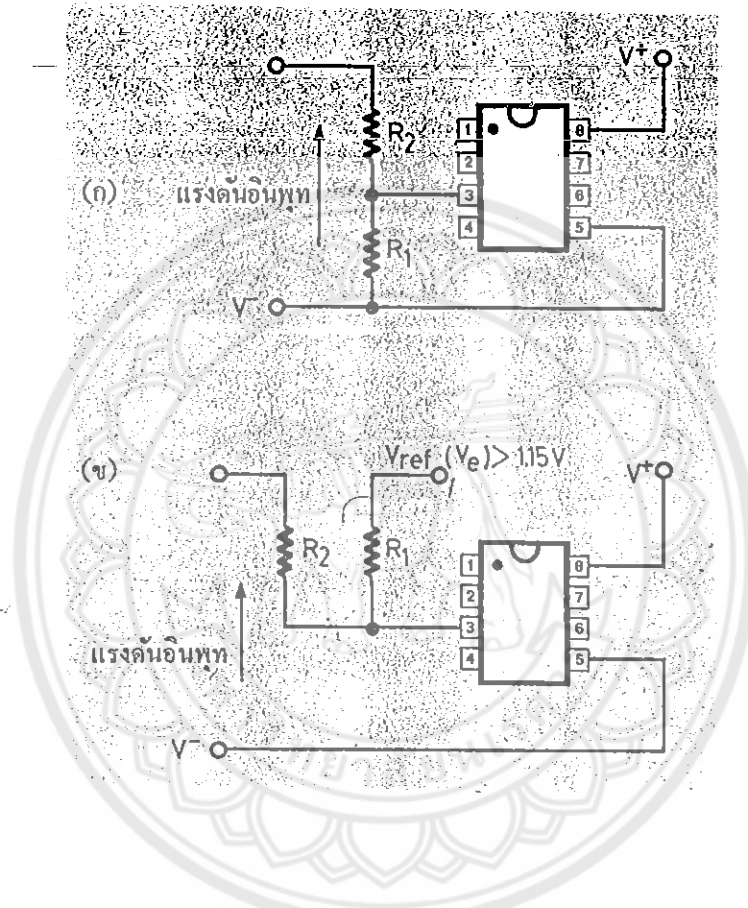
รูปที่ 2.38 วงจรหลักของ LM 340



รูปที่ 2.39 วงจรสมบูรณ์ของ LM 340

2.8 วงจรตรวจจับระดับแรงดัน

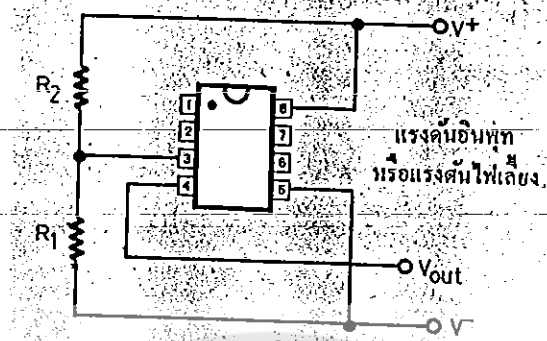
2.8.1 วงจรตรวจจับระดับแรงดันที่ไม่มีฮิสเตอร์เรซิส



รูปที่ 2.40 การจัดวงจรความต้านทานเพื่อใช้ในวงจรตรวจจับ ขนาดและขั้วของแรงดันอินพุท เทียบ V

รูปที่ 2.40 (ก) เมื่อแรงดันอินพุท มีค่ามากกว่า +1.15 โวลต์ เมื่อเทียบกับ V^- แรงดันอินพุทที่ทำให้เอาต์พุทเปลี่ยนภาวะ = $(R_1 + R_2)/R_1 * 1.15$ โวลต์

รูปที่ 2.40 (ข) เมื่อแรงดันอินพุทมีค่าน้อยกว่า +1.15 โวลต์ เมื่อเทียบกับ V^- แรงดันอินพุทที่ต้องการให้ตรวจจับหรือเปลี่ยนภาวะที่เอาต์พุท = $(R_1 + R_2)/R_1 * 1.15 - R_2 V_{REF}/R_1$



รูปที่ 2.41 เมื่อใช้แรงดันอินพุตกับแรงดันไฟเลี้ยงเป็นตัวเดียวกัน

1. ICL 8211
1.8 โวลต์ \leq แรงดันไฟเลี้ยง \leq 30 โวลต์
2. ICL 8212
0 โวลต์ \leq แรงดันไฟเลี้ยง \leq 30 โวลต์

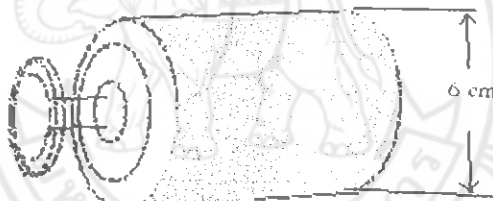
บทที่ 3

การออกแบบรถจักรยานชาร์จเจอร์

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการสร้าง โครงสร้างของเงินเนอร์เรเตอร์และการ ออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่ ศึกษาคุณสมบัติของแบตเตอรี่ Ni - Cd

3.1 ศึกษาการสร้างเงินเนอร์เรเตอร์

เงินเนอร์เรเตอร์ที่ใช้เป็นการนำเอามอเตอร์ มาเปลี่ยนเป็นเงินเนอร์เรเตอร์แทนโดยใช้มอเตอร์ ขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 ซม.



