

การเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยโช้คอัพรถยนต์
ENERGY HARVESTING USING THE CAR SHOCK ABSORBER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมป้องกันประเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-EN-M-011-107

การเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยโช้คอัพรถยนต์
ENERGY HARVESTING USING THE CAR SHOCK ABSORBER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมป้องกันประเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-EN-M-011-107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENERGY HARVESTING USING THE CAR SHOCK ABSORBER

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered, pagoda-like structures. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The name 'KRISORN TALUNGJIT' is printed in the center of the seal.

KRISORN TALUNGJIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN DEFENCE ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2020

KMITL-2020-EN-M-011-107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2020

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยโซลาร์เซลล์
นักศึกษา	นายไกรสร ตลิ่งจิตร
รหัสประจำตัว	58601145
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมป้องกันประเทศ
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. รอ. วีระเชษฐ ชันเงิน

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการเก็บเกี่ยวพลังงานจากโซลาร์เซลล์ โดยมีแนวคิดที่จะเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนจากภาวะถนนขรุขระเมื่อรถยนต์วิ่งผ่าน ได้สร้างต้นแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากโซลาร์เซลล์ที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานทางกลและเปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้า เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ว่าสามารถเก็บเกี่ยวกำลังไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด การเก็บเกี่ยวพลังงานจากโซลาร์เซลล์ของระบบไฮดรอลิกส์ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกจากเดิมที่ไหลผ่านวาล์วภายในโซลาร์เซลล์ที่เป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเป็นการไหลผ่านมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ที่เป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นกำลังไฟฟ้าและชาร์จกลับไปเก็บพลังงานที่แบตเตอรี่ จากการทดสอบโดยชุดทดสอบใช้มอเตอร์กระแสเหนี่ยวนำขนาด 1/4 แรงม้า เป็นตัวขับที่ปรับความเร็วได้ พบว่าในเบื้องต้นโซลาร์เซลล์สามารถเก็บเกี่ยวกำลังไฟฟ้าสูงสุด 4.04 วัตต์ ที่ระยะขึ้นลงของโซลาร์เซลล์ 20 มิลลิเมตร โดยมีความเร็วรอบ 110 รอบ/นาที การเก็บเกี่ยวกำลังไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระยะขึ้นลงของโซลาร์เซลล์ที่ได้ขนาดความขรุขระของถนนและความเร็วรอบของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่หรือความหนาแน่นของความขรุขระและความเร็วของรถที่วิ่งผ่านด้วย

Thesis	Energy Harvesting Using the Car Shock Absorber
Student	Mr.Krisorn Talungjit
Student ID.	58601145
Degree	Master of Engineering
Program	Defence Engineering
Year	2020
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr. Werachet Khan-Ngern

ABSTRACT

The purposes of this research is to design an energy harvesting system prototype using the shock absorber from rough road during car driving. The vibration effect from rough road causes the shaft of shock absorber vertical moving. The mechanism of the hydraulic system change the direction of the hydraulic oil flow through the internal valve which is a vertical movement to through the hydraulic motor. The rotation movement can drive the generator which converts the mechanical energy to electrical energy. The electrical energy is stored to a battery. The prototype composes of 1/4 horse power induction motor as the initial energy, shock absorber and hydraulic control system and a generator. The primary experimental result shows the peak harvesting electric power at 4.04 W. The operating condition is 20 mm vertical movement of the absorber and 110 rpm motor prime-mover. It can conclude that the harvesting energy are depended on rough level, rough density and car speed.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ นายณัฐพันธ์ บุญเสนอ และน้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการออกแบบชุดทดสอบและทำการทดลอง

ขอขอบคุณ หจก. เอส.เค.เค. ไฮดรอลิค เซอร์วิส พาร์ท ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

สุดท้ายต้องขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า คุณสกุลตรา ภูสิทธิ์ ที่เป็นเสมือนคู่คิดและกำเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ไกรสร ตีลังจิตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ใช้อัพฮอว์บเบอร์.....	3
2.2 การสั้นสะเทือน.....	7
2.3 ระบบไฮโดรลิกส์	16
2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	24
2.5 การเก็บเกี่ยวพลังงาน.....	44
2.6 ศักยภาพในการเก็บเกี่ยวพลังงาน.....	45
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	52
3.1 การสร้างแบบจำลอง.....	52
3.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงาน.....	53
3.3 การเชื่อมต่อระบบเปลี่ยนทิศทางการไหล	58
3.4 การเชื่อมต่อมอเตอร์ไฮโดรลิกส์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	58
3.5 การออกแบบชุดทดสอบใช้อัพเก็บเกี่ยวพลังงาน.....	59
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ.....	61
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ.....	71

สารบัญ

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	73
ประวัติผู้เขียน.....	75



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 บันทึกผลการทดสอบหาค่าความเร็วลูกเบี้ยวที่ทำให้แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ ที่ความเร็วต่าง ๆ.....	64
4.2 ผลการคำนวณ.....	64
4.3 บันทึกผลการทดสอบหาค่าความเร็วลูกเบี้ยวที่ทำให้แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ที่ระยะชักต่าง ๆ.....	66
4.4 ผลการคำนวณ.....	66
4.5 การทดสอบเปลี่ยนค่าความต้านทานคงที่ โดยการกำหนดความเร็วรอบ 110 และระยะชัก 20.....	68
4.6 ผลการคำนวณ.....	69
4.7 ผลการทดสอบการเก็บเกี่ยวกำลังไฟฟ้าด้วยโดยชุดทดสอบ.....	69



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน้าที่การทำงานของโซ่ก้อปซอร์บเบอร์เมื่อรถวิ่งบนถนนที่มีสภาพที่ขรุขระ.....	3
2.2 กราฟการเปรียบเทียบความถี่การเต้นของสปริงในระบบรองรับน้ำหนัก ที่ไม่ใช่โซ่ก้อปซอร์บเบอร์ กับโซ่ก้อปซอร์บเบอร์.....	3
2.3 หลักการทำงานของโซ่ก้อปซอร์บเบอร์รูปทรงกระบอก.....	4
2.4 ส่วนประกอบของโซ่ก้อปซอร์บเบอร์แบบทำงานโดยตรง.....	5
2.5 การทำงานของโซ่ก้อปซอร์บเบอร์ขณะที่ยุบตัวและยืดตัว.....	6
2.6 ส่วนประกอบของโซ่ก้อปซอร์บเบอร์แบบกระบอกเดี่ยวอัดแก๊สไนโตรเจนแรงดันสูง.....	6
2.7 ระบบการสันสะเทือนแรงแบบฮาร์โมนิก.....	7
2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของระบบรีโซแนนซ์.....	10
2.9 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบ BEATING.....	10
2.10 การเคลื่อนที่รวมของระบบ.....	11
2.11 กราฟความสัมพันธ์ของสมการที่ (14).....	11
2.12 การสันจากการหมุนแบบไม่สมดุล.....	12
2.13 กราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการที่ (19).....	13
2.14 แรงที่ถูกส่งผ่านไปยังฐาน.....	13
2.15 ความสัมพันธ์ของสมการ (25).....	15
2.16 ฐานเคลื่อนที่.....	15
2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน แรง และพื้นที่.....	19
2.18 หลักการประยุกต์การใช้กฎของปาสคาล.....	20
2.19 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบเฟือง.....	21
2.20 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบใบพัด.....	21
2.21 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบลูกสูบ.....	22
2.22 เส้นแรงแม่เหล็กมีความสม่ำเสมอเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดอาเมเจอร์.....	29
2.23 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดอาเมเจอร์.....	30
2.24 ปฏิกริยาอาเมเจอร์เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลด.....	30
2.25 นามแม่เหล็กลด.....	31
2.26 สนามแม่เหล็กวาง.....	33

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.27 ชาร์ลส์ โพรทอส สเตียนเมท.....	36
2.28 ผังตำแหน่งของกำลังในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	40
2.29 แบบจำลองระบบการสั่นสะเทือนจากพื้น.....	45
2.30 แสดงแบบจำลองทั่วไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	49
3.1 รูปแบบไดอะแกรมแนวคิดการออกแบบระบบใช้คอปป์เก็บเกี่ยวพลังงาน.....	53
3.2 รูปสัญลักษณ์กระบอกสูบสองทาง.....	53
3.3 ต้นแบบใช้คอปป์ที่ออกแบบขึ้นมาใหม่.....	54
3.4 รูปสัญลักษณ์เช็ควาล์วชนิดล้นลูกบอล.....	54
3.5 วาล์วไฮดรอลิกกันกลับหรือเช็ควาล์ว.....	55
3.6 รูปสัญลักษณ์วาล์วควบคุมอัตราการไหล.....	55
3.7 วาล์วควบคุมอัตราการไหล.....	55
3.8 วาล์วควบคุมอัตราการไหล.....	56
3.9 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์.....	56
3.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	57
3.11 ท่อและข้อต่อไฮดรอลิกส์.....	57
3.12 ระบบเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์.....	58
3.13 การเชื่อมต่อมอเตอร์ไฮดรอลิกส์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	58
3.14 ชุดทดสอบใช้คอปป์เก็บเกี่ยวพลังงาน.....	59
3.15 ลูกเบี้ยวปรับระยะ.....	59
3.16 อินเวอร์เตอร์.....	60
3.17 อินเวอร์เตอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสเหนี่ยวนำ.....	60
4.1 ทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์เมื่อใช้คอปป์ตัว.....	61
4.2 ทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์เมื่อใช้คอปป์ตัว.....	61
4.3 การติดตั้งต้นแบบใช้คอปป์เก็บเกี่ยวพลังงานเข้ากับชุดทดสอบ.....	62
4.4 ยึดก้านส่งกำลังเข้ากับลูกเบี้ยวที่ตำแหน่ง 20 มิลลิเมตร.....	63
4.5 กำหนดความเร็วของลูกเบี้ยว 5 ระดับ.....	63
4.6 วัดความเร็วที่แรมมอเตอร์ไฮดรอลิกส์.....	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.7 กำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที.....	65
4.8 ยึดก้านส่งกำลังเข้ากับลูกเบี้ยวที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	65
4.9 วัดความเร็วที่แรมมอเตอร์ไฮดรอลิกส์.....	66
4.10 กำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที.....	67
4.11 ยึดก้านส่งกำลังเข้ากับลูกเบี้ยวที่ตำแหน่ง 20 มิลลิเมตร.....	67
4.12 วงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้า A จากต้นแบบโซ่คัพเก็บบนเครื่อง.....	68
4.13 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า V จากต้นแบบโซ่คัพเก็บบนเครื่อง.....	68
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบหรืออัตราการสั่นสะเทือนกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้.....	70



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็น 1 ใน 10 อุตสาหกรรมเป้าหมาย ที่จะเป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจเพื่ออนาคต ด้วยการสนับสนุนเชิงนโยบายของภาครัฐบาลต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมรถยนต์ ที่ส่งเสริมการผลิตรถยนต์ที่ประหยัดพลังงานแบบรถยนต์ Hybrid ซึ่งจะเป็นต้นแบบการพัฒนาไปสู่รถยนต์ไฟฟ้า Electronic Vehicles ชนิดต่าง ๆ ต่อไปในอนาคต ปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อการเดินทาง และขนส่งเป็นจำนวนมากและราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงเองก็มีการปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคอีกทั้งเพื่อรักษาเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ และการลดมลพิษในสิ่งแวดล้อม จึงต้องมีการวิจัย และสรรหาพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่น ๆ เข้ามาใช้ในการเดินทางและขนส่งรวมถึงภาคการทหารอีกด้วย

โซ่คอปรถยนต์ที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนและเปลี่ยนเป็น กำลังไฟฟ้าก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้ โซ่คอปทั่วไปโซ่คอปจะทำหน้าที่ดูดซับการสั่นสะเทือนที่ถ่ายทอดมาจากสปริงแล้วแปรสภาพเป็นพลังงานความร้อนสู่อากาศ แต่โซ่คอปที่ออกแบบใหม่นี้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนเป็นกำลังไฟฟ้าได้ โดยอาศัยกลไกไฮดรอลิกส์ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำมันไฮดรอลิกส์จากเดิมที่ไหลผ่านวาล์วภายในโซ่คอปเป็นการไหลผ่านมอเตอร์ไฮดรอลิกส์และไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้าโดยประมาณจะได้กำลังไฟฟ้า 100-400 วัตต์ สำหรับรถโดยสารทั่วไป ที่ความเร็วเฉลี่ย 60 ไมล์ต่อชั่วโมง ซึ่งลดภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลัก ส่งผลให้ลดการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงลง 2-9% ซึ่งแนวคิดและต้นแบบที่ถูกนำเสนอออกมาทั้งหมดเน้นการออกแบบที่เรียบง่ายและมีประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวพลังงานให้ได้มากที่สุด

ด้วยสภาพพื้นที่ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เก็บเกี่ยวได้การนำโซ่คอปเก็บเกี่ยวพลังงานไปประยุกต์ใช้ในยานยนต์ทางการทหารที่ใช้ลาดตระเวนในเขตทุรกันดานที่มีสภาพพื้นผิวถนนที่มีความขรุขระสูง โซ่คอปเก็บเกี่ยวพลังงานจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างแบบจำลองโซ่คอปรถยนต์ที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนเป็นกำลังไฟฟ้าได้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบแปลงพลังงานจากการสั่นสะเทือนเป็นกำลังไฟฟ้าที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การเก็บเอาพลังงานจากแหล่งกำเนิด ที่อยู่ล้อมรอบ (Ambient energy) หรือพลังงานที่เหลือใช้นำมาแปลงเป็นกำลังไฟฟ้าและกักเก็บสะสมไว้เพื่อ บ้อนอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า การเก็บเกี่ยวพลังงาน (Energy harvesting หรือ Energy scavenging)

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษาแนวคิดการออกแบบใช้คอล์ยพรีลยนต์ที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนเป็นกำลังไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ

1.5.2 ออกแบบและสร้างแบบจำลองใช้คอล์ยพรีลยนต์ที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนเป็นกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการถ่ายเทของเหลว

1.5.3 ทดสอบประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 ทดสอบหาค่าความเร็วการหมุนของมอเตอร์ไฮโดรลิกส์ เมื่อกำหนดระยะชักที่ 20 มิลลิเมตร

1.6.2 การทดสอบหาค่าการยุบและยืดของใช้คอล์ยพ เมื่อกำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที่ และปรับตำแหน่งยึดค้ำส่งกำลังกับลูกเบี้ยวที่แตกต่างกัน

1.6.3 การทดสอบหาค่าความต้านทานคงที่ เมื่อกำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที่ และระยะ 20 มิลลิเมตร

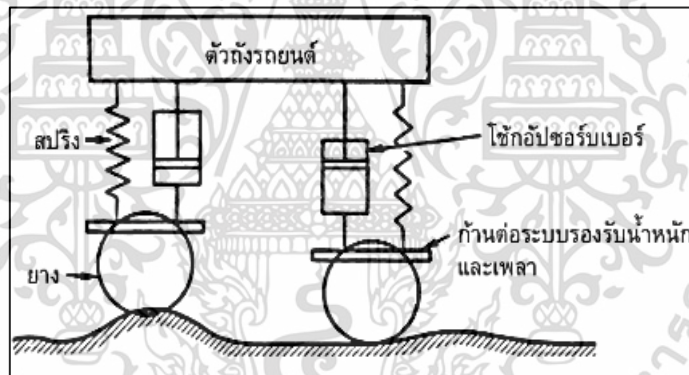
1.6.4 ทดสอบโดยชุดทดสอบใช้มอเตอร์กระแสเหนี่ยวนำขนาด 1/4 แรงม้า ในเบื้องต้นใช้คอล์ยพ สามารถเก็บเกี่ยวกำลังไฟฟ้าสูงสุด 4.0 วัตต์ ที่ระยะขึ้นลงของใช้คอล์ยพ 20 มิลลิเมตร โดยมีความเร็วรอบ 110 รอบ/นาที่

บทที่ 2

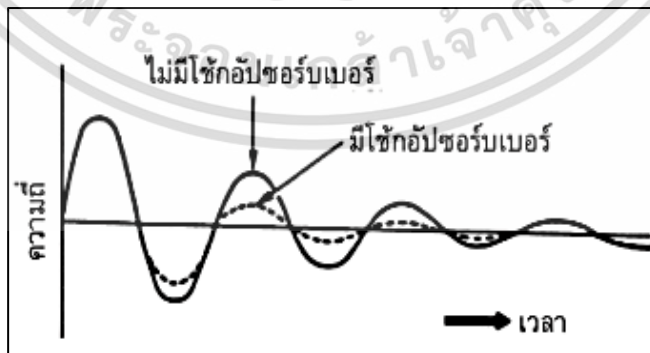
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โช้กอัปซอร์บเบอร์

ในขณะที่ขั้วรถยนต์ไปบนพื้นผิวถนนที่มีสภาพขรุขระ ระบบรองรับน้ำหนักจะได้รับการสั่นสะเทือน ซึ่งก็เป็นสาเหตุที่ทำให้สปริงของระบบรองรับน้ำหนักนั้นเกิดการอัดตัวและขยายตัวขึ้น เพื่อที่จะดูดกลืนแรงสั่นสะเทือนนั้นเอาไว้ อย่างไรก็ตาม สปริงนั้นจะมีคุณสมบัติในการเด่นอยู่อย่างต่อเนื่อง และต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนานที่จะหยุดได้ ดังนั้นจึงทำให้การขับขี่ไม่มีความสะดวกสบาย ด้วยเหตุนี้ในระบบรองรับน้ำหนักจึงจำเป็นต้องติดตั้งโช้กอัปซอร์บเบอร์ เพื่อทำหน้าที่ในการที่จะหยุดการเด่นของสปริงและทำให้การขับขี่มีความสะดวกสบายดีขึ้น นอกจากนี้ก็ยังทำให้การเกาะถนนของยาง และเสถียรภาพในการบังคับเลี้ยวดีอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 หน้าที่การทำงานของโช้กอัปซอร์บเบอร์เมื่อรถวิ่งบนถนนที่มีสภาพที่ขรุขระ

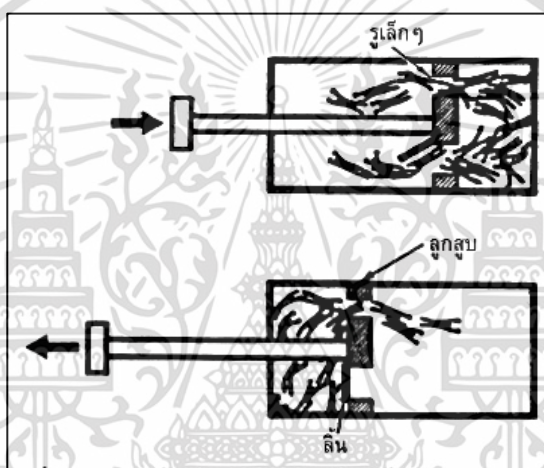


รูปที่ 2.2 กราฟการเปรียบเทียบความถี่การเด่นของสปริงในระบบรองรับน้ำหนัก ที่ไม่ใช้โช้กอัปซอร์บเบอร์กับใช้โช้กอัปซอร์บเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 หลักการทำงานของโซ๊กอัพซอร์บเบอร์

ในรูปที่ 2.3 ภายในกระบอกของโซ๊กอัพซอร์บเบอร์จะบรรจุน้ำมันเป็นตัวกลางในการทำงาน เพื่อให้เกิดแรงต้านขึ้นภายในกระบอกโซ๊ก ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากเกิดความต้านทานในการไหลของน้ำมัน โดยผ่านรูเล็กๆ ของลูกสูบในขณะที่เคลื่อนที่ แรงต้านภายในของโซ๊กอัพซอร์บเบอร์จะมี มากขึ้นก็ต่อเมื่อเกิดการเคลื่อนที่และการเด่นอย่างรวดเร็วของตัวถัง แรงกระแทกจากตัวถังจะเป็น ผลลัพธ์โดยตรงกับแรงต้าน อย่างไรก็ตาม แรงต้านที่เกิดขึ้นภายในโซ๊กอัพซอร์บเบอร์นั้นจะถูกแปร เปลี่ยนไปตามความเร็วของลูกสูบ โดยจะ สอดคล้องกับสภาพของพื้นถนนที่อยู่ใ้ในสภาวะการขับขี่ปกติ ในตารางที่ 2.1 แสดงอัตราความเร็วลูกสูบภายใน โซ๊กอัพซอร์บเบอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพถนน



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของโซ๊กอัพซอร์บเบอร์รูปทรงกระบอก

ตารางที่ 2.1 อัตราความเร็วลูกสูบภายในโซ๊กอัพซอร์บเบอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของผิวถนน

สภาพพื้นผิวถนน	ความเร็วลูกสูบ (เมตรต่อวินาที)
ถนนลาดยางอัสปัลต์ราบเรียบ	0.08
ถนนลาดยางอัสปัลต์และขรุขระเล็กน้อย	0.10 ~ 0.15
ถนนลาดยางอัสปัลต์ขรุขระ	0.20 ~ 0.30
ถนนไม่ได้ลาดยางอัสปัลต์	0.40 ~ 0.60
ถนนไม่ได้ลาดยางอัสปัลต์และขรุขระอย่างมาก	0.80 ~ 1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

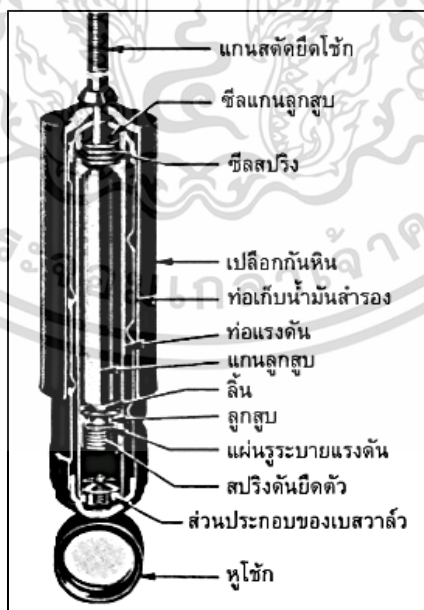
2.1.2 ชนิดของโช้กอัปซอร์บเบอร์

โช้กอัปซอร์บเบอร์ที่ใช้ในระบบรองรับน้ำหนักของรถยนต์มีอยู่หลายแบบด้วยกัน ซึ่งแต่ละแบบนี้จะถูกแบ่งแยกออกตามลักษณะการทำงานและโครงสร้างดังต่อไปนี้

2.1.2.1 โช้กอัปซอร์บเบอร์แบบทำงานโดยตรง (direct acting shock absorber) แร่ง ด้านทานจะเกิดขึ้นเมื่อโช้กอัปซอร์บเบอร์ยึดตัว ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันภายในกระบอกโช้กถูกดันให้ผ่านรูเล็ก ๆ จึงทำให้เกิดแรงต้านของน้ำมันและจะไม่เกิดแรงต้านขึ้นเมื่อยุบตัวลง ซึ่งก็เป็นสาเหตุมาจากการที่น้ำมันภายในกระบอกโช้กถูกลูกสูบที่เคลื่อนที่ดันให้น้ำมันผ่านล้นลูกสูบและรูเล็กๆ ได้อย่างรวดเร็วนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5

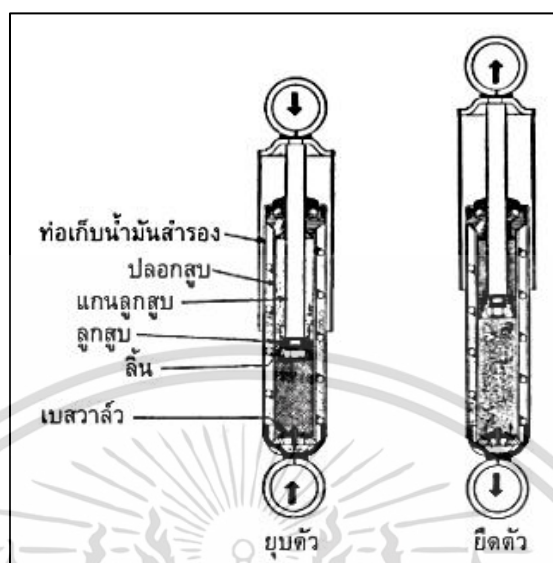
2.1.2.2 โช้กอัปซอร์บเบอร์แบบกระบอกเดี่ยว (mono tube type) หรือโช้กอัปซอร์บเบอร์ แก๊สแรงดันสูง ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้กับรถยนต์ในปัจจุบันอีกแบบหนึ่ง ที่ออกแบบโดยการรวมเอา การทำงาน และโครงสร้างในแต่ละแบบเอาไว้ ซึ่งก็ทำให้มีคุณสมบัติในการระบายความร้อนที่ดี ไม่เกิดโพรงอากาศ เป็นเพราะปลายด้านหนึ่งของกระบอกโช้กถูกบรรจุไว้ด้วยแก๊สแรงดันสูงที่ถูกผนึกกัน จากน้ำมันโดยสิ้นเชิงด้วยลูกสูบอิสระ ทำให้ลดเสียงดัง และมีการดูดกลืนอากาศเด่นของสปริงได้ดีกว่า โช้กอัปซอร์บเบอร์แบบธรรมดา

โครงสร้าง ในรูปที่ 2.6 ตอนล่างภายในกระบอกสูบของโช้กอัปซอร์บเบอร์จะบรรจุแก๊สไนโตรเจนที่มีแรงดันสูงถึง 20 ถึง 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีลูกสูบอิสระที่ทำหน้าที่ แยกน้ำมันออกจากกัน และมันจะเลื่อนขึ้นลงตามสภาวะการยุบตัวและยึดตัวของโช้กอัปซอร์บเบอร์



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของโช้กอัปซอร์บเบอร์แบบทำงานโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การทำงานของโซ่ข้อสูบเบอร์ขณะที่ยุบตัวและยืดตัว



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของโซ่ข้อสูบเบอร์แบบกระบอกเดี่ยวอัดแก๊สไนโตรเจนแรงดันสูง

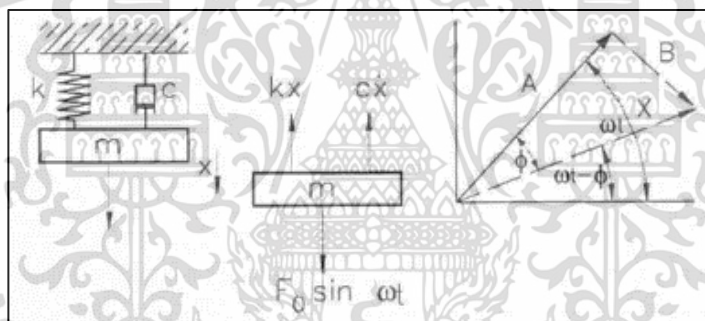
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การสั่นสะเทือนโดยแรง (Force Vibration)

เมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำกับระบบ จะทำให้ระบบเคลื่อนที่ด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของแรงที่มากกระทำซึ่งแรงที่มากกระทำอาจมาจากการทำงานของเครื่องจักรกลต่าง ๆ ทำให้เกิดความรำคาญหรือทำให้โครงสร้างของเครื่องจักรกลเกิดความเสียหายได้ จึงต้องมีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่เพื่อเป็นตัวดูดซับแรง และลดการสั่นสะเทือนลง

2.2.1 การสั่นสะเทือนโดยแรงฮาร์โมนิก (Force Harmonic Vibration)

การสั่นสะเทือนโดยแรงแบบฮาร์โมนิก มักพบในทางระบบวิศวกรรมซึ่งโดยปกติจะเกิดการหมุนของเครื่องจักรกลที่ไม่สมดุล เพื่อให้เข้าใจถึงคุณสมบัติของระบบภายใต้แรงกระทำแบบฮาร์โมนิก ในบทนี้จะพิจารณาระบบดิสกรีตเดียวภายใต้แรงกระทำแบบฮาร์โมนิก ที่อยู่ในรูปฟังก์ชันของเวลา เช่น $F = F_0 \sin \omega t$ หรือ $F = F_0 \cos \omega t$ โดยที่ F_0 คือแอมพลิจูดของแรง, ω คือ ความถี่ที่กระทำระบบที่จะพิจารณาต่อไปนี้เป็นระบบที่มีตัวหน่วงอยู่ด้วย หากต้องการพิจารณาระบบที่ไม่มีตัวหน่วงให้แทนค่าคงที่ของตัวหน่วงชนิดหนึ่ง (C) หรือแฟกเตอร์ของตัวหน่วง (ζ) ให้เป็นศูนย์แทน



รูปที่ 2.7 ระบบการสั่นสะเทือนแรงแบบฮาร์โมนิก

จากรูปที่ 3.1 โดยสมการการเคลื่อนที่ของนิวตัน $\Sigma F = m\ddot{x}$ จะได้

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin(\omega t)$$

(2.1)

คำตอบของสมการ (1) จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 Complementary Function คือส่วนที่มีค่าน้อยลง เมื่อเวลามากขึ้น หรือเรียกว่า ภาวะชั่วคราว (Transient State)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 Particular Function คือ ส่วนที่เราจะพิจารณาต่อไป และจะเกิดขึ้นตลอดการเคลื่อนที่ หรือเรียกว่า ภาวะถาวร (Steady State)

คำตอบของสมการ (1) ในส่วนของ Particular function มีคำตอบดังนี้ คือ

$$x = A \cdot \sin \omega t + B \cdot \cos \omega t \quad (2.2)$$

เมื่อแทนสมการ (2) ลงในสมการ (1) จะได้

$$A = \frac{(k - m\omega^2) \cdot F_0}{(k - m\omega^2)^2 + (c \cdot \omega)^2} \quad (2.3)$$

$$B = \frac{-c \cdot \omega \cdot F_0}{(k - m\omega^2)^2 + (c \cdot \omega)^2} \quad (2.4)$$

จากสมการ (2.4) เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการ (2.5) ดังนี้

$$x = X \cdot \sin(\omega t - \phi) \quad (2.5)$$

โดยที่ X คือ แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ และ ϕ คือ มุมเฟสของการเริ่มต้นการเคลื่อนที่ เมื่อเทียบกับแรงที่กระทำ $F_0 \sin \omega t$ แสดงว่าการเคลื่อนที่ของมวลจะเกิดขึ้นหลังจากแรงกระทำเป็นมุม ϕ เมื่อนำคำตอบของสมการ (2.5) ไปแทนในสมการ (2.1) จะได้

$$x = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad (2.6)$$

และ

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{c\omega}{k - m\omega^2} \right) \quad (2.7)$$

สมการ (2.6) และ (2.7) เมื่อหารด้วย k ตลอดจะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของตัวแปรใหม่ดังต่อไปนี้

$$X_0 = \frac{F_0}{k} \quad ; \quad X_0 \text{ คือ ระยะเวลายืดของสปริงเมื่อมีแรง } F_0 \text{ กระทำ}$$

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} \quad ; \quad r \text{ คือ อัตราส่วนของความถี่ของแรงต่อความถี่ธรรมชาติ}$$

$$\frac{k - m\omega^2}{k} = 1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2} = 1 - r^2$$

$$\frac{c\omega}{k} = \frac{c}{c_c} \cdot \frac{c_c\omega}{k} = \zeta \cdot \frac{2m\omega_n\omega}{k} = 2\zeta \frac{\omega}{\omega_n} = 2\zeta r$$

สมการ (2.6) และ (2.7) จะสามารถเขียนในรูป

$$x = \frac{X_0}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (2.8)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{2\zeta r}{1-r^2} \right) \quad (2.9)$$

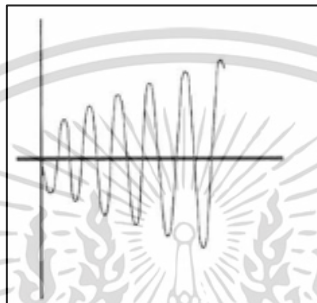
ในกรณีที่ต้องการพิจารณาระบบที่ไม่มีตัวหน่วงเราสามารถทำได้โดยแทนค่า $C=0$ หรือ $\zeta=0$ จะได้

$$X = \frac{F_0}{k - m\omega^2} = \frac{X_0}{1-r^2} \quad (2.10)$$

ส่วนค่า ϕ จะมีค่าเป็นศูนย์นั้น คือสมการของระบบที่ไม่มีตัวหน่วง จะมีคำตอบเป็น $x = X \sin \omega t$ จากสมการ (2.10) ในกรณีที่ $r = 1$ หรืออยู่ภายใต้สภาพรีโซแนนซ์ เราไม่สามารถหาค่า X ได้ แต่เราสามารถหาสมการในกรณีที่ $r = 1$ ได้จากการให้ r มากกว่า 1 แล้วจึงให้ r เข้าใกล้ 1 จะได้สมการ

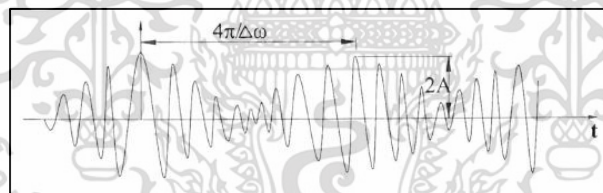
$$X = \left(\frac{X_0 \omega \cdot t}{2} \right) \cos \omega t \quad (2.11)$$

จากสมการ (2.11) จะเห็นว่าแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่คือ $\frac{X_0 \omega \cdot t}{2}$ เป็นฟังก์ชันของเวลา t และมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น และเคลื่อนที่ช้ากว่าแรงกระทำ 90 องศา ซึ่งแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนอาจเป็นสาเหตุให้โครงสร้างของระบบเสียหายได้ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของระบบวิโซแนนซ์

ในกรณีที่ความถี่ของแรงกระทำมีค่าใกล้เคียงความถี่ตามธรรมชาติ แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้น และลดลงสลับกันไปเรื่อย ๆ การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เรียกว่า “Beating” ดังรูปที่ 9