รูปที่ 3.1 เงินเนอร์เรเตอร์

เงินเนอร์เรเตอร์ที่ใช้ การพันจะใช้การพันแบบ Duplex lap ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 28 จำนวนขั้ว 10 ขั้ว จำนวนรอบ 70 รอบต่อขั้ว

เราสามารถคำนวณหาค่า ฟลักซ์แม่เหล็กของเงินเนอร์เรเตอร์ได้จากสมการที่ 2.8

$$E_g = (z\phi PS * 10^{-8}) / (60a)$$

จากตารางที่ 4.1 ที่ความเร็ว 195.7 รอบต่อนาที เงินเนอร์เรเตอร์สามารถผลิตแรงดันได้ 20 โวลต์ แทนค่าในสมการที่ 2.8

เมื่อ

$$E_g = 20 \text{ โวลต์}$$

$$z = 70 * 10 * 2 \text{ เส้น}$$

$$P = 10 \text{ นิ้ว}$$

$$S = 195.7 \text{ รอบต่อนาที}$$

$$a = 2 * 10$$

ดังนั้น

$$\varnothing = (E_g * 60 * a) / (z P S * 10^{-8})$$

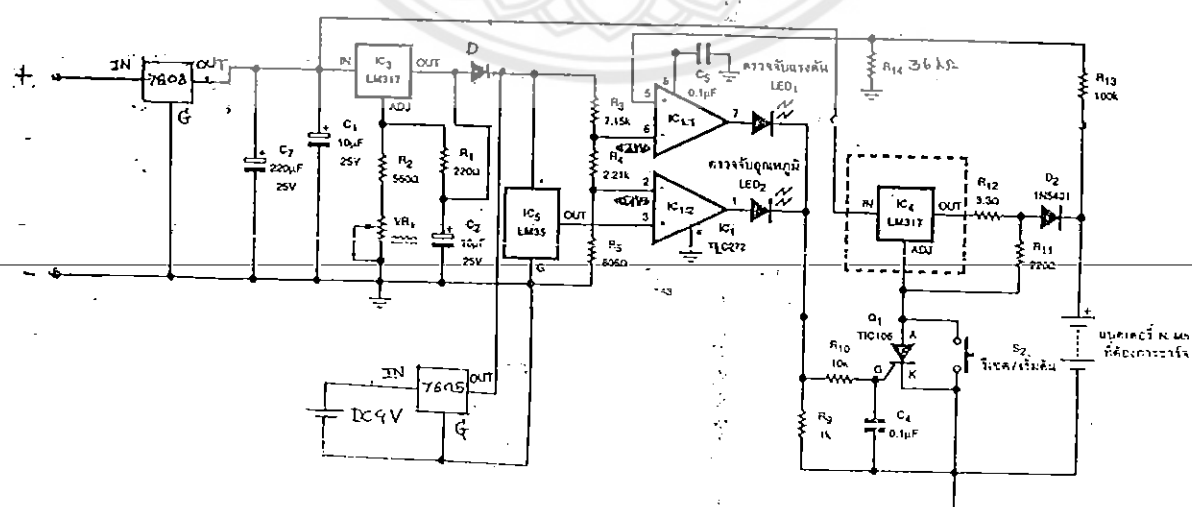
$$= (20 * 60 * 20) / (1400 * 10 * 195.7 * 10^{-8})$$

$$= 875976.35 \text{ เวกเปอร์}$$



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบภายในเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ทำโครงการ

3.2 วงจรชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 3.3 วงจรสมบูรณ์ของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

MISSING



$\frac{1}{2}$ ก็จะมีค่าสูงกว่าแรงดันอ้างอิงที่ขา 2 ทำให้เอาท์พุทขา 1 ของ IC $\frac{1}{2}$ มีสถานะเป็น “1” ทำให้ LED2 ติดสว่างและมีแรงดันไปกระตุ้น Q1 ให้ทำงานหยุดจ่าย กระแสของ IC4

LED1 – LED3 ทำหน้าที่เป็นเสมือน OR เกท จะรวมสัญญาณพัลส์ ที่เป็น “1” ไปกระตุ้นขาเกตของ Q1 ให้นำกระแส โดยมี R10 จำกัดกระแสเกต และ R9 รั้งขาระดับแรงดันกระตุ้นเกต สวิตช์ S2 ทำหน้าที่รีเซ็ตการนำกระแสของ SCR (Q1) และเริ่มทำงานใหม่ การทำงานของ Q1 จะเป็นตัวสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ตัดต่อขา Adj ของ IC4 ให้ต่อลงกราวนด์ หรือไม่ต่อลงกราวนด์ โดยถ้าหากหยุดการชาร์จประจุ Q1 จะนำกระแส Adj ของ IC4 จะต่อลงกราวนด์ หมายถึง Q1 จะนำกระแส จะมีแรงดันออกทางเอาต์พุตของ IC4 ประมาณ 1.9 โวลท์

ทำให้ไดโอด D2 ได้รับไบแอสกลับ ค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายจะขึ้นอยู่กับ จำนวนของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการชาร์จขณะนั้น คือจำนวนของแบตเตอรี่คูณกับค่าแรงดัน 1.35 โวลท์



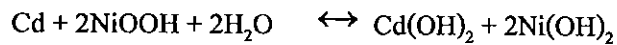
รูปที่ 3.4 กล่องวงจรชาร์จแบตเตอรี่

3.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ นิกเกิล – แคดเมียม

แบตเตอรี่ นิกเกิล – แคดเมียม บางครั้งเรียกว่า เซลแบบ DEAC (ซึ่งเป็นชื่อย่อของบริษัทแรกที่ผลิตขึ้นมาคือ Deutsche Edison Akkumulatoren Company ซึ่งอยู่ในประเทศเยอรมัน) เป็นเซลล์แบบทุติยภูมิ

ขั้วบวกของเซลล์แบบ นิกเกิล – แคดเมียม นี้ทำจากนิกเกิลไฮดรอกไซด์ (Nickel Hydrate) ส่วนขั้วลบนั้นทำจากแคดเมียมไฮดรอกไซด์ (Cadmium Hydroxide) อิเล็กโทรไลต์ทำจากสารละลายโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์