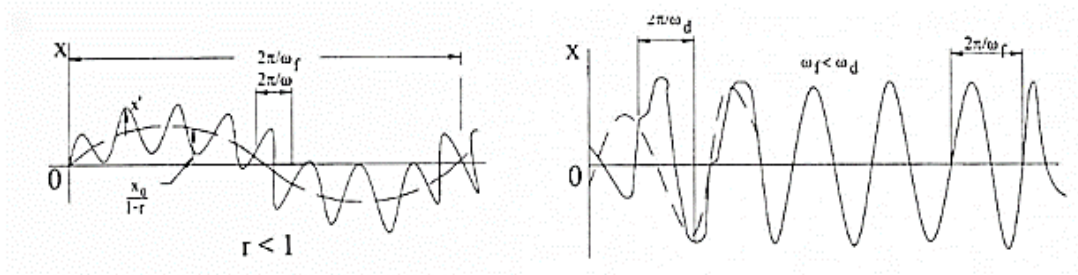
รูปที่ 2.9 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบ BEATING

การเคลื่อนที่รวมของระบบโดยการรวมส่วนที่เป็น Complementary Function (ในกรณีที่ เป็น Under Damped) และส่วนที่เป็น Particular Function จะได้สมการ (2.12) ในกรณีไม่มีตัวหน่วง และกรณีที่มีตัวหน่วงสมการ (2.13) ดังต่อไปนี้

$$x = X' \sin(\omega_n t + \phi') + x \sin(\omega t - \phi) \quad (2.12)$$

$$x = e^{-\zeta \omega_n t} X' \sin(\omega_d t + \phi') + X \sin(\omega t - \phi) \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กรณีไม่มีตัวหน่วง

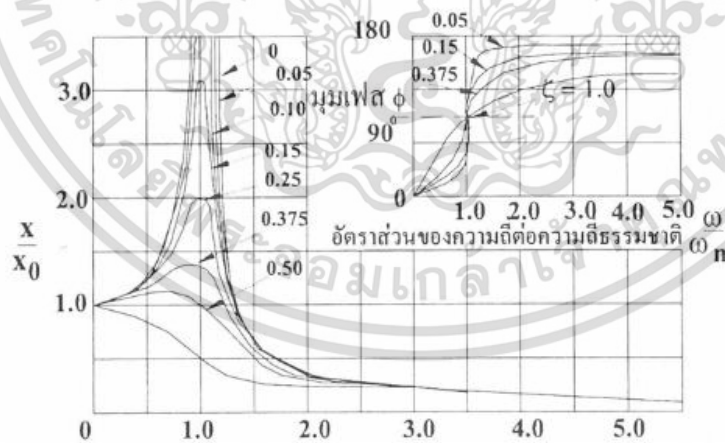
กรณีมีตัวหน่วงชนิดหนืด

รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่รวมของระบบ

จากสมการ (2.13) ถ้าเราให้ $\frac{X}{x_0}$ คือ “อัตราส่วนของแอมพลิจูด” และมีค่าเป็น

$$\frac{x}{x_0} = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \tag{2.14}$$

จากสมการ (2.14) จะเห็นว่าอัตราส่วนของแอมพลิจูดเป็นฟังก์ชันของ r และ ζ สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า $r = 1$ ค่า $\phi = 90^\circ$ เสมอ และจากรูปยังแสดงให้เห็นว่าถ้า r มีค่ามากขึ้นอัตราส่วนของแอมพลิจูดจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์



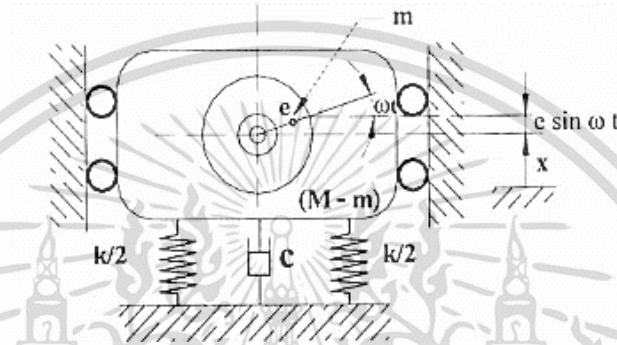
อัตราส่วนของความถี่ต่อความถี่ธรรมชาติ $\frac{\omega}{\omega_n}$

รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การสั่นสะเทือนจากการหมุนแบบไม่สมดุล (Rotating Unbalance)

การหมุนไม่สมดุลเกิดจากมวลที่มีระยะเยื้องศูนย์กลางหมุนรอบแกนของเครื่องจักรกลต่าง ๆ ให้มวลที่ไม่สมดุลเป็น m มวลของระบบทั้งหมดเป็น M และระยะเยื้องศูนย์กลางของมวล m เป็น e ดังนั้นมวลของระบบจริงๆ คือ $(M-m)$ จากรูปที่ 2.12 สมมุติให้มวลของระบบ เคลื่อนที่ได้ในแนวตั้งเท่านั้น และมวล m หมุนรอบแกนด้วยความเร็วเชิงมุม ω ขณะที่มวล m หมุนไปเป็นมุม ωt จากแนวระดับจะทำให้มวล $(M-m)$ เคลื่อนที่ขึ้นเป็นระยะเท่ากับ $x + e \sin \omega t$ จากสมการเคลื่อนที่จะได้ว่า



รูปที่ 2.12 การสั่นจากการหมุนแบบไม่สมดุล

$$-kx - c\dot{x} = (M-m)\ddot{x} + m \frac{d^2}{dt^2}(x + e \cdot \sin \omega t) \quad (2.15)$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = me\omega^2 \sin \omega t \quad (2.16)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (2.16) กับสมการ (2.1) จะได้ว่า

$$F_0 = me\omega^2 \quad (2.17)$$

ฉะนั้นสมการคำตอบก็จะเป็นสมการ (2.6) ถึง (2.9) โดยที่

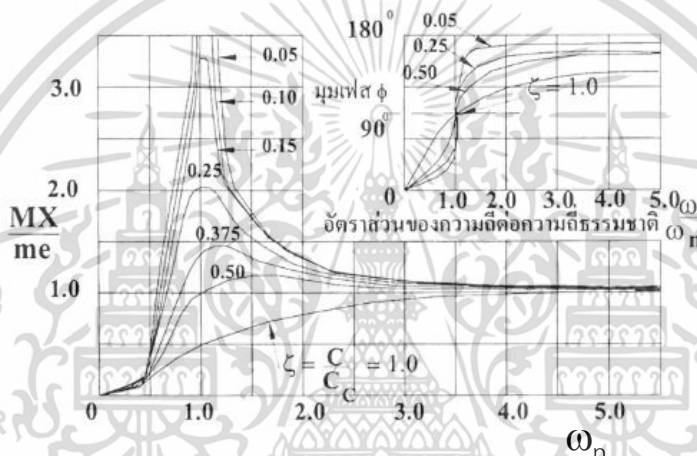
$$x = \frac{me\omega^2}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \frac{me}{M} \cdot \frac{r^2}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.18) จะได้อัตราส่วนของแอมพลิจูด เป็น

$$\frac{MX}{me} = \frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \tag{2.19}$$

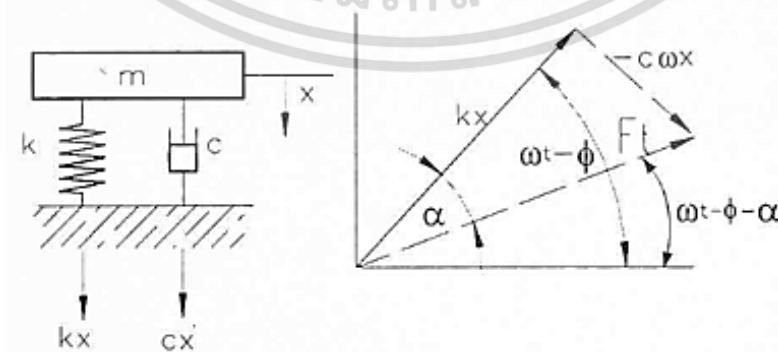
สมการ (2.19) สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของตัวแปรได้ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าถ้า r มีค่ามากขึ้น ก็จะทำให้อัตราส่วนแอมพลิจูดมีค่าเข้าใกล้ 1



รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการที่ (2.19)

2.2.3 การถ่ายเทแรงและการแยกกระบบ (Transmitted Force and Vibration Isolation)

แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องจักรกล จะถูกส่งไปยังฐานของเครื่องจักรกลนั้น ๆ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะพิจารณาถึงแรงที่ส่งไปยังฐานและการแยกกระบบ เพื่อลดขนาดของแรงที่ถูกส่งไปยังฐาน



รูปที่ 2.14 แรงที่ถูกส่งผ่านไปยังฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.8 แรงที่ถูกส่งไปยังฐานคือ

$$F = c\dot{x} + kx \quad (2.20)$$

เมื่อแทนค่า $x = X \sin(\omega t - \phi)$ จะได้

$$F = c\omega X \cos(\omega t - \phi) + kX \sin(\omega t - \phi) \quad (2.21)$$

$$F = X \sqrt{(c\omega)^2 + k^2} \sin(\omega t - \beta) \quad (2.22)$$

โดยที่มุม $\beta = \phi + \alpha$

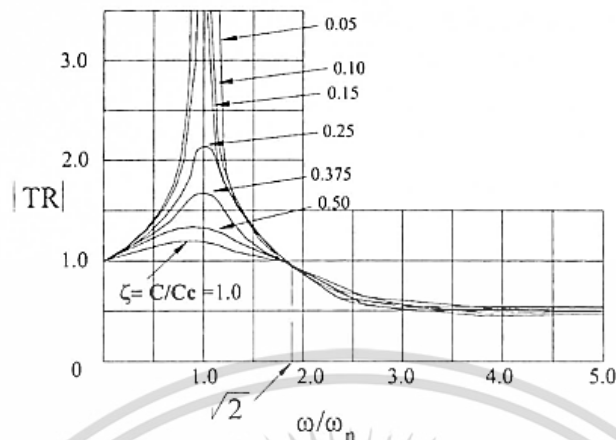
$$\alpha = \tan^{-1} \left(-\frac{c\omega}{k} \right) = \tan^{-1} (-2\zeta r) \quad (2.23)$$

ถ้าให้ F_T เป็นขนาดของแรงที่ถูกส่งไปยังฐานจะได้

$$F_T = X \sqrt{k^2 + (c\omega)^2} = \frac{F_0 \sqrt{(c\omega)^2 + k^2}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2}} = \frac{F_0 \sqrt{1 - (2\zeta r)^2}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (2.24)$$

ถ้าให้ $TR = \text{Transmission Ratio}$ (อัตราส่วนการส่งถ่ายแรง) จะได้

$$TR = \frac{F_T}{F_0} = \frac{\sqrt{(c\omega)^2 + k^2}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \frac{\sqrt{1 - (2\zeta r)^2}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (2.25)$$

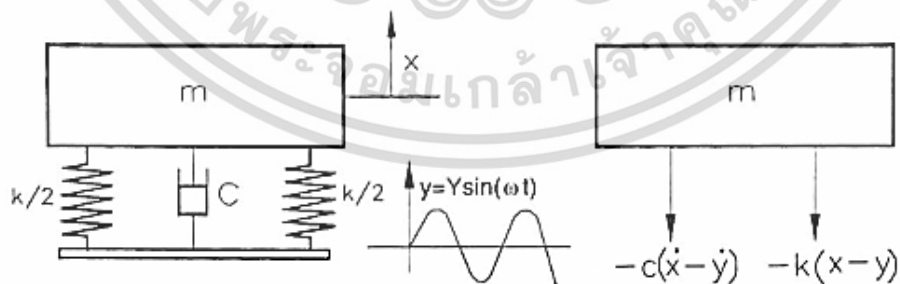


รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของสมการ (2.25)

สมการ (2.25) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.25 ซึ่งจะเห็นว่า ถ้า $r = \sqrt{2}$ จะได้ $TR = 1$ เสมอ และถ้า $r > \sqrt{2}$ ค่าของ $TR < 1$ และถ้า $r < \sqrt{2}$ ค่าของ $TR > 1$ ดังนั้นการออกแบบระบบที่มีการสั่นสะเทือนควรจะให้ค่า $r > \sqrt{2}$ เพื่อที่จะทำให้ได้ค่า $TR < 1$

2.2.4 ฐานเคลื่อนที่ (Support Motion)

ในบางครั้งฐานของระบบที่ประกอบด้วยมวล-สปริง-ตัวหน่วง มีการเคลื่อนที่ โดยมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก ดังรูปที่ 2.16 โดยให้ฐานเคลื่อนที่ด้วยสมการ $y = Y \sin(\omega t)$ และให้มวลเคลื่อนที่ด้วยสมการ $x = X \sin(\omega t)$ ฉะนั้นระยะเคลื่อนที่สุทธิของสปริงในระบบคือ $x - y$ โดยให้ $x > y$ ฉะนั้นเราสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ของมวล m ได้คือ



รูปที่ 2.16 ฐานเคลื่อนที่

$$-k(x - y) - c(\dot{x} - \dot{y}) = m\ddot{x} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดรูปใหม่จะได้ $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = ky + c\dot{y}$ (2.27)

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = kY \sin \omega t + c\omega Y \cos \omega t \quad (2.28)$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = Y\sqrt{k^2 + (c\omega)^2} \sin(\omega t - \alpha) \quad (2.29)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (2.26) กับสมการ (2.1) จะได้ว่า

$$F_0 = Y\sqrt{k^2 + (c\omega)^2} \quad (2.30)$$

และมุม

$$\alpha = \tan^{-1}\left(-\frac{c\omega}{k}\right) = \tan^{-1}(-2\zeta r) \quad (2.31)$$

ดังนั้นเราจะได้

$$x = \frac{Y\sqrt{(c\omega)^2 + k^2}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \sin(\omega t - \beta) = \frac{Y\sqrt{1 + (2\zeta r)^2}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \sin(\omega t - \beta) \quad (2.32)$$

โดยมีมุม $\beta = \phi + \alpha$

2.3 ระบบไฮดรอลิกส์

ระบบไฮดรอลิกสมัยนี้ใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ระบบไฮดรอลิกสามารถควบคุมอุปกรณ์ขนาดเล็ก ขนาดกลาง หรือเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ที่มีขนาดปานกลาง ไปจนถึงขนาดใหญ่ หรืองานที่ต้องการกำลังมาก (Heavy Load) เช่น เครื่องปั๊มขึ้นงาน (Press Machine) เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) การประกอบชิ้นส่วนอัตโนมัติ (Automatic Assembly) หรือหุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial Robot) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วการทำงานของระบบไฮดรอลิกจะเหมือนกับระบบนิวแมติกส์คือจะมีการควบคุมทิศทางการทำงาน ส่วนอุปกรณ์และวงจรอื่นๆจะเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันที่ระบบนิวแมติกส์จะใช้ลมเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน โดนปกติจะใช้ความดันที่ 6-8 บาร์ (bar) และลมจะถูกปล่อยทิ้งสู่อากาศ ส่วนระบบไฮ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดรอลิกสจะใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานโดยปกติจะใช้ความดันที่ 30-400 บาร์ แต่น้ำมันจะไหลกลับสู่ถังเก็บน้ำมันเหมือนเดิม ตัวกลาง ระหว่างลมกับน้ำมันนั้น น้ำมันจะมีการยุบตัวน้อยกวาระบบลม จึงทำให้ระบบไฮดรอลิกสมีการทำงานที่ถูกต้อง และแม่นยำกวาระบบนิวแมติกส์

ระบบไฮดรอลิกสเป็นระบบที่ใช้อยู่ในเครื่องจักร และเครื่องทุ่นแรงหลายประเภท โดยทั่วไประบบไฮดรอลิกสจะใช้กับงานที่มีลักษณะที่ต้องการแรงดึง แรงดัน แรงกด หรือแรงยก ที่ใช้แรงมาก ๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในระบบไฮดรอลิกสจึงมีความหลากหลาย ในการใช้งานแต่ละประเภท ถึงแม้ว่าสัญลักษณ์การทำงานจะเหมือนกันแต่โครงสร้างในการทำงานจะแตกต่างกันไปตามความจำเป็นของงานเครื่องจักรที่ใช้ระบบไฮดรอลิกสสำหรับควบคุมการทำงานสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้ คือ

- เครื่องจักรที่อยู่กับที่จะถูกออกแบบมาให้ประหยัดพลังงาน ดังนั้นจะเลือกใช้อุปกรณ์การทำงาน ของระบบไฮดรอลิกสที่มีขนาดใหญ่แต่ใช้แรงดันในระบบต่ำจึงทำให้ประหยัดพลังงาน
- เครื่องจักรที่เคลื่อนที่จะถูกออกแบบให้มีน้ำหนักเบา เพื่อสะดวกในการเคลื่อนที่ ดังนั้นจะเลือกใช้อุปกรณ์การทำงาน ของระบบไฮดรอลิกสที่มีขนาดเล็กแต่ใช้แรงดันในระบบสูงทำให้ได้กำลังในการทำงานสูงด้วย