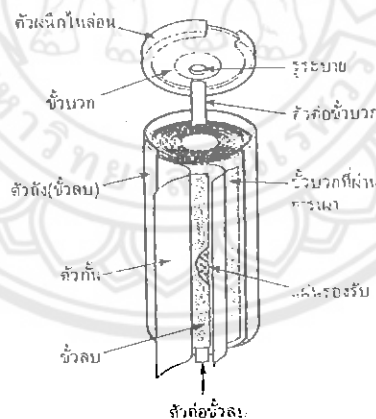
ปฏิกิริยาเคมีในการประจุ เป็นดังนี้



โดยสถานะประจุเต็มที่อยู่ทางด้านซ้ายมือ และสถานะหมดประจุอยู่ทางด้านขวามือ ในเซลล์ที่ได้รับความนิยม ขั้วลบจะเป็นแคดเมียมบริสุทธิ์ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ ในระหว่างการคายประจุ ส่วนขั้วบวกจะค่อย ๆ ลดระดับในการเกิดออกซิเดชันระหว่างการคายประจุ

ในระหว่างกระบวนการคายประจุ นอกจากปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกแล้วนั้น จะมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นด้วย ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซออกซิเจน แต่ก็ไม่มีปัญหาเนื่องจากก๊าซออกซิเจนสามารถเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปรวมตัวกับขั้วลบ

ปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบจะผลิตก๊าซไฮโดรเจนขึ้น โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขั้วลบอยู่ในสถานะประจุเต็มๆ โดยจะไม่รั่วไหลออกไป ถ้าทำให้ขนาดของขั้วลบใหญ่กว่าขั้วบวก เราจะเห็นได้ว่าเมื่อเซลล์ถูกประจุจนเต็มกระแสที่ไหลผ่านเซลล์ทั้งหมดจะใช้ในการผลิตก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวกซึ่งจะผ่านไปรวมตัวกันที่ขั้วลบ ซึ่งโครงสร้างของเซลล์เป็นสิ่งจำเป็นมากที่จะต้องสร้างให้มีทางให้ก๊าซออกซิเจนมารวมตัวได้ มิเช่นนั้นแล้วก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

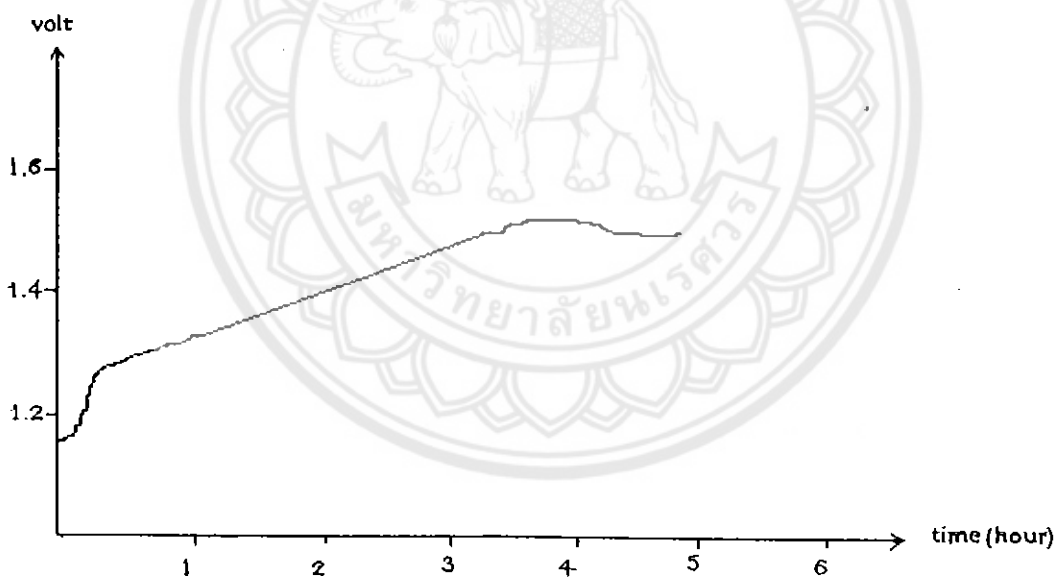


รูปที่ 3.5 โครงสร้างของเซลล์นิเกิล-แคดเมียม

การประจุแบตเตอรี่ นิเกิล – แคดเมียม แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ การประจุทีละน้อย การประจุอย่างรวดเร็ว และการประจุอย่างเร่งด่วน

การประจุที่ละน้อย ถ้ากระแสในวงจรรักษาไว้ที่ อัตราเท่ากับ C/10 (10% ของความจุ) แล้ว เซลล์ ที่หมดประจุอย่างสมบูรณ์สามารถจะประจุได้ภายในเวลา 10 ชั่วโมง โดยเพื่อการสูญเสียไว้บ้าง การประจุที่ละน้อยด้วย อัตราขนาดนี้สามารถประจุทิ้งไว้ค้างคืนได้ ประโยชน์อีกข้อหนึ่งของการประจุเซลล์ด้วยอัตราขนาดนี้คือ ถึงแม้ว่าเซลล์จะถูกประจุเต็มแล้วก็ตาม ก็ไม่จำเป็นต้องนำเซลล์ออก เนื่องจากถ้าเราประจุต่อไปก็ไม่ทำให้เกิดความเสียหายให้แก่เซลล์ เนื่องจากก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่ขั้วบวกจะรวมตัวกับขั้วลบการประจุเซลล์ โดยวิธีนี้เป็นวิธีเดียวที่สามารถจะประจุโดยไม่มีข้อจำกัด ซึ่งจะไม่ทำความเสียหายแก่เซลล์ ยกตัวอย่างเช่น เซลล์มีขนาดความจุ 500 มิลลิแอมป์ต่อชั่วโมง ถ้าประจุด้วยอัตรา C/10 ก็เท่ากับ 10 % ของความจุคือ 50 มิลลิแอมป์

การประจุอย่างรวดเร็ว เซลล์แบบนิเกิล - แคดเมียมนี้สามารถจะประจุด้วยอัตราที่สูงขึ้นกว่าได้ เช่น ด้วยอัตรา C/3 (33% ของความจุ) ถึง C/5 (20% ของความจุ) โดยจะต้องเตรียมการตัดการประจุ เมื่อเซลล์ได้รับการประจุจนเต็มที่แล้ว ซึ่งสามารถทำได้โดยอัตโนมัติโดยใช้วงจรตรวจจับระดับแรงดัน ซึ่งจะตัดกระแสที่ใช้ในการประจุออก เมื่อแรงดันของเซลล์เพิ่มขึ้นเกินกว่าค่าปัจจุบัน



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเมื่อประจุด้วย อัตรากระแส C/4

การประจุอย่างเร่งด่วน มีบางกรณีที่ใช้ต้องการที่จะประจุเซลล์ภายในเวลาเพียง 2 – 3 นาที ยกตัวอย่างเช่น เครื่องบินเล็กที่ใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายกำลัง จะต้องการ การประจุเซลล์ที่หมดประจุเพื่อที่จะนำเครื่องบินขึ้นสู่อากาศอีกครั้ง โดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

เป็นไปได้ที่จะประจุเซลล์อย่างเร่งด่วน ด้วยอัตราการประจุสูงถึง 4C (4 เท่าของความจุ) หรือมากกว่านี้ โดยวิธีต่อไปนี้เป็นวิธีวัดแรงดันของเซลล์และตัดกระแสที่ประจุออกมาเมื่อแรงดันของเซลล์ขึ้นสูงถึงค่าที่ตั้งเอาไว้ สิ่งที่เราควรระวังในการประจุอย่างเร่งด่วนนี้คือ การประจุมากเกินไปเพียง 2-3 วินาที อาจจะทำให้เกิดการรั่วของเซลล์เซลล์จะต้องหมดประจุเสียก่อน

3.4 การติดตั้ง เจนเนอเรเตอร์ และวงจรชาร์จแบตเตอรี่เข้ากับตัวรถ

การติดตั้งนั้น จะติดตั้งเจนเนอเรเตอร์บริเวณท้ายรถส่วนการติดตั้งวงจรชาร์จแบตเตอรี่จะติดตั้ง บริเวณกลางตัวรถ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.7 การติดตั้งเจนเนอเรเตอร์และวงจรชาร์จแบตเตอรี่

3.4.1 การติดตั้งระบบทดความเร็วโดยใช้สายพาน

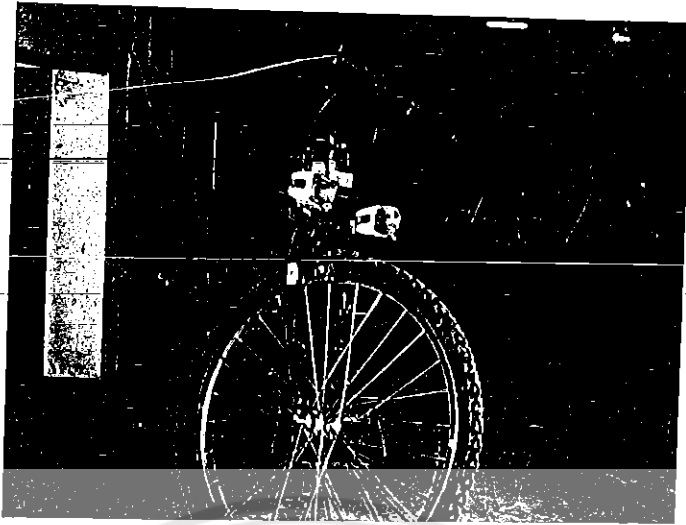
การติดตั้งส่วนทดความเร็ว จะใช้ มู่เล่ย์ 2 ขนาดเป็นตัวทด โดยใช้ มู่เล่ย์ ขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 0.015 เมตร ติดที่แกนของเจนเนอเรเตอร์ และมู่เล่ย์ ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 0.15 เมตร ติดที่แกนเพลาหลังของล้อรถ จะได้อัตราทด 1 : 10



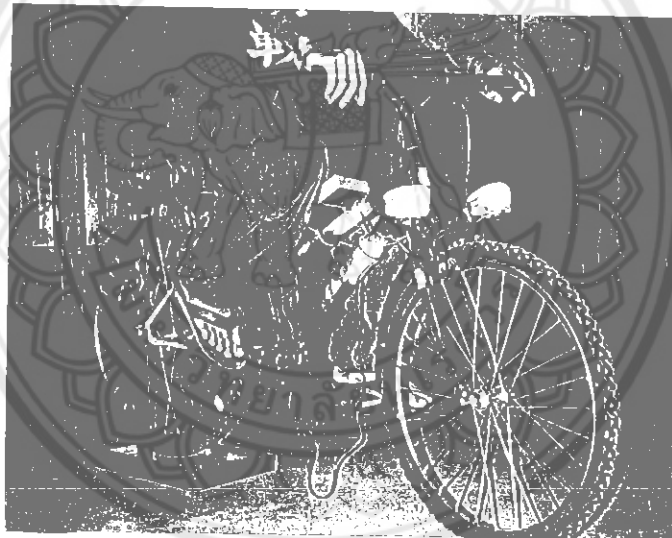
รูปที่ 3.8 การติดตั้งระบบทดความเร็วโดยใช้สายพาน