ปัจจุบันระบบไฮดรอลิกสถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ซึ่งหลักการของไฮดรอลิกสจะใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งผ่านจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยน้ำมันจะเปลี่ยนพลังงานการไหลให้เป็นพลังงานกล เช่น เครื่องปั๊มขึ้นงาน (Press machine) ในระบบของเครื่องปั๊มขึ้นงานจะมีการส่งถ่ายกำลังการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกสไปยังอุปกรณ์ทำให้เครื่องจักรสามารถปั๊มขึ้นงานหรือขึ้นรูปขึ้นงาน

2.3.1 ระบบไฮดรอลิกสสามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

- ปمไฮดรอลิกส (Hydraulics Pump) มีหน้าที่ควบคุมการจ่ายน้ำมันและดูดน้ำมันในระบบ
- ถังพักน้ำมัน (Tank) มีหน้าที่พักน้ำมันในระบบตลอดจนทำความสะอาดน้ำมันและระบายความร้อนน้ำมัน
- วาลวควบคุมน้ำมัน (Pressure relief valve) หรือวาลวนิรภัย มีหน้าที่ควบคุมความดันในระบบ ขณะที่ระบบมีความดันสูงเพิ่มขึ้นวาลวจะควบคุมให้น้ำมันไหลกลับสู่ถังน้ำมัน
- ชุดกรองน้ำมัน (Filter) มีหน้าที่กรองสิ่งสกปรกไม่ให้เข้าไปในระบบ ซึ่งถ้ามีสิ่งสกปรกเข้าไปในระบบ อาจจะทำให้อุปกรณ์เสียหายได้
- วาลวปิด-เปิด (Shut off valve) มีหน้าที่ปิด-เปิด การไหลของน้ำมัน
- โซลินอยด์วาลว (Solenoid valve) มีหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมัน
- อุปกรณ์การทำงาน (Actuator) มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานการไหลให้เป็นพลังงานกล เช่น ลูกสูบ (Piston) มอเตอร์ (Motor) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ท่อน้ำมัน (Tube) มีหน้าที่ส่งผ่านน้ำมันในระบบทั้งหมด

2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบไฮดรอลิกส์

ข้อดีของระบบน้ำมัน

- ระบบไฮดรอลิกส์มีความแม่นยำสูง เพราะระบบน้ำมันจะยุบตัวได้น้อยกว่าระบบลม
- ระบบไฮดรอลิกส์มีกำลังในการขับเคลื่อน เนื่องจากระบบไฮดรอลิกส์ใช้แรงดันตั้งแต่ 30-400 บาร์
- ระบบไฮดรอลิกส์มีการควบคุมง่าย เพราะโครงสร้างไม่ซับซ้อน
- ระบบไฮดรอลิกส์จะมีความปลอดภัยสูงกว่าระบบไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไป
- ระบบไฮดรอลิกส์มีเสียงเบาในขณะที่ทำงาน

ข้อเสียของระบบน้ำมัน

- ระบบไฮดรอลิกส์มีราคาค่อนข้างแพงกว่าระบบลม
- ระบบไฮดรอลิกส์การบำรุงรักษายากกว่าระบบลม
- ระบบไฮดรอลิกส์มีความเร็วในการเคลื่อนที่ช้ากว่าระบบลม เพราะน้ำมันจะมีความหนืดสูง
- ระบบไฮดรอลิกส์จะมีปัญหาในระยะเริ่มต้นของการทำงาน เพราะน้ำมันจะมีความหนืด

2.3.3 พื้นฐานการคำนวณทางฟิสิกส์

การคำนวณของไหลในระบบจะประกอบไปด้วย ความดัน อัตราการไหล พลังงาน แรง เป็นต้น โดยทั่วไปหน่วยวัดพื้นฐาน ได้แก่ ความยาว แรง และเวลา จะเป็นหน่วยอังกฤษ หรือเมตริก ซึ่งยังแยกหน่วยวัดตามการใช้งานจริงได้เป็นหน่วยวัดมวล เช่น ปอนด์มวล (lbm) และหน่วยวัดแรง (lbf) อีกด้วย ระบบเมตริกจะใช้ระบบสมบูรณ์ (Absolute) หรือระบบ C.G.S (Centimeter-gram-second) ซึ่งมีหน่วยวัดมวลเป็นกรัม และหน่วยวัดแรงเป็นไดน์ (dyne) ในระบบ SI (International System Units) มีหน่วยวัดมวลเป็นกิโลกรัม ความยาววัดเป็นเมตร เวลาวัดเป็นวินาที และแรงวัดเป็นนิวตัน (Newton)

$$1\text{N} = 1\text{kgm} / \text{sec} = 10^5 \text{ dynes} \quad (2.33)$$

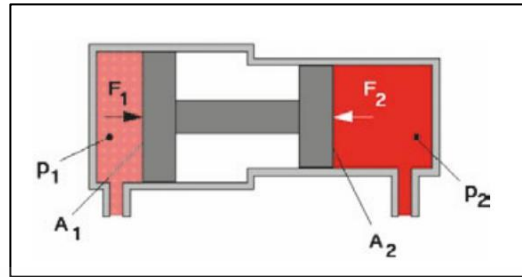
โดยกำหนดให้

หน่วยวัดความดันจะบอกเป็น N/m^2 หรือ (Pascal, Pa)

หน่วยวัดพลังงาน (Energy) หรืองาน (Work) คือ จูล (Joule N-m)

หน่วยวัดกำลัง (Power) คือ วัตต์ (Watts)

หน่วยวัดความถี่ คือ เฮิร์ตซ์ (Hertz, Hz) ซึ่งมีค่าเป็นรอบต่อวินาที (cycle/second)



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน แรง และพื้นที่

2.3.4 การคำนวณหาแรงของกระบอกสูบ

จากกฎของปาสคาล (Pascal's Law) คือ ความดันที่กระทำต่อสารไหลในภาชนะที่ปิดจะส่งต่อไปยังทุกส่วนของของไหล และผนังภาชนะที่บรรจุของไหล เช่น เครื่องยกไฮดรอลิกส์ ดังรูปที่ 2.7 เป็นตัวอย่างของการประยุกต์ใช้กฎของปาสคาล

สูตร $F = PA$

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} \text{ และ } P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

ดังนั้น

$$P_1 = P_2, \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

(2.34)

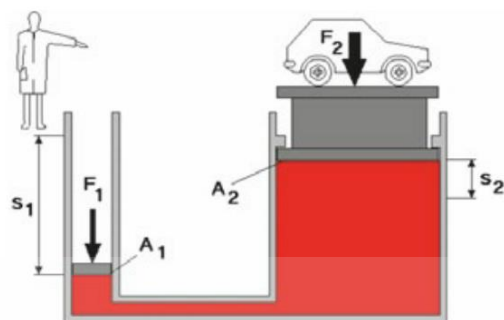
เนื่องจากการไหลไม่สามารถเพิ่มหรือลดได้ดังนั้นปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงด้านซ้ายจะเท่ากับปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นทางขวานั้นเอง

$$S_1 A_1 = S_2 A_2 \quad (2.35)$$

$$P_2 P_1 \cdot \frac{A_2}{A_1} \quad (2.36)$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 หลักการประยุกต์การใช้กฎของปาสคาล

โดยกำหนดให้ F = แรงของกระบอกสูบ (b,N)

P = ความดันของน้ำมัน (Psi, N/m²)

A = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (in²,m²)

S = ระยะทางลูกสูบ (in,m)

2.3.5 การคำนวณหาอัตราการไหล

อัตราการไหล (Flow rate) คือ ปริมาตรของของเหลวที่มีการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในหนึ่งหน่วยเวลา เช่น อัตราการไหล ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แกลลอนต่อนาทีหรือลิตรต่อนาที เป็นต้น

สูตร

$$Q = AV \quad (2.38)$$

โดยกำหนดให้ Q = อัตราการไหลของน้ำมัน (ft³ /sec,m³/sec)

V = ความเร็วในการไหล (ft/sec, m/sec)

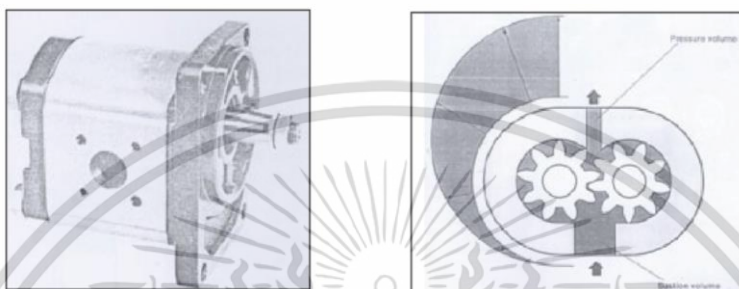
A = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (ft² ,m²)

2.3.6 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (Hydraulics Motor)

มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (Hydraulics Motor) จะมีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของไหลให้เป็นพลังงานกล คือเมื่อน้ำมันไหลเข้าทางด้านเข้า (Suction) ของมอเตอร์และไหลออกทางด้านออก (Discharge) ของมอเตอร์เช่นกัน มีผลทำให้มีแรงดันสูงขึ้นในระบบ สำหรับแรงดันจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์ในการหมุนด้วย

มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบเฟือง (Gear Motor)

มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบเฟืองจะประกอบไปด้วยเฟืองตรง 2 ตัว ขบกันเพื่อให้ น้ำมันไหลตามฟันเฟือง และไหลออกไปทางออก (Discharge) ลักษณะของฟันเฟืองจะมีช่องขบฟันทำให้เกิดสูญญากาศ ระบบจะดูด น้ำมันเข้ามาทางเข้า (Suction) อีกครั้ง การทำงานจะทำงานแบบนี้ไปเรื่อยๆ ทุกรอบของการทำงาน



รูปที่ 2.19 แสดงมอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบเฟือง

2.3.6.1 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบใบพัด (Vane motor)

มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบใบพัด สามารถหมุนกลับทิศทางได้ โดยจะประกอบไปด้วย โรเตอร์ (Rotor) ใบพัด (Vane) วงแหวนลูกเบี้ยว (Cam Ring) สปริง (Spring) ใบพัดจะมีขนาดไม่เท่ากันและโรเตอร์กับวงแหวนลูกเบี้ยวจะเยื้องศูนย์กลางกัน เมื่อแกนเพลลา (Shaft) หมุนจะทำให้มีช่องสูญญากาศดูดน้ำมันช่องทางเข้า (Suction) และใบพัดหมุนทำให้น้ำมันไหลออกช่องทางออก (Discharge)

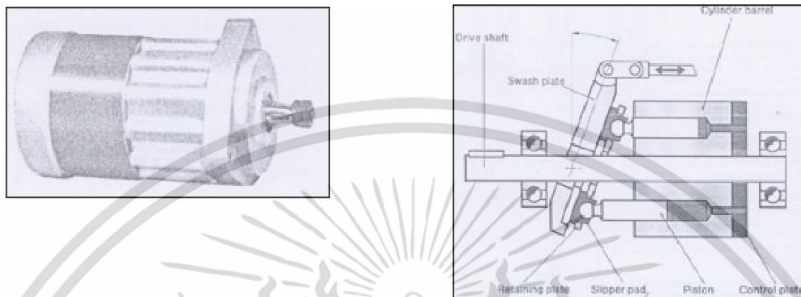


รูปที่ 2.20 แสดงมอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบใบพัด

2.3.6.2 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบลูกสูบ (Piston Motor)

มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบลูกสูบ จะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและสามารถทำงานที่ความเร็วรอบสูงได้ โดยมอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบลูกสูบจะประกอบด้วย ลูกสูบ (Piston) เพลลาขับ (Drive Shaft) ชุดลูกสูบ

(Cylinder Barrel) ชุดแผ่นเอียง (Swash Plate) เป็นต้น โดยปกติจะมีลูกสูบไม่น้อยกว่า 3 ลูก จะวางเอียงมุมกันเมื่อลูกสูบลูกที่ 1 เคลื่อนที่ลงมากระทบกับแผ่นเอียง จะเกิดแรงบิด (Torque) กับพื้นที่หน้าตัดทำให้เกิดการหมุนขณะเดียวกันลูกสูบที่ 2 จะเคลื่อนที่ลงพร้อมกับลูกสูบที่ 1 จะเคลื่อนที่ขึ้น ตามลำดับ การทำงานจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตลอดเวลา โดยเรียงลำดับลูกสูบ 1,2,3 ขึ้นลงตามลำดับ



รูปที่ 2.21 แสดงมอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบลูกสูบ

การคำนวณหาแรงบิด (Torque)

แรงบิด (Torque) ของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ เกิดจากการหมุนของเพลลาทำให้เกิดงานเพื่อให้เกิดโหลดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น

$$T = F \cdot r$$

(2.39)

เมื่อ $T =$ แรงบิดของเพลลา (in.lb, N.m)
 $F =$ น้ำหนักของชิ้นงาน (ib, N)
 $r =$ ระยะทางที่โหลดเคลื่อนที่ (in, m)

การคำนวณหาแรงบิดจากมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (Hydraulics Motor Torque)

$$\text{สูตร} = \frac{P(\text{lb/in}^2) \cdot V_m(\text{in}^3/\text{rev})}{2\pi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{P(\text{lb/in}^2) \cdot V_m(\text{in}^3/\text{rev})}{6.28}$$

$$(\text{N.m}) = \frac{P(\text{lb/in}^2) \cdot V_m(\text{in}^3/\text{rev})}{2\pi \cdot 10}$$

$$(\text{N.m}) = \frac{P(\text{bar}) \cdot V_m(\text{cm}^3/\text{rev})}{62.8} \quad (2.40)$$

เมื่อ T = แรงบิดจากมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (lb.in, N.m)
 P = ความดัน (psi, pa)
 V_m = ปริมาตรจุของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (in^3/rev , cm^3/rev)

การคำนวณหาอัตราการไหล (Flow Rate)

$$\text{GPM} = \frac{V_m(\text{in}^3/\text{rev}) \text{RPM}}{231 \cdot \eta_m} \quad (2.41)$$

เมื่อ GPM = อัตราการไหลของน้ำมัน (litre/ min)
 V_m = ปริมาตรจุของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (in^3/rev)
 RPM = ความเร็วรอบในการหมุน (rev/ min)
 η_m = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

การคำนวณหาความดัน (Pressure)

$$P(\text{Psi, lb}^2/\text{in}^2) = \frac{2\pi \cdot T(\text{lb} \cdot \text{in})}{V_m(\text{in}^3/\text{rev})}$$

$$= \frac{6.28 \cdot T(\text{lb} \cdot \text{in})}{V_m(\text{in}^3/\text{rev})}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P(\text{bar}) = \frac{2\pi \cdot 10 \cdot T(\text{N} \cdot \text{m})}{V_m(\text{in}^3 / \text{rev})}$$

$$= \frac{62.8 \cdot T(\text{N} \cdot \text{m})}{V_m(\text{in}^3 / \text{rev})} \quad (2.42)$$

เมื่อ P = ความดันของน้ำมัน (Psi, N/m²)
 T = แรงบิดจากมอเตอร์ (lb.in, N.m)
 V_m = ปริมาตรจุของมอเตอร์ (in/rev, cm³ /rev)

การคำนวณหาแรงม้ามอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (Hydraulics Motor horse power)

สูตร
$$H.P = \frac{F(\text{in.lb}) \cdot \text{RPM}}{63025} \quad (2.43)$$

เมื่อ F = แรงบิดของเพลลา (in.lb, N.m)
 RPM = ความเร็วรอบในการหมุน (rev/ min)

การคำนวณหาแรงม้าไฮดรอลิกส์ (Hydraulics horse power)

สูตร
$$H.P = \frac{P(\text{lb} / \text{in}^2) \cdot Q(\text{gallon} / \text{min})}{1714} \quad (2.44)$$

$$KW = \frac{P(\text{bar}) \cdot Q(\text{gallon} / \text{min})}{600} \quad (2.45)$$

เมื่อ P = ความดันน้ำมัน (1bl in bar)
 Q = อัตราการไหลของน้ำมัน (gallon/ min, litre/min)

2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงที่เปลี่ยนพลังงานกล เป็นกำลังไฟฟ้า ซึ่งได้ใช้หลักการการต่อวงจรของขดลวดสนามแม่เหล็กกับวงจรขดลวดอาเมเจอร์เป็นตัวแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง กล่าวคือ ถ้าวางขดลวดสนามแม่เหล็กต่อแยกเป็นอิสระกับวงจรขดลวดอาเมเจอร์ เรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดตัวกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Generator) แต่ถ้าวางขดลวดสนามแม่เหล็กต่อรวมกันกับวงจรขดลวดอาเมเจอร์จะเรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดตัวกระตุ้นด้วยตนเอง (Self Excited DC Generator) โดยหลักการทำงานในการผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ ต่าง ๆ ได้ และการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดอาเมเจอร์ที่อยู่ในสนามแม่เหล็กที่คงที่นั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาอาเมเจอร์ ส่งผลให้สนามแม่เหล็กหลักลดลง และเสียรูปทรงของทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กหลัก