รูปที่ 3.9 ไคณาโมแบบเก่า



รูปที่ 3.10 ด้านหน้ารถจักรยานชาร์จเจอร์



รูปที่ 3.11 รถจักรยานชาร์จเจอร์ขณะใช้งาน

บทที่ 4

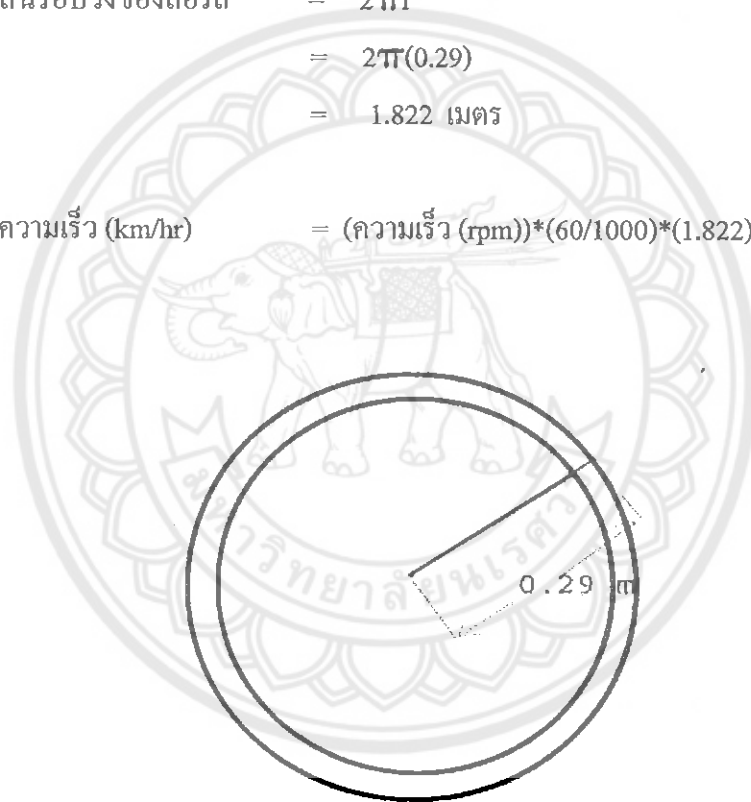
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การทดสอบการทำงานของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยวัดความเร็วกับแรงดันที่เจนเนอเรเตอร์ผลิตได้ โดยใช้เครื่องวัดความเร็วแบบแสงเป็นตัววัดความเร็ว รอบ ต่อ นาที ของล้อรถจักรยาน

โดย

$$\begin{aligned} \text{เส้นรอบวงของล้อรถ} &= 2\pi r \\ &= 2\pi(0.29) \\ &= 1.822 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ความเร็ว (km/hr)} = (\text{ความเร็ว (rpm)}) \cdot (60/1000) \cdot (1.822)$$

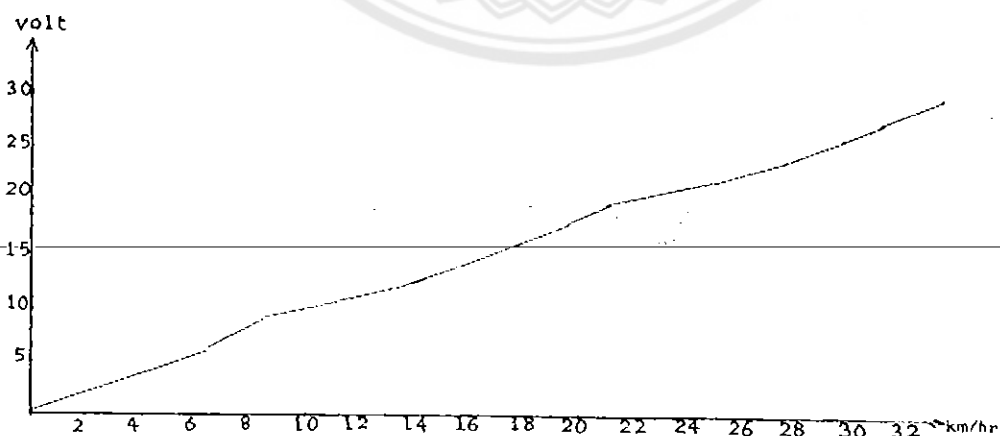


รูปที่ 4.1 ล้อมีล้อรถจักรยาน

4.1 ผลการทดลองวัดความเร็วกับแรงดันกระแสตรงที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดความเร็วกับแรงดันกระแสตรงที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่

| แรงดันที่ผลิตได้ (volt) | ความเร็ว (rpm) | ความเร็ว (km/hr) |
|-------------------------|----------------|------------------|
| 6 | 57.3 | 6.23 |
| 8 | 76.7 | 8.37 |
| 10 | 97.6 | 10.65 |
| 12 | 121.3 | 13.25 |
| 14 | 143.6 | 15.68 |
| 16 | 163.5 | 17.85 |
| 18 | 178.9 | 19.54 |
| 20 | 195.7 | 21.37 |
| 22 | 228.0 | 24.89 |
| 24 | 252.0 | 27.51 |
| 26 | 271.8 | 29.68 |
| 28 | 281.7 | 30.76 |
| 30 | 307.8 | 33.61 |
| Max 36.7 | 368.0 | 40.18 |



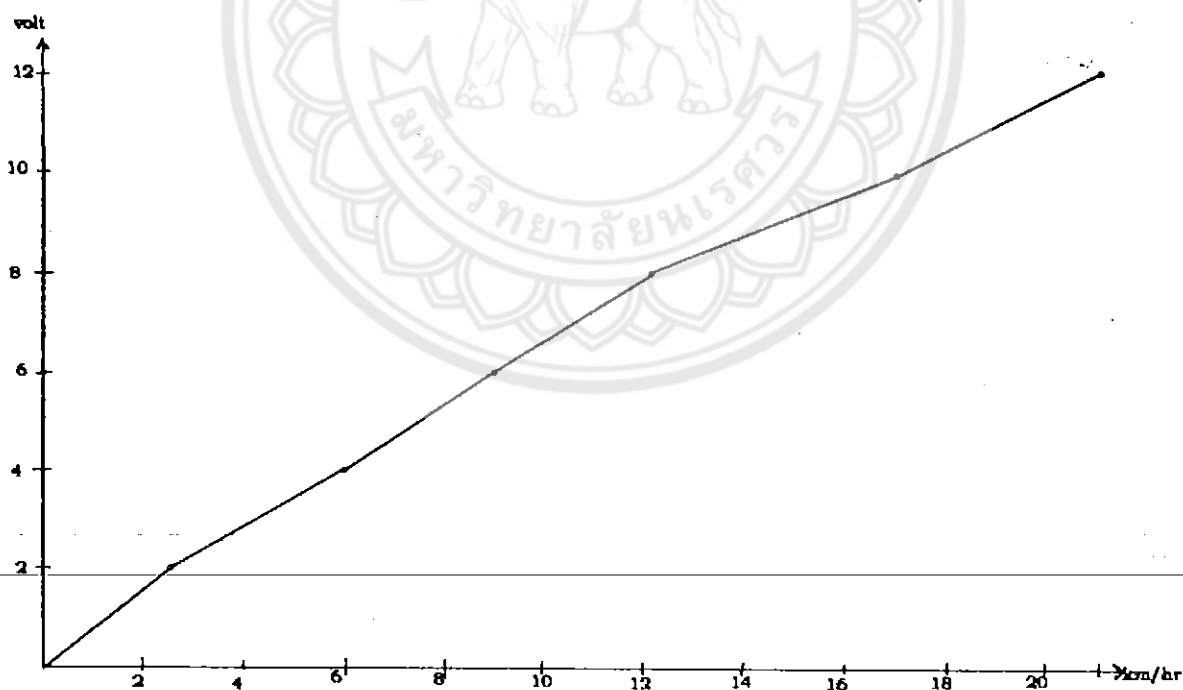
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงดันกระแสตรงที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่

4.2 ผลการทดลองวัดความเร็วกับแรงดันกระแสตรงที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่า

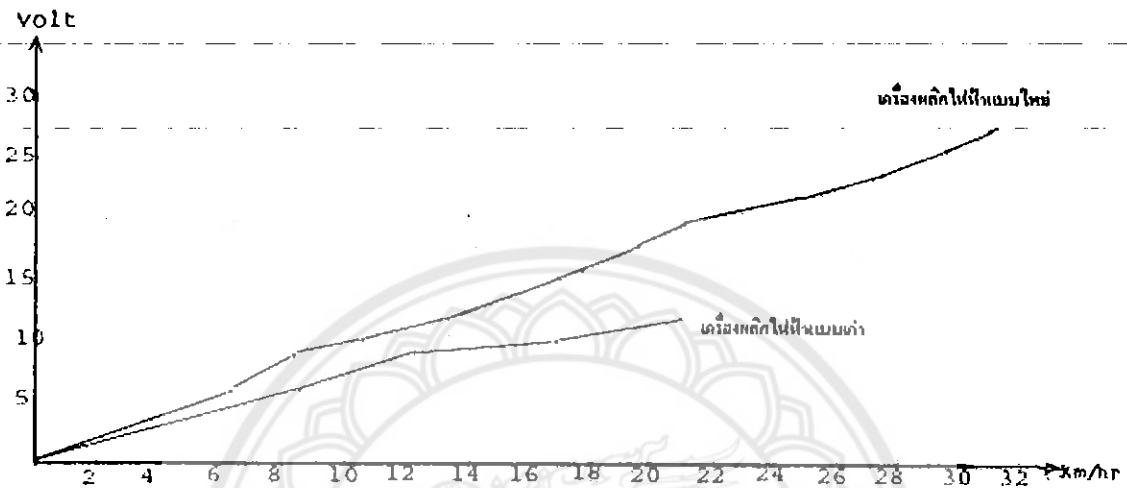
จากการทดสอบการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่าเราสามารถ บันทึกผลการทดลอง ซึ่งวัดค่าความเร็วกับแรงดันที่ผลิตออกมาได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดความเร็วกับแรงดันกระแสสลับที่ได้ของเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่า

| แรงดันที่ผลิตได้ (volt) | ความเร็ว (rpm) | ความเร็ว (km/hr) |
|-------------------------|----------------|------------------|
| 6 | 83.5 | 9.12 |
| 8 | 112.7 | 12.3 |
| 10 | 156.1 | 17.8 |
| 12 | 195.9 | 21.4 |



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงดันกระแสสลับที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่า



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงดันกระแสตรงที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่ และแบบเก่า

จาก กราฟทั้ง 2 เส้นจะเห็นได้ว่า เครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่ สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่าแบบเก่า โดยเมื่อเปรียบเทียบที่แรงดันเท่าแล้ว ถ้าใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่าจะต้องทำความเร็วมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ จึงจะทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากัน

เช่น ถ้าต้องการผลิตแรงดันไฟฟ้าให้ได้ 10 โวลต์ เท่ากัน เครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่ จะทำความเร็ว 10.65 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ถ้าใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่าจะต้องทำความเร็ว 17.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จึงจะสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 10 โวลต์ ที่ความเร็ว 17.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถ้าใช้กับเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่ จะสามารถผลิตแรงดันได้ ถึง 16 โวลต์

4.3 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ที่ความเร็วต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

| ความเร็วของจักรยาน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง | | | |
|--|--------------------|-----------------------|----------------------------|
| เวลา (นาที) | แรงดันที่แบตเตอรี่ | กระแสที่ผ่านแบตเตอรี่ | แรงดันที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ |
| | ขณะชาร์จ (โวลต์) | (มิลลิแอมป์) | (โวลต์) |
| 0 | 5.38 | 150 | 6.22 |
| 10 | 5.43 | 110 | 6.28 |
| 20 | 5.45 | 100 | 6.29 |
| 30 | 5.46 | 100 | 6.29 |
| 40 | 5.47 | 100 | 6.30 |
| 50 | 5.48 | 95 | 6.30 |
| 60 | 5.50 | 95 | 6.31 |
| 70 | 5.51 | 95 | 6.31 |
| 80 | 5.52 | 95 | 6.31 |
| 90 | 5.52 | 95 | 6.31 |
| 100 | 5.53 | 95 | 6.32 |
| 110 | 5.54 | 95 | 6.32 |
| 120 | 5.55 | 95 | 6.32 |
| 130 | 5.56 | 95 | 6.32 |
| 140 | 5.56 | 95 | 6.32 |
| 150 | 5.57 | 94 | 6.33 |
| 160 | 5.57 | 94 | 6.33 |
| 170 | 5.58 | 94 | 6.33 |
| 180 | 5.59 | 94 | 6.33 |
| 190 | 5.60 | 94 | 6.33 |
| 200 | 5.61 | 94 | 6.33 |
| 210 | 5.62 | 94 | 6.33 |
| 220 | 5.62 | 94 | 6.33 |
| 230 | 5.63 | 94 | 6.33 |
| 240 | 5.64 | 93 | 6.34 |