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายโหลดพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะมีลักษณะแตกต่างกันตามลักษณะการต่อวงจรขดลวดสนามแม่เหล็กกับวงจรขดลวดอาเมเจอร์ ทั้งนี้การจ่ายโหลดดังกล่าว ย่อมมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและการสูญเสียกำลังทางกลไปส่วนหนึ่ง ซึ่งส่งผลต่อการคิดค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

2.4.1 สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (EMF Equation)

จากกฎของฟาราเดย์ที่กล่าวว่า เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดตัวนำนั้น จากหลักการดังกล่าวได้นำมาอธิบายในรูปแบบของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตามคือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำกับตัวแปรอิสระอื่นๆ ดังนี้

เมื่อ	E	คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำแต่ละทางขนาน โวลต์ (V)
	ϕ	คือ เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว, เวบเบอร์ (Wb)
	Z	คือ จำนวนตัวนำทั้งหมดของขดลวดอาเมเจอร์
	S	คือ การหมุนของแกนเหล็กอาเมเจอร์, รอบต่อนาที (rpm)
	P	คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กที่ติดตั้งอยู่ที่กรอบหรือโครง
	a	คือ จำนวนทางขนานของขดลวดอาเมเจอร์ (Path)

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ยที่เกิดขึ้นใน 1 ตัวนำ

$$= 1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.46)$$

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่คล้องเกี่ยวตัวนำ 1 ตัว ในการหมุน 1 รอบ

$$d\phi = \phi P \quad (2.47)$$

จำนวนรอบการหมุนของแกนเหล็กอะแมเจอร์ใน 1 วินาที

$$= \frac{S}{60} \quad (2.48)$$

เวลาที่ใช้ในการหมุนใน 1 รอบ

$$= \frac{60}{S} \quad (2.49)$$

ดังนั้น แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำใน 1 ตัวนำ จะได้

$$= \frac{d\phi}{dt} \quad (2.50)$$

$$= \frac{\phi SP}{60} \quad (2.51)$$

2.4.2 สำหรับการพันขดลวดแบบเวฟ

การพันขดลวดอะแมเจอร์แบบเวฟ บางครั้งเรียกว่า การพันขดลวดแบบลูกคลื่น เพราะ ว่า ลักษณะการวางตัวและการต่อขดลวดเป็นลูกคลื่นอนุกรมกันไป จึงทำให้จำนวนทางขนาน ของขดลวดระหว่าง แปร่งถ่านบวกกับแปร่งถ่านลบมีจำนวนน้อย เหมาะสำหรับการกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่าย กระแสไฟฟ้าได้ต่ำ แต่แรงดันไฟฟ้าสูง โดยพิกัดกำลังไฟฟ้า ของเครื่องที่ได้เท่ากับการพันขดลวดอะแมเจอร์แบบ แลป

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่พันขดลวดอะแมเจอร์แบบซิมเพล็กซ์เวฟ

จำนวนทางขนานของขดลวด $= a = 2$

จำนวนตัวนำต่อ 1 ทางขนาน $= \frac{Z}{2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อ 1 ทางขนาน

$$= \frac{\phi SP}{60} \times \frac{Z}{2}$$

$$= \frac{\phi ZSP}{120} \quad (2.52)$$

2.4.3 สำหรับการพันขดลวดแบบแลป

สำหรับการพันขดลวดอามเจอร์แบบแลป บางครั้งเรียกว่า การพันขดลวดแบบทับซ้อน หรือแบบเกย เพราะว่าลักษณะการวางตัวและการต่อขดลวดทับซ้อนเหลื่อมล้ำขนานกันไป จึงทำให้จำนวนทางขนานของขดลวดระหว่างแปรงถ่านบวกและแปรงถ่านลบมีจำนวนมาก เหมาะสำหรับการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูง แต่แรงดันไฟฟ้าต่ำ

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่พันขดลวดอามเจอร์แบบซิมเพิล็กซ์แลป

จำนวนทางขนานของขดลวด $= a = P$

จำนวนตัวนำต่อ 1 ทางขนาน $= \frac{Z}{a}$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อ 1 ทางขนาน

$$= \frac{\phi SP}{60} \cdot \frac{Z}{a} \quad (2.53)$$

$$= \frac{\phi ZS}{60} \quad (2.54)$$

จึงเขียนสมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อ 1 ทางขนาน ของขดลวดอามเจอร์ในรูปแบบของสมการตามนี้ทั่วไปได้เป็น

$$E = \frac{\phi ZSP}{60a} \quad (2.55)$$

แต่ในข้อเท็จจริงแล้วการพันขดลวดอามเจอร์ไม่ว่าจะเป็นแบบแลปจะมีการต่อต้น และปลายของขดลวดที่ซีคอมมิวเตเตอร์ได้ถึง 4 ลักษณะ กล่าวคือ ต้นและปลายของขด ลวดแต่ละขดวางห่างกัน 1 2 3 หรือ 4 ซีคอมมิวเตเตอร์ ในทำนองเดียวกัน สำหรับการพัน ขดลวดแบบเวฟก็มีการต่อต้นและปลายของเวฟหรือลูกคลื่น

ห่างกัน 1 2 3 หรือ 4 ซีคอม มิวเตเตอร์เช่นเดียวกัน ซึ่งการต่อต้านและปลายของขดลวดอาเมเจอร์ที่ซีคอมมิวเตเตอร์นั้น เรียกว่า “เพล็กซ์ (Plex)” แทนด้วยอักษร m ดังนี้

ต้นและปลายวางห่างกัน 1 คอมมิวเตเตอร์ เรียกว่า ซิมเพล็กซ์ (Simplex : $m = 1$)

ต้นและปลายวางห่างกัน 2 ซีคอมมิวเตเตอร์ เรียกว่า ดรูเพล็กซ์ (Druplex : $m = 2$)

ต้นและปลายวางห่างกัน 3 คอมมิวเตเตอร์ เรียกว่า ทริพเพล็กซ์ (Triplex : $m = 3$)

ต้นและปลายวางห่างกัน 4 ซีคอมมิวเตเตอร์ เรียกว่า ควอดรูเพล็กซ์ (Quadruplex : $m = 4$)

เมื่อเราใช้สมการที่ (22) คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขดลวดอาเมเจอร์ จึงต้องคำนึงถึงการต่อต้านและปลายของขดลวดที่ซีคอมมิวเตเตอร์สำหรับการพัน ขดลวดแบบเวฟและแลปด้วย เพราะจะมีผลต่อจำนวนทางขนานของขดลวดอาเมเจอร์โดยตรง

จำนวนทางขนานของการพันขดลวดแบบเวฟ

$$a = 2m \quad (2.56)$$

$m = 1$ เรียกว่า ซิมเพล็กซ์เวฟ

$m = 2$ เรียกว่า ดูเพล็กซ์เวฟ

$m = 3$ เรียกว่า ทริพเพล็กซ์เวฟ

$m = 4$ เรียกว่า ควอดรูเพล็กซ์เวฟ

จำนวนทางขนานของการพันขดลวดแบบแลป

$$a = P \cdot m \quad (2.57)$$

$m = 1$ เรียกว่า ซิมเพล็กซ์แลป

$m = 2$ เรียกว่า ดูเพล็กซ์แลป

$m = 3$ เรียกว่า ทริพเพล็กซ์แลป

$m = 4$ เรียกว่า ควอดรูเพล็กซ์แลป

2.4.4 ปฏิกริยาอาเมเจอร์ (Armature Reaction)

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทำงานและจ่ายโหลดที่พิกัดใดๆ จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดอาเมเจอร์และสร้างเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนหนึ่งออกมา ในลักษณะตั้งฉากหรือขวางทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กหลัก เรียกว่า สนามแม่เหล็กขวาง (Cross-magnetizing) และเกิดสนามแม่เหล็กในลักษณะขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับเส้นแรงแม่เหล็กหลักแต่มีทิศทางตรงกันข้าม เรียกว่า สนามแม่เหล็กลด (Demagnetizing) จากปรากฏการณ์นี้จึงเรียกโดยรวมว่า ปฏิกริยาอามเจอร์ (Armature Reaction) ก่อนอื่นจะพิจารณากรณีที่ขดลวดอามเจอร์ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกับกรณีที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งมีผลต่อทิศทางของ เส้นแรงแม่เหล็กหลัก ดังนี้

กรณีที่ขดลวดอามเจอร์ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน หรือมีกระแสไหลเพียงเล็กน้อย ขณะที่ยังไม่จ่ายโหลดสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดขนาน และเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดผสม ซึ่งอนุโลมให้เป็นกรณีที่ขดลวดอามเจอร์ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กหลักที่พุ่งจากขั้วแม่เหล็กเหนือไปยังขั้วแม่เหล็กใต้จะมีความสม่ำเสมอตลอดแกนเหล็กอามเจอร์ และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะตั้งฉากกับแนวแกนสะเทินสนามแม่เหล็ก (Magnetic Neutral Axis; MNA) โดยที่แนวแกน MNA นี้ขดลวดอามเจอร์ไม่มีการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น เพราะเป็นตำแหน่งที่ตัวนำเคลื่อนที่ขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก แต่ถ้าขดลวดอามเจอร์มีกระแสไฟฟ้าไหลเมื่อจ่ายโหลดแนวแกนสะเทินสนามแม่เหล็กก็จะเคลื่อนที่ไปจากเดิมตามทิศทางการหมุนของแกนเหล็กอามเจอร์

นอกจากนี้ เส้นแรงแม่เหล็กยังตั้งฉากกับแนวแกนสะเทินทางเรขาคณิต (Geometrical Neutral Axis; GNA) โดยที่แนวแกน GNA จะตั้งฉากกับแนวแกนขั้วแม่เหล็ก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า แนวแกน GNA ตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กหลักนั่นเอง และแนวแกน GNA จะตั้งฉากกับแนวแกนขั้วแม่เหล็กตลอดไป ไม่ว่าขดลวดอามเจอร์จะมีหรือไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก็ตาม

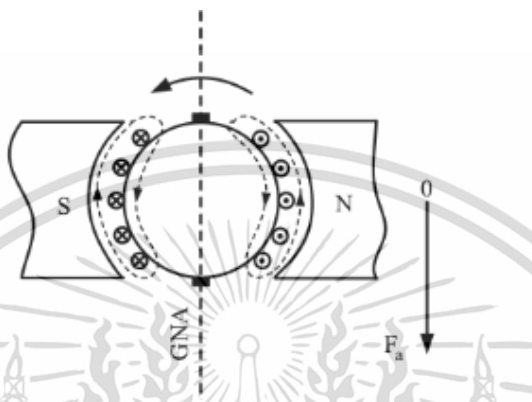


รูปที่ 2.22 เส้นแรงแม่เหล็กมีความสม่ำเสมอเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดอามเจอร์

จากรูปที่ 22 พบว่า เวกเตอร์ที่แทนขนาดและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กหลัก คือ OF_m จะตั้งฉากกับแนวแกน MNA และ GNA

กรณีที่ขดลวดอามเจอร์มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน หรือในสภาวะที่มีการจ่ายโหลด เมื่อพิจารณาเฉพาะกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดอามเจอร์อย่างเดียวพบว่า เส้นแรงแม่เหล็กที่คล้องเกี่ยวตัวนำหน้า

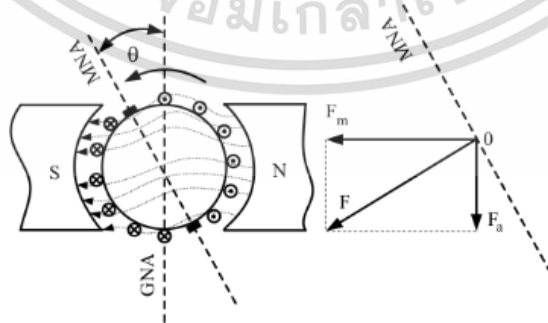
ขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้เป็นไปตามกฎมือขวา ซึ่งมีทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กขนานกับแนวแกน GNA ดังแสดงด้วยเวกเตอร์ OF_a



รูปที่ 2.23 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดอามะเจอร์

เมื่อวิเคราะห์ที่สถานะที่มีการจ่ายโหลด จะได้เวกเตอร์ลัพธ์ OF ที่เกิดจากการรวมกันระหว่างเวกเตอร์ OF_m กับเวกเตอร์ OF_a ซึ่งพบว่า เส้นแรงแม่เหล็กหลักมีทิศทางเปลี่ยนแปลงไป (Distorted) ทำให้บริเวณที่เส้นแรงแม่เหล็กขนานกับตัวนำไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงไปหรือแนวแกน MNA เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางข้างหน้าของการหมุน ซึ่งแนวแกน MNA เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามพิกัดของโหลด

ที่เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางข้างหน้าของการหมุน ซึ่งแนวแกน MNA เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามพิกัดของโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลดคงที่ที่พิกัดหนึ่ง แนวแกน MNA ก็จะคงที่ ณ พิกัดนั้นด้วย



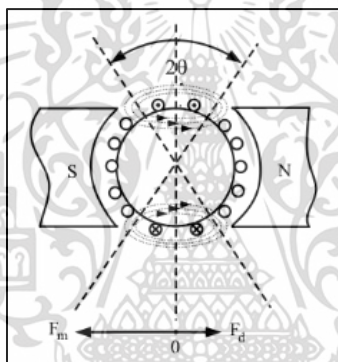
รูปที่ 2.24 ปฏิกริยาอามะเจอร์เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแนวแกน MNA เปลี่ยนแปลงจากแนวเดิมไปในทิศทางการหมุนเป็นมุม θ แต่แปรงถ่านยังอยู่ในตำแหน่งเดิม ซึ่ง ณ ตำแหน่งนี้ตัวนำได้มีการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น จึงเกิดประกายไฟระหว่างแปรงถ่านในขณะที่สัมผัสกับซีคอมมิวเตเตอร์ 2 ซี ดังนั้นจึงต้องเลื่อนแปรงถ่านไปข้างหน้าตามทิศทางการหมุนเป็นมุม θ เพื่อให้ไปอยู่ในแนวแกน MNA ที่ไม่มีการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าที่ตัวนำ

2.4.5 สนามแม่เหล็กลด (Demagnetizing)

การเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 2.24 และรูปที่ 2.25 นั้น มีผลทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหลักลดลง หรือกล่าวได้ว่า แรงดันแม่เหล็กหลักลดลงบริเวณมุม 2θ ทั้งด้านบนและด้านล่างของแกนเหล็กอามีเจอร์ ซึ่งสังเกตได้จากเวกเตอร์ OF_m ซึ่งเป็นเวกเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็กหลัก โดยมีทิศทางตรงกันข้ามกับเวกเตอร์ OF_d ซึ่งเป็นเวกเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็กลด



รูปที่ 2.25 แสดงสนามแม่เหล็กลด

แรงดันแม่เหล็กหลักที่ลดลงไปเนื่องจากสนามแม่เหล็กลดนั้น สามารถผันขดลวดสนามแม่เหล็กเพิ่มไปในแต่ละขั้วแม่เหล็กได้ ทั้งนี้ต้องมีการคำนวณหาแรงดันแม่เหล็กที่ลดลงก่อน จึงจะออกแบบจำนวนรอบของขดลวดที่พันเพิ่มเข้าไปได้ ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจก่อนว่าแรงดันแม่เหล็กมีหน่วยเป็นแอมแปร์-เทิร์น (Ampere-turn; AT) หรือ รอบ-แอมป์ ดังนั้นแรงดันแม่เหล็กที่ลดลงต่อขั้วแม่เหล็กจึงแทนด้วย $AT/d/pole$

เมื่อ Z คือจำนวนตัวนำทั้งหมดของขดลวดอามีเจอร์

θ คือมุมทางกลที่แนวแกน MNA เบี่ยงเบนไปจากแนวแกน GNA ถ้ามุมนี้เป็นมุมทางไฟฟ้าต้องคูณด้วย $2/P$ เพื่อแปลงเป็นมุมทางกล

I_a คือกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอามีเจอร์, แอมแปร์ (A)

I คือกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอามีเจอร์ในแต่ละตัวนำ, แอมแปร์ (A) ซึ่งเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละทางขนานของขดลวดอามีเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้
$$I = \frac{I_a}{2} \quad (2.58)$$