| เวลา (นาที) | แรงดันที่แบตเตอรี่ขณะ ชาร์จ (โวลต์) | กระแสที่ผ่านแบตเตอรี่ (มิลลิแอมป์) | แรงดันที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ (โวลต์) |
|-------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 250 | 5.64 | 93 | 6.34 |
| 260 | 5.65 | 93 | 6.34 |
| 270 | 5.66 | 93 | 6.34 |
| 280 | 5.66 | 93 | 6.34 |
| 290 | 5.67 | 93 | 6.34 |
| 300 | 5.68 | 93 | 6.34 |
| 310 | 5.68 | 93 | 6.34 |
| 320 | 5.69 | 92 | 6.35 |
| 330 | 5.70 | 92 | 6.35 |

จากผลการทดลองตารางที่ 4.3 แสดงถึงการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยความเร็วคงที่ ที่ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กระแสช่วงแรกที่ชาร์จจะสูง และค่อยๆ ลดลงเนื่องจาก ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่สูงขึ้น กระแสสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ผลิตได้ที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ประมาณ 150 มิลลิแอมป์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มได้ภายในระยะเวลา 330 นาที หรือ 5.5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

| ความเร็วของจักรยาน 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง | | | |
|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| เวลา (นาที) | แรงดันที่แบตเตอรี่ ขณะชาร์จ (โวลต์) | กระแสที่ผ่านแบตเตอรี่ (มิลลิแอมป์) | แรงดันที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ (โวลต์) |
| 0 | 5.38 | 300 | 6.22 |
| 10 | 5.42 | 250 | 6.29 |
| 20 | 5.45 | 248 | 6.32 |
| 30 | 5.47 | 245 | 6.32 |
| 40 | 5.50 | 245 | 6.32 |
| 50 | 5.54 | 240 | 6.33 |
| 60 | 5.57 | 240 | 6.33 |
| 70 | 5.60 | 240 | 6.33 |

| เวลา (นาที) | แรงดันที่แบตเตอรี่ ขณะชาร์จ (โวลต์) | กระแสที่ผ่านแบตเตอรี่ (มิลลิแอมป์) | แรงดันที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ (โวลต์) |
|-------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 80 | 5.62 | 235 | 6.34 |
| 90 | 5.65 | 235 | 6.34 |
| 100 | 5.67 | 235 | 6.34 |
| 110 | 5.69 | 235 | 6.35 |
| 120 | 5.70 | 230 | 6.35 |

จากผลการทดลองตารางที่ 4.4 แสดงถึงการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยความเร็วคงที่ ที่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กระแสสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ผลิตได้ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ประมาณ 300 มิลลิแอมป์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มได้ภายในระยะเวลา 120 นาที หรือ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ที่ความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

| ความเร็วของจักรยานที่ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| เวลา (นาที) | แรงดันที่แบตเตอรี่ ขณะชาร์จ (โวลต์) | กระแสที่ผ่านแบตเตอรี่ (มิลลิแอมป์) | แรงดันที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ (โวลต์) |
| 0 | 5.38 | 400 | 6.22 |
| 10 | 5.44 | 340 | 6.29 |
| 20 | 5.48 | 330 | 6.31 |
| 30 | 5.52 | 330 | 6.31 |
| 40 | 5.55 | 330 | 6.32 |
| 50 | 5.58 | 320 | 6.32 |
| 60 | 5.61 | 320 | 6.32 |
| 70 | 5.65 | 320 | 6.32 |
| 80 | 5.68 | 320 | 6.33 |
| 90 | 5.70 | 310 | 6.33 |

จากผลการทดลองตารางที่ 4.5 แสดงถึงการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยความเร็วคงที่ที่ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กระแสสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ผลิตได้ที่มีความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ประมาณ 400 มิลลิแอมป์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มได้ภายในระยะเวลา 90 นาที หรือ 1.5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการชาร์จด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเก่าที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

| ความเร็วของจักรยานที่ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| เวลา (นาที) | แรงดันที่แบตเตอรี่ ขณะชาร์จ (โวลต์) | กระแสที่ผ่านแบตเตอรี่ (มิลลิแอมป์) | แรงดันที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ (โวลต์) |
| 0 | 5.38 | 100 | 6.22 |
| 20 | 5.44 | 80 | 6.25 |
| 40 | 5.48 | 75 | 6.28 |
| 60 | 5.50 | 74 | 6.29 |
| 80 | 5.52 | 74 | 6.29 |
| 100 | 5.54 | 74 | 6.29 |
| 120 | 5.54 | 73 | 6.29 |
| 140 | 5.56 | 73 | 6.29 |
| 160 | 5.57 | 73 | 6.29 |
| 180 | 5.59 | 73 | 6.29 |
| 200 | 5.60 | 73 | 6.29 |
| 220 | 5.61 | 73 | 6.30 |
| 240 | 5.63 | 72 | 6.30 |
| 260 | 5.65 | 72 | 6.30 |
| 280 | 5.65 | 72 | 6.30 |
| 300 | 5.66 | 72 | 6.30 |
| 320 | 5.68 | 72 | 6.31 |
| 340 | 5.68 | 72 | 6.31 |
| 360 | 5.69 | 71 | 6.31 |
| 380 | 5.69 | 71 | 6.31 |
| 400 | 5.70 | 71 | 6.31 |

จากผลการทดลองตารางที่ 4.6 แสดงถึงการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยความเร็วคงที่ที่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กระแสสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ผลิตได้ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ประมาณ 100 มิลลิแอมป์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มได้ภายในระยะเวลา 400 นาที หรือ 6.6 ชั่วโมง

จากผลการทดลองการชาร์จแบตเตอรี่ ด้วยความเร็วต่างๆ กันจะพบว่าเมื่อความเร็วของการปั่นเพิ่มขึ้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะสามารถจ่ายกระแสได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.4 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่

เนื่องจากการชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่นั้นเครื่องชาร์จจะเป็นเครื่องที่ทำหน้าที่ป้องกันการชาร์จเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับแบตเตอรี่และคอยควบคุมแรงดันให้คงที่ ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะทำให้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ไม่เกิดความร้อนขึ้นซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจาก loss ต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องหาประสิทธิภาพของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อดูความสามารถในการชาร์จ

แรงดันที่เข้าวงจรชาร์จจะผ่านการ รักราระดับแรงดันด้วยไอซี 7808 ได้แรงดันที่คงที่ ที่ประมาณ 7.9 โวลต์ เข้าไปเลี้ยงวงจร และชาร์จแบตเตอรี่ ขณะชาร์จแบตเตอรี่ มีแรงดันที่ออกจากวงจรชาร์จแบตเตอรี่ ประมาณ 6.22 โวลต์ กระแสที่ผ่านเข้ามาในวงจร และกระแสที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่มีค่าเท่ากัน

ประสิทธิภาพ

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ} \quad \eta &= \frac{\text{พลังงานที่ชาร์จเข้าไป}}{\text{พลังงานที่ใช้}} \\ &= \frac{6.22 \cdot I}{7.9 \cdot I} \\ &= 0.787 \quad \text{หรือ} \quad 78.7 \% \end{aligned}$$

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างทดลองนำมาทดสอบ และ เก็บผลการทดลองของ รถจักรยานชาร์จเจอร์ จากการทดสอบการทำงานของเจนเนอเรเตอร์ เจนเนอเรเตอร์สามารถผลิตแรงดันสูงสุดได้ 36.7 โวลท์ ที่ความเร็ว 40.18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมากกว่าแรงดันที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าแบบเก่า และก่อให้เกิดความหน่วงน้อยกว่าแบบเก่า

การทำงานของวงจรชาร์จประจุ สามารถทำการชาร์จประจุ ให้กับแบตเตอรี่ ด้วยกระแส ต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการปั่นจักรยาน กระแสที่ชาร์จจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของการปั่นจักรยาน เช่น จากการทดลองปั่นด้วยความเร็วคงที่ ที่ประมาณ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วปกติที่ปั่นกันทั่วไป จะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ในการชาร์จแบตเตอรี่ ความจุ 500 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง

5.2 ปัญหาอุปสรรคและการแก้ปัญหา

5.2.1 การทำงานของวงจรชาร์จประจุยังไม่มีเสถียรภาพเท่าที่ควร เนื่องจากเมื่อได้รับการกระทบ กระเทือน จะทำให้วงจรทำงานหยุดชาร์จแบตเตอรี่ทันที ต้องกดสวิตช์ รีเซตใหม่บ่อย

5.2.2 วงจรจะทำงานชาร์จประจุได้ต้องทำความเร็วของรถจักรยานถึงระดับความเร็วหนึ่ง จึงจะสามารถเริ่มชาร์จประจุได้

5.2.3 ถ้าปั่นด้วยความเร็วสูงเกินไปอาจทำให้ ตัว ไอซีที่ใช้ในการรักษาระดับแรงดันเสียหายมีผลทำให้วงจรเสียหายไปด้วย

5.3 ข้อดีและข้อเสียระหว่างเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่และเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่า

ตารางที่ 5.1 ข้อดีและข้อเสียระหว่างเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่และเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่า

| | เครื่องผลิตไฟฟ้าแบบใหม่ | เครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเก่า |
|-----------------------------------|--|------------------------------|
| 1. ความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้า | ที่ระดับความเร็วเท่ากันสามารถผลิตแรงดันออกมาได้มากกว่า | สามารถผลิตแรงดันออกมาได้น้อย |
| 2. ความหน่วง | มีความหน่วงน้อย | มีความหน่วงมาก |
| 3. ความสามารถในการชาร์จแบตเตอรี่ | สามารถชาร์จประจุได้เร็ว | ชาร์จได้ช้า |



เอกสารอ้างอิง

- [1] มงคล ทองสงคราม. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง. ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : พรศิวิภาการพิมพ์. 2538.
- [2] สุภชัย สุรินทร์วงศ์. เครื่องกลไฟฟ้า 1. ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น) 2538.
- [3] ยืน ภู่วรวรรณ. เทคนิคการประยุกต์ และใช้งานดิเนียร์ไอซี. ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็คคอม มูเคชั่น 2523.



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

1. นายวิฑูลย์ กล้าเกษตรวิทย์ : เกิดวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2522

บ้านเลขที่ 178 หมู่ 1 ต.ลานกระบือ อ.ลานกระบือ

จ. กำแพงเพชร รหัสไปรษณีย์ 62170

จบการศึกษาจากโรงเรียนลานกระบือวิทยา จ.กำแพงเพชร

2. นายศราวุธ สมยา

: เกิดวันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2522

บ้านเลขที่ 365/3 หมู่ 5 ต.น้ำร้อน อ.เมือง

จ. ตาก รหัสไปรษณีย์ 63000

จบการศึกษาจากโรงเรียนตากพิทยาคม จ.ตาก