สำหรับการพันขดลวดอาเมเจอร์แบบซิมเพล็กซ์เวฟ

$$I = \frac{I_a}{P} \quad (2.59)$$

สำหรับการพันขดลวดอาเมเจอร์แบบซิมเพล็กซ์แลป

จำนวนตัวนำของขดลวดอาเมเจอร์ที่อยู่ระหว่างมุม 2θ ทั้งด้านบนและด้านล่างของแกนเหล็กอาเมเจอร์ ดังในรูปที่ 2.25 คือ

$$2 \left(\frac{2\theta}{360} Z \right) \quad (2.60)$$

จึงได้จำนวนรอบขดลวด ณ มุมดังกล่าว

$$2 \left(\frac{2\theta}{360} Z \right) / 2 \quad (2.61)$$

$$= \frac{2\theta}{360} Z \quad (2.62)$$

จำนวนแรงดันแม่เหล็กที่ลดลงต่อหนึ่งคู่ขั้วแม่เหล็ก

$$= \frac{2\theta}{360} ZI \quad (2.63)$$

จำนวนแรงดันแม่เหล็กที่ลดลงต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก

$$= \frac{\theta}{360} ZI \quad (2.64)$$

จะได้
$$ATd / \text{pole} = \frac{\theta}{360} ZI \quad (2.65)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น การกระจัดแรงแม่เหล็กที่ลดลงอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กลดให้หมดไป กระทำได้โดยการพันขดลวดสนามแม่เหล็กเพิ่มเข้าไปในแต่ละขั้วแม่เหล็ก

จำนวนรอบของขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันเพิ่มเข้าไปต่อขั้วแม่เหล็ก

$$= \frac{ATd}{I_{sh}} \quad (2.66)$$

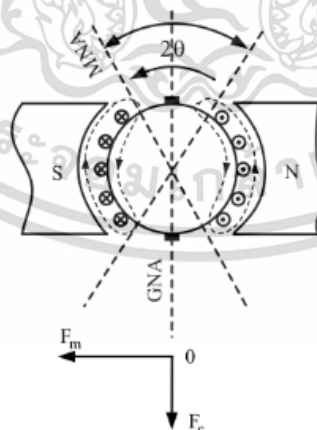
สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดขนาน

$$= \frac{ATd}{I_a} \quad (2.67)$$

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดอนุกรม

2.4.5 สนามแม่เหล็กขวาง (Cross-magnetizing)

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดอาเมเจอร์จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กค้ำงเกี่ยวข้องตัวนำ มีทิศทางตั้งฉากหรือขวางทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งมีผลทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กหลักเสียรูปทรง บริเวณมุม $180^\circ - 2\theta$ ที่อยู่บริเวณด้านหน้าขั้วแม่เหล็ก ซึ่งสังเกตได้จากเวกเตอร์ OF_c ซึ่งเป็นเวกเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็กขวาง มีทิศทางตั้งฉากกับเวกเตอร์ OF_m ซึ่งเป็นเวกเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็กหลัก



รูปที่ 2.26 สนามแม่เหล็กขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันแม่เหล็กขวางต่อขั้วแม่เหล็กแทนด้วย ATc/pole ซึ่งมีวิธีการพิสูจน์ดังนี้
จำนวนแรงดันแม่เหล็กทั้งหมดของตัวนำต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก

$$= \frac{ZI}{2P} \quad (2.69)$$

จำนวนแรงดันแม่เหล็กขวางต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็กเท่ากับจำนวนแรงดันแม่เหล็กทั้งหมดของตัวนำต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก ลบออกด้วยจำนวนแรงดันแม่เหล็กที่ลดลงต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก ดังนั้น

$$= \frac{ZI}{2P} - \frac{\theta}{360} ZI$$

$$= \frac{ZI}{2P} - \frac{\theta}{360} ZI$$

$$= ZI \left(\frac{1}{2P} - \frac{\theta}{360} \right)$$

จะได้

$$ATc / pole = ZI \left(\frac{1}{2P} - \frac{\theta}{360} \right) \quad (2.69)$$

วิธีการอีกอย่างหนึ่งที่แก้ปัญหาประกายไฟโดยไม่ต้องเลื่อนแปรงถ่านคือ การใช้อินเตอร์โพล (Interpole) หรือการพันขดลวดชดเชย (Compensating Winding) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อินเตอร์โพล (Interpole) มีลักษณะเป็นขั้วแม่เหล็กเล็กๆ อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กหลัก และมีลักษณะความเป็นขั้วแม่เหล็กเหมือนกับขั้วแม่เหล็กที่อยู่ข้างหน้าตามทิศทางการหมุน เช่น ด้านหน้าอินเตอร์โพลตามทิศทางการหมุนมีขั้วแม่เหล็กหลักเป็นขั้วเหนือ อินเตอร์โพลก็จะเป็นขั้วเหนือ เป็นต้น และขดลวดที่พันอยู่รอบๆ อินเตอร์โพลจะเป็นขดลวดเส้นใหญ่ เพราะต้องต่ออนุกรมกับขดลวดอาเมเจอร์ที่มีค่ากระแสไฟฟ้าไหลจำนวนมาก เส้นแรงแม่เหล็กจากอินเตอร์โพลจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของสนามแม่เหล็กขวางที่ขดลวดอาเมเจอร์

ดังนั้นแรงดันแม่เหล็กจากสนามแม่เหล็กขวางจึงถูกขจัดไปจากแรงดันแม่เหล็กของอินเตอร์โพล ดังในรูปที่ 2.20 จึงเป็นการปรับสนามแม่เหล็กให้เป็นกลางที่แน่นอน GNA จึงแก้ปัญหาการเกิดประกายไฟที่แปรงถ่านได้ แต่ไม่แก้ปัญหาสนามแม่เหล็กหลักอ่อนตัวลงและการบิดเบี้ยวของสนามแม่เหล็ก

2.4.6 การสูญเสียกำลังในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Iron Loss in Armature)

เมื่อแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ถูกหมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กตลอดเวลาขณะที่เครื่องทำงาน เกิดการสูญเสียเทียบเท่ากำลังไฟฟ้าในแกนเหล็ก และให้ผลลัพธ์เกิดเป็นความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.6.1. การสูญเสียจากฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Loss) เมื่อแกนเหล็กอาร์เมเจอร์หมุนอยู่ในสนามแม่เหล็กจะเกิดการเหนี่ยวนำในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ทำให้แกนเหล็กกลายเป็นวัสดุตัวนำแม่เหล็กหรือกลายเป็นแม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง โดยมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นที่แกนเหล็กซึ่งอธิบายด้วยเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density; B) ในวัสดุตัวนำแม่เหล็กกับความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Intensity; H) หรือเส้นโค้ง $B-H$ ($B-H$ Curve) ที่ว่า ถ้ามีกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากกระบวนการเหนี่ยวนำซึ่งเป็นกระแสสลับไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ที่พันอยู่โดยรอบแกนเหล็ก อาร์เมเจอร์ จะเกิดแรงดันแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กและความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเส้นโค้งสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว

แต่เมื่อแกนเหล็กอาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนย้ายจากขั้วแม่เหล็กเหนือไปขั้วแม่เหล็กใต้ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไหลกลับทิศทางโดยค่อยๆ ลดลง และไปเพิ่มขึ้นอีกทิศทางหนึ่งในทางตรงข้าม ย่อมทำให้แรงดันแม่เหล็กลดลงและความเข้มสนามแม่เหล็กลดลงเป็นศูนย์ แต่ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กไม่เป็นศูนย์ นั่นคือจะเหลือสถานะแม่เหล็กตกค้างอยู่ (Residual Magnetism) ในลักษณะที่ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กกล้าหลังความเข้มสนามแม่เหล็ก จากนั้นความเข้มสนามแม่เหล็กจะเพิ่มค่าขึ้นสูงสุดในทิศทางตรงกันข้ามเส้นโค้งสนามแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวในทิศทางตรงกันข้ามด้วย แต่เมื่อแกนเหล็กอาร์เมเจอร์เคลื่อนที่ผ่านขั้วแม่เหล็กได้ย้ายไปขั้วแม่เหล็กเหนือ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไหลกลับทิศทางโดยค่อยๆ ลดลง และไปเพิ่มขึ้นในทิศทางเดิม ทำให้แรงดันแม่เหล็กลดลงและความเข้มสนามแม่เหล็กลดลงเป็นศูนย์ และไปเพิ่มค่าขึ้นอีกในทิศทางเดิม

แต่ขณะที่ความเข้มสนามแม่เหล็กลดเป็นศูนย์ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่เป็นศูนย์ จนกระทั่งกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าสูงสุดทำให้แรงดันแม่เหล็กมีค่าสูงสุด ส่งผลให้ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กและความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่าสูงสุด เส้นโค้งสนามแม่เหล็กจึงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ณ ตำแหน่งเดิม ซึ่งครบวงจรปิดพอดี (Closed Loop) เราเรียกรวมเส้นโค้งการเกิดสนามแม่เหล็กนี้ว่า “วงของฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Loop)”

แกนเหล็กที่ทำจากเหล็กต่างชนิดกันจะมีวงของฮิสเทอรีซิสใหญ่หรือเล็กต่างกัน ถ้าวางของฮิสเทอรีซิสใหญ่มีพื้นที่มาก หมายความว่าต้องสูญเสียกำลังงานมากในการดันให้โดเมนของแกนเหล็กหันกลับไปกลับมาในเนื้อเหล็ก และการสูญเสียกำลังงานดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับปริมาณของแกนเหล็กอีกด้วย ดังที่ชาร์ลส์ โพรทูล สเตียนเมท (ค.ศ. 1865 – 1923) นักคณิตศาสตร์และวิศวกรไฟฟ้า ชาวปรัสเซีย ซึ่งเป็นคว้นหนึ่งในประเทศเยอรมนีระหว่างปี 1701 – 1918 ปัจจุบันอยู่ในเขตเมืองวโรตสวัฟ (Wroclaw)

จังหวัดดอลนือซลีออนสก์ ชื่อในภาษาอังกฤษเรียกว่า โลว์เออร์ไซลีเซีย (Lower Silesia) เป็นจังหวัดทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศโปแลนด์ กล่าวว่าการสูญเสียจากฮีสเตอร์รีซิสขึ้นอยู่กับชนิดหรือเกรดของเหล็กที่ใช้ทำแกนเหล็ก ปริมาตรของแกนเหล็ก ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด และความถี่ของการกลับไปกลับมาของวงของฮีสเตอร์รีซิส



รูปที่ 2.27 ชาร์ลส์ โพรทอส สเตียนเมท (ค.ศ. 1865 – 1923)

ดังนั้นการสูญเสียจากฮีสเตอร์รีซิสในแกนเหล็ก หาได้จากสูตรของชาร์ลส์ โพรทอส สเตียนเมท ดังนี้

$$W_h = \eta B_{\max}^{1.6} f V \quad (2.70)$$

เมื่อ

W_h คือการสูญเสียจากฮีสเตอร์รีซิส, วัตต์ (W)

คือค่าสัมประสิทธิ์ของสเตียนเมท (Steinmetz) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แกนเหล็กทำจากเหล็กแผ่น (Sheet Steel) มีค่า 502.4 และทำจากเหล็กซิลิกอน (Sillicon) มีค่า 191

B_{\max} คือความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด, เวเบอร์ต่อตารางเมตร (wb/m^2)

f คือความถี่ของการกลับไปกลับมาของวงฮีสเตอร์รีซิส, เฮิร์ตซ์ (Hz)

V คือปริมาตรของแกนเหล็ก, ลูกบาศก์เมตร (m^3)

จากสมการที่ (2.70) พบว่า การที่จะลดการสูญเสียจากฮีสเตอร์รีซิสทำได้โดยการใช้แกนเหล็กที่ทำจากเหล็กที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของสเตียนเมทต่ำ (Low Hysteresis Coefficient) เช่น ใช้เหล็กซิลิกอนชนิดพิเศษ ได้แก่ สเตนลอย (Stalloy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6.2 การสูญเสียเนื่องจากกระแสวน (Eddy-current Loss) เมื่อแกนเหล็กอาเมเจอร์ถูก จุดให้หมุนในสนามแม่เหล็ก จะเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าที่แกนเหล็กและเกิดกระแสวนในแกนเหล็ก ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในแกนเหล็กจำนวน I^2R ดังนั้นจึงต้องเพิ่มค่าความต้านทานของแกนเหล็กโดยทำเป็นแผ่นเหล็กบางซ้อนอัด (Lamination) และเคลือบฉนวนบางๆ เพื่อเพิ่มค่าความต้านทานของแกนเหล็กหรืออีกนัย

$$W_e = k B_{\max}^2 f^2 t^2 v \quad (2.71)$$

เมื่อ	W_e	คือการสูญเสียเนื่องจากกระแสวน, วัตต์ (W)
	K	คือค่าคงที่ในการเกิดกระแสวนเท่ากับ 13.6 วัตต์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (W/cm^3)
	B_{\max}	คือความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด, เส้นต่อตารางเซนติเมตร ($line/cm^2$), (108 line = m 1 wb)
	f	คือความถี่ของการกลับเส้นแรงแม่เหล็ก, เฮิรตซ์ (Hz)
	t	คือความหนาของแผ่นเหล็กบางซ้อนอัดแต่ละแผ่น
	v	คือปริมาตรของแกนเหล็ก, ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

จากสมการที่ (2.71) พบว่าการที่จะลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสวน ทำได้โดยการใช้แผ่นเหล็กบางซ้อนอัดขึ้นรูปเป็นแกนเหล็ก และการสูญเสียเนื่องจากกระแสวนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีค่ามากกว่าขนาดเล็ก เพราะมีปริมาตรของแกนเหล็กมากกว่า

2.4.7 การสูญเสียกำลังในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Total Loss in a DC Generator)

การสูญเสียกำลังในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ การสูญเสียในขดลวดทองแดง การสูญเสียในแกนเหล็ก และการสูญเสียทางกล ซึ่งแต่ละชนิดมีรายละเอียดของการสูญเสียดังนี้

2.4.7.1. การสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper Loss or Cu Loss) แบ่งเป็นส่วนย่อยได้ดังนี้

a. การสูญเสียในขดลวดทองแดงของขดลวดอาเมเจอร์ (Armature Copper Loss) มีค่าเป็น $I_a^2 R_a$ เมื่อ I_a คือกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาเมเจอร์ และ R_a คือความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์ ซึ่งการสูญเสียนี้อาจประมาณร้อยละ 30-40 ของการสูญเสียเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด

b. การสูญเสียในขดลวดทองแดงของขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Copper Loss) มีค่าเป็น $I_{sh}^2 R_{sh}$ หรือ $V_{sh} I_{sh}$ เมื่อ I_{sh} คือกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก และ R_{sh} คือ ความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็กขนาน สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดขนาน และขดลวดผสม หรือ

$I_a^2 R_{se}$ เมื่อ I_a คือกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาเมเจอร์ และ R_{se} คือความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดอนุกรมและขดลวดผสมขนานยาว หรือ $I_L^2 R_{se}$ เมื่อ I_L คือกระแสไฟฟ้าที่โหลด และ R_{se} คือความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดผสมขนานสั้น ซึ่งการสูญเสียนี้มีค่าประมาณร้อยละ 20-30 ของการสูญเสียเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด

c. การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานที่หน้าสัมผัสของแปรงถ่าน (The Loss due to Brush Contact Resistance) โดยทั่วไปจะรวมกับการสูญเสียที่ขดลวดอาเมเจอร์

2.4.7.2. การสูญเสียเนื่องจากแม่เหล็ก (Magnetic Loss) หรือเรียกว่าการสูญเสียในแกนเหล็ก (Iron or Core Losses) แบ่งเป็นส่วนย่อยได้ดังนี้

a. การสูญเสียจากฮิสเตอรีซิสในแกนเหล็ก การสูญเสียนี้แปรผันตรงกับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดยกกำลัง 1.6 หรือ $B_{max}^{1.6}$ และความถี่ของการกลับไปกลับมาของวงของฮิสเตอรีซิส เขียนในรูปการแปรผันได้เป็น $W_e \propto B_{max}^2 f^2$

b. การสูญเสียเนื่องจากกระแสวน การสูญเสียนี้แปรผันตรงกับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดยกกำลัง 2 หรือ B_{max}^2 และความถี่ของการกลับเส้นแรงแม่เหล็กยกกำลัง 2 เขียนในรูปการแปรผันได้เป็น $W_e \propto B_{max}^2 f^2$ การสูญเสียเนื่องจากแม่เหล็กถือว่าเป็นการสูญเสียที่คงที่ ในกรณีที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดขนานและขดลวดผสม โดยมีค่าประมาณร้อยละ 20-30 ของการสูญเสียเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด

2.4.7.3. การสูญเสียทางกล (Mechanical Loss) แบ่งเป็นส่วนย่อยได้ดังนี้

a. การสูญเสียจากแรงเสียดทาน (Friction Loss) เป็นการสูญเสียจากความฝืดที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างแกนหมุนหรือเพลากับรองลื่น (Bearings) และการเสียดทานระหว่างซี่คอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่าน

b. การสูญเสียจากส่วนเคลื่อนที่เสียดทานกับอากาศหรือการสูญเสียจากแรงต้านลม (Air-friction or Windage Loss) เป็นการสูญเสียจากการหมุนของแกนเหล็กอาเมเจอร์ การสูญเสียทางกลมีค่าประมาณร้อยละ 10-20 ของการสูญเสียเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด การสูญเสียทั้งหมดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงดังกล่าว เมื่อนำการสูญเสียเนื่องจากแม่เหล็กรวมกับการสูญเสียทางกล เรียกว่า การสูญเสียสเตรย์ (Stray Losses) และสำหรับการสูญเสียในขดลวดทองแดงของขดลวดสนามแม่เหล็กขนานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดขนานและขดลวดผสม ถือว่าเป็นการสูญเสียคงตัว (Constant Losses) ซึ่งเมื่อรวมกับการสูญเสียสเตรย์ถือว่าเป็นการสูญเสียคงตัวด้วย ดังนั้นถ้าจัดกลุ่มการสูญเสียทั้งหมด กรณีที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดขนาน และขดลวดผสม แบ่งเป็นกลุ่มตามการแปรผันของค่าการสูญเสีย สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การสูญเสียแปรค่าได้ (Variable Losses) และการสูญเสียคงตัว (Constant Losses)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดขนาน

$$\begin{aligned} W_t &= W_v + W_c \\ &= I_a^2 R_a + W_c \end{aligned}$$

จะได้
$$W_t = (I_L + I_{sh})^2 R_a + W_c \quad (2.72)$$

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดผสมชนิดขนานสั้น

$$\begin{aligned} W_t &= W_v + W_c \\ &= I_a^2 R_a + I_L^2 R_{se} + W_c \end{aligned} \quad (2.73)$$

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดผสม ชนิดขนานยาว

$$\begin{aligned} W_t &= W_v + W_c \\ &= I_a^2 R_a + I_L^2 R_{se} + W_c \end{aligned} \quad (2.74)$$

เมื่อ W_t คือการสูญเสียทั้งหมดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

W_v คือการสูญเสียแปรค่าได้ กรณี $I_a^2 R_a$ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ขดลวดขนานกรณี $I_a^2 R_a + I_L^2 R_{se}$ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

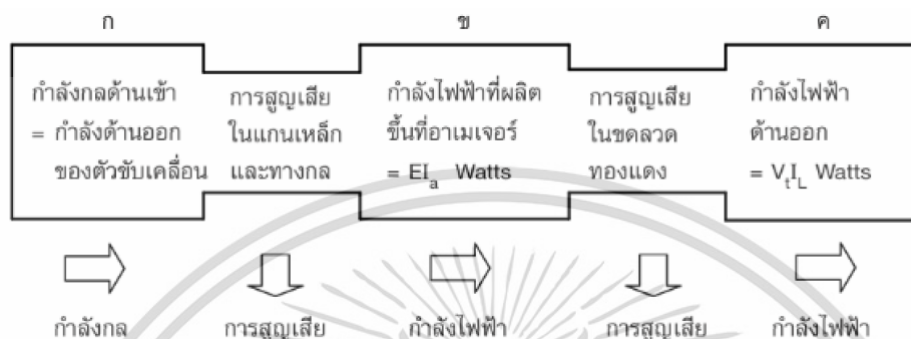
ขดลวดผสมชนิดขนานสั้นและกรณี $I_a^2 R_a + I_a^2 R_{se}$ สำหรับเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดผสมชนิดขนานยาว W_c คือการสูญเสียคงตัว

การสูญเสียแปรค่าได้ที่ขดลวดอาเมเจอร์และขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม เพราะว่าเป็นการสูญเสียที่แปรค่าตามกระแสไฟฟ้าที่ไหล

2.6.3 ตำแหน่งของกำลัง (Power Stages)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีลักษณะการทำงานเปลี่ยนพลังงานกลหรือกำลังกลเป็นกำลังไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้า ซึ่งตำแหน่งของกำลังในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแสดงได้ดังผังในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ผังตำแหน่งของกำลังในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงถูกขับเคลื่อนด้วยตัวขับเคลื่อน เช่น เครื่องยนต์ และมอเตอร์ เป็นต้น กำลังที่เครื่องรับเข้ามาหรือกำลังกลด้านเข้าก็คือ กำลังด้านออกของตัวขับเคลื่อนนั่นเอง (ตำแหน่งของกำลัง ก) เช่น ตัวขับเคลื่อนที่เป็นเครื่องยนต์พิกัด 100 แรงม้า จะมีกำลังกลด้านเข้าเท่ากับ 100×746 วัตต์ จากนั้นมีการลดทอนกำลังกลด้านเข้าด้วยการสูญเสียกำลังไปในแกนเหล็กและการสูญเสียทางกล ผลของกำลังกลด้านเข้าที่เหลือจึงนำมาใช้ผลิตกำลังไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ (ตำแหน่งของกำลัง ข) เมื่อเครื่องจ่ายโหลดย่อมมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในขดลวดทองแดง ทำให้กำลังไฟฟ้าที่เหลือเพื่อจ่ายโหลดหลังจากหักออกด้วยการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในขดลวดทองแดงแล้ว ก็คือกำลังไฟฟ้าด้านออก (ตำแหน่งของกำลัง ค)

2.4.8 ประสิทธิภาพ (Efficiency)

ประสิทธิภาพหาได้จากอัตราส่วนของกำลังด้านออกต่อกำลังด้านเข้า ดังสมการที่ (2.75)

$$\eta = \frac{\text{กำลังด้านออก}}{\text{กำลังกลด้านเข้า}} \quad (2.75)$$

เมื่อ η คืออักษรกรีกอ่านว่า อีตา (Eta) แทนประสิทธิภาพ

จากผังตำแหน่งของกำลังในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และหลักการหาประสิทธิภาพดังสมการที่ (2.75) สามารถเขียนประสิทธิภาพเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ประสิทธิภาพทางกล (Mechanical Efficiency)

$$\eta_m = \frac{EI_a}{\text{กำลังกลด้านเข้า}} \quad (2.76)$$

เมื่อ η_m คือประสิทธิภาพทางกล

2. ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า (Electrical Efficiency)

$$\eta_e = \frac{V_t I_L}{EI_a} \quad (2.77)$$

เมื่อ η_e คือประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

3. ประสิทธิภาพรวม (Overall or Commercial Efficiency)

$$\eta_c = \frac{V_t I_L}{\text{กำลังกลด้านเข้า}} \quad (2.78)$$

เมื่อ η_c คือประสิทธิภาพรวม

ทั้งนี้ ประสิทธิภาพรวมอาจหาได้จากสูตร $\eta_c = \eta_m \eta_e$ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ดีควรมีค่าประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 95

2.4.8 สภาวะประสิทธิภาพสูงสุด (Condition for Maximum Efficiency)

การเกิดสภาวะประสิทธิภาพสูงสุดสามารถพิสูจน์ให้เห็นได้ดังต่อไปนี้ จากฝั่งตำแหน่งของกำลังในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และหลักการหาประสิทธิภาพดังสมการที่ (2.79) สามารถเขียนประสิทธิภาพเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังนี้

$$\text{กำลังด้านออก} = V_t I_L \quad (2.79)$$

$$\text{กำลังด้านเข้า} = \text{กำลังด้านออก} + \text{การสูญเสีย}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= V_t I_L + I_L^2 R_a + W_c \\
 &= V_t I_L + (I_L + I_{sh})^2 R_a + W_c \quad (2.80)
 \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตาม กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กมีจำนวนเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลลง จึงละทิ้งกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กได้ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาเมเจอร์จึงมีค่าเท่ากับ กระแสไฟฟ้าที่ไหลลง

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{\text{กำลังด้านออก}}{\text{กำลังกลด้านเข้า}} \\
 &= \frac{V_t I_L}{V_t I_L + I_L^2 R_a + W_c} \\
 &= \frac{V_t I_L}{V_t I_L + I_L^2 R_a + W_c} \\
 &= \frac{1}{1 + \left(\frac{I_L R_a}{V_t} + \frac{W_c}{V_t I_L} \right)} \quad (2.81)
 \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพจะมีค่าสูงสุดเมื่อส่วนที่เป็นตัวหารมีค่าน้อยที่สุด จึงประยุกต์การหาค่าอนุพันธ์ของส่วนที่เป็นตัวหารเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลลงซึ่งเป็นตัวแปร แล้วให้ค่าอนุพันธ์เข้าสู่ศูนย์

$$\frac{d}{dl}$$

$$\frac{R_a}{V_t} - \frac{W_c}{V_t I_L^2} = 0$$

$$I_L^2 R_a = W_c \quad (2.82)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ สภาวะประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อการสูญเสียแปรค่าได้มีค่าเท่ากับ การสูญเสียคงตัว และกระแสไฟฟ้าที่ไหลที่สภาวะประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าเป็น

$$I_L^2 R_a = W_c$$

$$I_L = \sqrt{W_c / R_a} \quad (2.83)$$

2.4.9 บทสรุป

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นกำลังไฟฟ้า แบ่งตามลักษณะการต่อวงจรขดลวดสนามแม่เหล็กได้ 2 ชนิดคือ ชนิดตัว กระตุ้นแยกที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กต่อแยกคนละวงจรถัดขดลวดอาเมเจอร์ ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้จึงต้องมีหรือจัดหาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับกระตุ้นขดลวด สนามแม่เหล็กกับชนิดตัวกระตุ้นด้วยตนเองที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กต่อร่วมกับขดลวด อาเมเจอร์ ทำงานเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าโดยอาศัยเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างในแกนเหล็ก จึงไม่มีการต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกสำหรับกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก

สำหรับการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิดนั้น มีการแปรผัน ตรงกับเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว จำนวนตัวนำทั้งหมดของขดลวดอาเมเจอร์ การหมุนของแกน เหล็กอาเมเจอร์หรือความเร็วรอบของตัวขั้ว และจำนวนขั้วแม่เหล็ก แต่แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดังกล่าวนั้นแปรผกผันกับจำนวนทางขนานของขดลวดอาเมเจอร์ ซึ่งพบว่าการพันขดลวด แบบแลปมีจำนวนทางขนานมากกว่าการพันแบบเวฟ ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ พันขดลวดอาเมเจอร์แบบแลปจะให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่ำแต่กระแสไฟฟ้าที่ได้จะสูงตาม จำนวนทางขนาน แต่ถ้าพันขดลวดแบบเวฟจะให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงแต่กระแสไฟฟ้า ที่ได้จะต่ำตามจำนวนทางขนานที่น้อยกว่าแบบแลป

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายโหลดจะมีกระแสไฟฟ้าไหลที่ขดลวดอาเมเจอร์ และกระแสไฟฟ้างี้จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดอาเมเจอร์เป็นสนามแม่เหล็ก ลดที่ลดความเข้มข้นของเส้นแรงแม่เหล็กหลัก ส่งผลให้เส้นแรงแม่เหล็กหลักมีแรงดัน แม่เหล็กลดลง และเกิดสนามแม่เหล็กขวางที่หน้าขั้วแม่เหล็ก ส่งผลให้เส้นแรงแม่เหล็กหลัก เสียรูปทรง ดังนั้นจึงต้องใช้อินเตอร์โพลหรือขดลวดชดเชยเพื่อจัดสนามแม่เหล็กขวางให้หมดไป

สำหรับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดตัวกระตุ้นแยก มีจุดเด่นที่ สามารถควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กได้อย่างแน่นอน จึงถูกนำไปใช้ งานควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขด ลวดอนุกรมมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขั้วมาก จึงนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นเครื่อง เชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวด

ขนานจะมีแรงดันไฟฟ้าที่ ขั้วค่อนข้างคงที่ ไม่ได้ลดลงมากนักเมื่อจ่ายโหลด ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขดลวด ผสมได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อจำกัดแบบขดลวดอนุกรมและแบบขดลวดขนาน นอกจากนี้ ยังสามารถจัดให้มีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อร่วมกันจ่ายโหลดที่เพิ่มมากขึ้นได้อีกด้วย

การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงย่อมมีการสูญเสียกำลังซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ การสูญเสียในขดลวดทองแดง การสูญเสียในแกนเหล็ก และการสูญเสียทางกล โดยที่การสูญเสียดังกล่าวจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลง แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องกำเนิด ไฟฟ้ากระแสตรงที่ดีควรมีค่าประสิทธิภาพสูงถึง ร้อยละ 95

2.5 การเก็บเกี่ยวพลังงาน

การเก็บเกี่ยวพลังงานคือการเก็บเอาพลังงานจากแหล่งกำเนิด ที่อยู่ล้อมรอบ (Ambient energy) หรือ พลังงานที่เหลือใช้ (Waste energy) นำมาแปลงเป็นกำลังไฟฟ้าและกักเก็บสะสมไว้เพื่อ ป้อนอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า การเก็บเกี่ยวพลังงาน (Energy harvesting หรือ Energy scavenging) จัดเป็น อีก ช่องทางหนึ่งสำหรับพลังงานทดแทนในอนาคต

2.5.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์

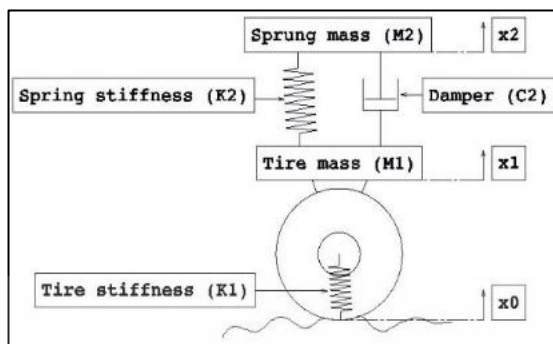
พลังงานกลสามารถพบได้เกือบทุกที่ ซึ่งความน่าสนใจอยู่ที่เราสามารถใช้อุปกรณ์บางอย่างเพื่อเปลี่ยน จากพลังงานกลมาเป็นกำลังไฟฟ้าได้

การสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Force vibration) เป็นการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดเนื่องจากพลังงานภายนอก กระทำกับระบบระหว่างการสั่นสะเทือน โดยพลังงานภายนอกที่กระทำนั้นอาจจะอยู่ในรูปของแรง แรงบิด หรืออาจเป็นการสั่นของพื้นถนนก็ได้ ซึ่งสามารถอธิบายในรูปสมการได้ดังนี้

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0 \quad (2.84)$$

หากให้การสั่นของพื้นเป็นแบบฮาร์โมนิกจะได้ $y(t) = Y \cos \omega_b t$ เมื่อแทนลงในสมการที่ (2.84) จะได้

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -cY\omega_b \sin \omega_b t + kY \cos \omega_b t \quad (2.85)$$



รูปที่ 2.29 แบบจำลองระบบการสั่นสะเทือนจากพื้น

2.6 ศักยภาพในการเก็บเกี่ยวพลังงาน

ด้วยความขรุขระพื้นผิวถนนจะทำให้เกิดเป็นความถี่ที่ไร้แบบแผนและมีการกระจายตัวเป็นช่วงที่กว้าง แต่สามารถประมาณค่าได้โดยกระบวนการทางสโตแคสติก ที่มีการกระจายตัวแบบเส้นโค้งปกติโดยพารามิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เพื่อใช้อธิบายการวัดค่าความหนาแน่นของคลื่นไฟฟ้า Power Spectrum Density (PSD) ซึ่งมีหน่วยเป็น $m^2/(\text{cycle}/m)$ และจากข้อมูลที่วัดมาได้นั้นมาผ่านกระบวนการกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด least-mean-square method (LMS) เพื่อลดค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสองให้มีค่าน้อยที่สุด กำหนดเป็นสมการ (2.86)

$$G_{\text{displacement}}(n) = G_r n^\beta \quad (2.86)$$

โดยที่ค่า $G_{\text{Displacement}}(n)$ คือการวัดค่าความหนาแน่นของคลื่นไฟฟ้า (PSD) มีหน่วยเป็น $m^2/(\text{cycle}/m)$, n เป็นค่าความถี่เชิงพื้นที่ มีหน่วยเป็น cycles/m และ G_r เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความไม่ราบเรียบของสภาพพื้นผิวถนนมีหน่วยเป็น $m^2 \text{cycles}/m$ โดยมีเลขชี้กำลัง β โดยปกติจะใช้การประมาณค่าเป็น -2 ดังนั้นรูปแบบการเคลื่อนที่บนถนนสามารถประมาณค่าได้เป็น หน่วย/ความหนาแน่น หลังจากนั้นสัญญาณก็จะถูกกรองขั้นแรก กำหนดในสมการที่ (2.87)

$$G(s) = \frac{(2\pi G_r V)^{1/2}}{s + \omega_0} \quad (2.87)$$

ที่ $\omega_0 = 2\pi V_0$ โดย v_0 คือจุดตัดความถี่ระหว่าง 0.001 และ $0.02 \text{ cycles}/m$, V คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที และ G_r กำหนดเป็น $25.6e-7$ มีหน่วยเป็น $m^2 \text{cycle}/m$, ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะถนนระดับ C ตามที่ระบุไว้ใน ISO 8608:1995 จากสมการ $2\pi GrV$ แสดงให้เห็นว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถส่งผลอย่างไรต่อของความหนาแน่นของคลื่นไฟฟ้า แล้วพลังงานที่กระจายอยู่ภายในใช้ค้อบสามารถคำนวณได้ในสมการที่ (2.88)

$$P_{ave} = cE(v^2) = \pi G_r V k_1 \quad (2.88)$$

จากสมการค่า k_1 คือความแข็งของยางซึ่งทำหน้าที่ดูดซับการสั่นสะเทือนชั้นแรก หลังจากนั้นพลังงานจากการสั่นสะเทือนก็จะส่งผ่านไปยังใช้ค้อบและการเก็บเกี่ยวพลังงานจะสามารถแสดงได้ในรูปของจากการศึกษากับรถยนต์โดยสารขนาดปกติ และมีการควบคุมน้ำหนักที่ 1,088 กิโลกรัม แล้วขับเคลื่อนด้วยความเร็วความเร็ว 25 ไมล์ต่อชั่วโมง สามารถตรวจจับค่าการกระจายตัวของพลังงานที่เกิดจากการสั่นสะเทือนที่กระทำต่อใช้ค้อบสามารถวัดค่าการกระจายตัวของพลังงานเฉลี่ยได้ 14.57 วัตต์ ต่อใช้ค้อบหนึ่งตัน

2.6.1 การเก็บเกี่ยวพลังงาน

การเก็บเกี่ยวพลังงานเป็นการแปลงพลังงานโดยรอบที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นกำลังไฟฟ้า มันเหมือนกันกับหลักการที่จะผลิตพลังงานทดแทนที่มีขนาดใหญ่ๆ เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์หรือพลังงานจากลม, แต่จะมีสเกลที่เล็กลงมาก ในขณะที่การผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่ขึ้นเกี่ยวข้องกับกำลังไฟฟ้าเมกะวัตต์ แต่การเก็บเกี่ยวพลังงานโดยทั่วไปหมายถึงไมโครวัตต์เป็นมิลลิวัตต์ ซึ่งเป็นระบบการผลิตพลังงานที่น้อยกว่ามาก การพัฒนาของการเก็บเกี่ยวพลังงานได้รับความนิยมน้อยอย่างแพร่หลายในระบบระบบอิเล็กทรอนิกส์ไร้สายอัตโนมัติ ตัวอย่างโหนดเซ็นเซอร์ไร้สายที่รวมเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยทั่วไปจะประกอบด้วยเซ็นเซอร์หลายๆ ตัวซึ่งโหนดเซ็นเซอร์แต่ละตัวจะประกอบด้วยเซ็นเซอร์การประมวลผลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์การสื่อสารไร้สายและแหล่งจ่ายไฟเนื่องจากระบบเป็นแบบไร้สายความละเอียดสูงและไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟเพื่อเป็นพลังงานให้เซ็นเซอร์ได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องให้พลังงานในพื้นที่โดยทั่วไปแล้วแหล่งจ่ายไฟจะมีแบตเตอรี่ไว้ให้ซึ่งจะสะดวกและราคาไม่แพง อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่มีพลังงานจำกัดและต้องมีการเปลี่ยนหรือชาร์จเป็นระยะ ซึ่งอาจใช้งานได้ดีในการปรับใช้ส่วนบุคคล แต่ในเครือข่ายไร้สายที่มีแบตเตอรี่จำนวนมากจึงไม่เหมาะสม นอกจากนี้การเปลี่ยนแบตเตอรี่หมายความว่าระบบไร้สายจะต้องสามารถเข้าถึงได้ซึ่งอาจเป็นไปได้หรืออาจทำให้ประสิทธิภาพลดลง ในที่สุดก็มีความกังวลด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับการกำจัดของแบตเตอรี่ การเก็บเกี่ยวพลังงานจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นวิธีการเปลี่ยนหรือเพิ่มแบตเตอรี่ ด้วยการแปลงพลังงานโดยรอบในสภาพแวดล้อม เครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานสามารถให้กำลังไฟฟ้าที่จำเป็นสำหรับอายุการใช้งานของระบบไร้สายซึ่งสามารถฝังหรือวางได้ทุกที่ที่เหมาะสมที่สุดในการทำหน้าที่ของมัน โดยทั่วไปแล้วการเก็บเกี่ยวพลังงานจะใช้ประโยชน์จากพลังงานจลน์ความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า การแปลงพลังงานจลน์จะเปลี่ยนการเคลื่อนไหวซึ่งมักจะอยู่ในรูปของการสั่นสะเทือนเป็นกำลังไฟฟ้า การไล่ระดับสีด้วยความร้อนสามารถใช้ประโยชน์จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนในขณะที่พลังงานแสงอาทิตย์ถูกเก็บเกี่ยวโดยใช้ไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถจับพลังงานจากคลื่นวิทยุได้เว้นแต่ว่าพลังงานนี้ถูกถ่ายทอดเป็นพิเศษระดับพลังงานมักจะต่ำมาก ความท้าทายในการเก็บเกี่ยวพลังงานคือการเพิ่มประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแวดล้อมที่พบในสภาพแวดล้อมการใช้งาน ตัวอย่างเช่นเครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานแบบสั่นสะเทือนจำเป็นต้องปรับแต่งให้ตรงกับความถี่ลักษณะที่พบในสภาพแวดล้อมซึ่งมักจะหมายถึงการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ สำหรับการใช้งานที่แตกต่างกันจะดีกว่ามากหากเครื่องกำเนิดไฟฟ้างกล่าวสามารถปรับได้และสามารถรับมือกับช่วงความถี่ได้ กระบวนการแปลงพลังงานไม่ได้หยุดอยู่กับเครื่องกำเนิด โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ปรับสภาพพลังงานจะต้องให้กำลังไฟฟ้าในรูปแบบที่ยอมรับได้สำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มักจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานควรได้รับการออกแบบในลักษณะองค์รวมโดยคำนึงถึงช่วงที่สำคัญทั้งหมด ความท้าทายเหล่านี้และวิธีการที่เหมาะสมในการพัฒนาเพื่อปรับปรุงปัญหาเหล่านี้

หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องโดยเน้นการเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์ที่ปรับได้ เครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานแบบพลังกลหรือที่รู้จักกันในชื่อเครื่องกำเนิดพลังงานการสั่นสะเทือนซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นระบบสปริงเกอร์แบบแรงเฉื่อยที่ไม่สามารถสกัดกำลังไฟฟ้าได้โดยการใช้กลไกหนึ่งเดียว

หรือหลายอย่างรวมกัน เนื่องจากเครื่องกำเนิดพลังงานการสั่นสะเทือนส่วนใหญ่เป็นระบบเรโซแนนท์พวกมันจะสร้างพลังงานสูงสุดเมื่อความถี่เรโซแนนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตรงกับความถี่การสั่นสะเทือนรอบข้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบปรับได้พยายามลดความแตกต่างระหว่างความถี่ทั้งสองเพื่อลดปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้น การพัฒนาอย่างกว้างขวางเมื่อเร็ว ๆ นี้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์ที่ปรับได้และนำเสนอการปรับปรุงที่เป็นไปได้ในช่วงความถี่ปฏิบัติการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับหัวข้อถัดไปจะเสนอการออกแบบการจำลองกำหนดค่าและปรับแต่งระบบเก็บเกี่ยวพลังงานทางกายภาพ แบบผสมผสานที่สมบูรณ์ซึ่งรวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กแรงดันไฟฟ้า องค์ประกอบการจัดเก็บและเทคนิคการสร้างแบบจำลองฮาร์ดแวร์คำอธิบายที่ถูกต้องทันสมัยสำหรับผู้เก็บเกี่ยวพลังงานจลน์และการตรวจสอบการทดลองจะถูกนำเสนอและอภิปราย ผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีศึกษานี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับยางรถยนต์อัจฉริยะซึ่งสามารถวัดและรายงานพารามิเตอร์ทางเทคนิคเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความปลอดภัยทางถนนต่อไป หวังว่าผู้อ่านนิพนธ์นี้เล่มนี้จะได้รับข้อมูลเกี่ยวกับเทคนิคการออกแบบล้ำสมัยสำหรับโลกที่ขับเคลื่อนเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์ศักยภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ “พลังงานฟรี” ในรูปแบบต่าง ๆ โดยพลังงานจลน์จากใช้คือพรอยนต์ซึ่งยังคงเป็นแรงบันดาลใจให้นักวิจัยและวิศวกร ในอนาคตอันใกล้เราไม่ต้องสงสัยเลยว่าจะได้เห็นการออกแบบเครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานใหม่การใช้วัสดุใหม่เช่นเดียวกับวงจรการจัดการพลังงานที่เป็นนวัตกรรมและโซลูชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหม่เพื่อการจัดเก็บพลังงาน การใช้งานเครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานจะได้รับประโยชน์จากวิวัฒนาการต่อไปในการลดการใช้พลังงานเนื่องจากการออกแบบวงจรใหม่และการลดขนาดของอุปกรณ์นาโน เทคนิคการเก็บเกี่ยวพลังงานแบบใหม่จะช่วยลดการบริโภคพลังงาน

2.6.2 การเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์

หลักการของการเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบปกติและการเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบปรับได้ เครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานแบบพลังงานจลน์หรือที่รู้จักกันในชื่อเครื่องกำเนิดพลังงานการสั่นสะเทือน ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นระบบที่กำลั้งไฟฟ้าถูกดึงออกมาโดยใช้โดยอาศัยการทำงานของกลไกการถ่ายเทพลังงานรูปแบบแตกต่างกัน หนึ่งในการกลไกการทำงานที่ได้รับความนิยมหลักๆ คือ piezoelectric แม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องกำเนิดพลังงานสั่นสะเทือนส่วนใหญ่เป็นระบบเรโซแนนซ์จึงสร้างพลังงานสูงสุดเมื่อความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตรงกับความถี่การสั่นสะเทือนรอบข้าง ความแตกต่างระหว่างความถี่ทั้งสองนี้จะส่งผลให้กำลั้งงานลดลงอย่างมาก การพัฒนาล่าสุดในการเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบปรับได้เพิ่มช่วงความถี่การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าว ซึ่งแนวทางแก้ไขโดยการปรับความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องกำเนิดและขยายแบนด์วิดท์ของเครื่องกำเนิดกำไฟฟ้าเพื่อสามารถตอบสนองตรงกับความถี่ของการสั่นสะเทือนได้มากขึ้น

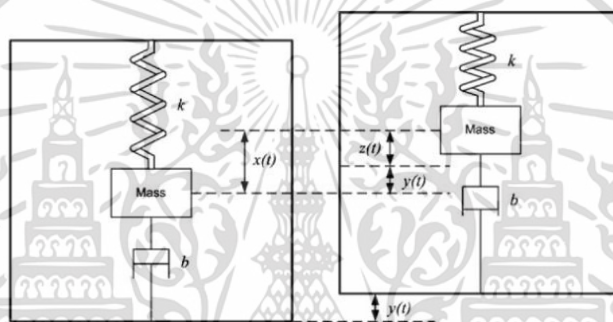
พลังงานกลสามารถพบได้เกือบทุกที่ที่อาจมีการติดตั้งเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Networks (WSN) ซึ่งทำให้การแปลงพลังงานเชิงกลจากการสั่นสะเทือนโดยรอบเป็นกำลั้งไฟฟ้าเป็นวิธีที่น่าสนใจสำหรับการเปิดเซ็นเซอร์ไร้สาย แหล่งพลังงานกลสามารถเป็นร่างกายมนุษย์ที่เคลื่อนไหวหรือมีโครงสร้างที่สั่นสะเทือน ความถี่ของการกระตุ้นเชิงกลขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา เช่นการเคลื่อนไหวของมนุษย์จะมสร้างควมถี่น้อยกว่า 10 Hz และการเคลื่อนไหวของเครื่องจักรจะมีความถี่มากกว่า 30 Hz ในการใช้งานโดยใช้เครื่องจักรในทางปฏิบัติระดับการสั่นสะเทือนอาจต่ำมาก ที่ความถี่ที่มักจะสอดคล้องกับความถี่ของกำลั้งไฟฟ้าหลักที่ให้พลังงาน(เช่น 50 หรือ 60 Hz หรือฮาร์โมนิกส์) ระดับการสั่นสะเทือนในระดับต่ำนั้นเทียบเท่ากับแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนที่อยู่ในลำดับไมกิโลเมตร การที่จะดึงพลังงานเชิงกลในกรณีนี้คือการใช้เครื่องกำเนิดแรงเฉื่อยที่สะท้อนที่ความถี่ลักษณะต่างๆ ข้อจำกัดของวิธีนี้คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นถูกออกแบบมาเพื่อทำงานที่ความถี่เดียว ความถี่ที่สูง หรือต่ำกว่าที่กำหนด หมายถึงแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้จริงมีจำกัด ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้ หากว่าความถี่เรโซแนนซ์ไม่ตรงกับความถี่การสั่นสะเทือนรอบข้างกำลั้งขับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบปรับได้ ได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มช่วงความถี่ในการปฏิบัติงานของตัวเก็บเกี่ยวพลังงานการสั่นสะเทือนดังนั้นจึงสามารถลดข้อจำกัดเรื่องความแตกต่างของความถี่ลงได้ กลไกบางอย่างที่สามารถปรับหรือปรับแต่งความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้ตรงกับความถี่ของการสั่นสะเทือนโดยรอบตลอดเวลาหรือขยายแบนด์วิดท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การจูนความถี่เรโซแนนซ์สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนลักษณะเชิงกลของโครงสร้างหรือโหลดไฟฟ้าในเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำเนิด นอกจากนี้การขยายแบนด์วิดท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำได้ด้วยเช่นการใช้อาร์เรย์ของโครงสร้างแต่ละอันมีความถี่เรโซแนนท์ที่แตกต่างกัน, แอมพลิจูดลิมิต, ออสซิลเลเตอร์คู่, สปริงที่ไม่เป็นเชิงเส้น

2.6.3 หลักการเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์

เครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบใช้แรงเฉื่อยนั้น เป็นจำลองระบบลำดับที่สองของมวล รูปแบบทั่วไปของเครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์ได้รับการพัฒนาเป็นครั้งแรกโดย Williams and Yates รูปที่ 30 แสดงแบบจำลองทั่วไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นการเก็บเกี่ยวพลังงานจากค่าของมวลและสปริงที่มีค่าคงที่ซึ่งพลังงานจะเก็บเกี่ยวได้จากการสั่นสะเทือนเอง



รูปที่ 2.30 แสดงแบบจำลองทั่วไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ระยะการจัดนี้เป็นแบบรูปคลื่นไซน์ ซึ่งสามารถขับเคลื่อนพลังงานที่เหมาะสมในการสร้างกระแสไฟฟ้า

b คือ สัมประสิทธิ์การหน่วง

b_m คือ สัมประสิทธิ์ที่การหน่วงเชิงกล

b_e คือ สัมประสิทธิ์ที่การหน่วงทางไฟฟ้า

ดังนั้น สัมประสิทธิ์การหน่วง คือ

$$b = b_m + b_e y(t) \quad (2.89)$$

$y(t)$ คือ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของมวลเทียบกับเวลาซึ่งสามารถอธิบายในรูปแบบสมการอีกรูปหนึ่ง ดังนี้

$$y(t) = Y \sin \omega t \quad (2.90)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Y คือ ความกว้างของการสั่นสะเทือน
 ω คือ ความถี่เชิงมุมของการสั่นสะเทือน

พลังงานจากเครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์

สมมติว่าอินพุตเป็นแรงกระตุ้นแบบรูปคลื่นไซน์ $y(t) = \sin \omega t$ สามารถอธิบายในรูปแบบสมการ

$$Z(t) = \frac{m\omega^2 y}{k - m\omega^2 + j\omega b} \cdot \sin \omega t \quad (2.91)$$

หรือ

$$z(t) = \frac{\omega^2}{\sqrt{(\omega_r^2 - \omega^2)^2 + (\frac{b\omega}{m})^2}} \cdot Y \sin(\omega t + \phi) \quad (2.92)$$

กำหนด ϕ คือ ช่วงของมุม อธิบายโดย

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{b\omega}{k - \omega^2 m} \right) \quad (2.93)$$

กำลังเฉลี่ยกระจายไปภายในตัวกันสั่นสะเทือนนั้นคือผลรวมของกำลังโดยกลไกการถ่ายเทและพลังงานที่สูญเสียไปในการหน่วงเชิงกล อธิบายได้โดย

$$P = b \left(\frac{dz(t)}{dt} \right)^2 \quad (2.94)$$

จากสมการ 2.93 และ 2.94 การกระจายของกำลังเฉลี่ย อธิบายได้โดย

$$P(\omega) = \frac{m\zeta_T Y^2 \left(\frac{\omega}{\omega_r}\right)^3 \omega^3}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_r}\right)^2\right]^2 + (2\zeta_T \frac{\omega}{\omega_r})^2} \quad (2.95)$$

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับการถ่ายเทพลังงานจากการสั่นสะเทือน $\omega = \omega_r$ กำลังงานที่กระจายสูงสุดอธิบายได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{mY^2\omega_r^3}{4\zeta_T} \quad (2.96)$$

หรือ

$$P = \frac{mY^2\omega_r^3}{4(\zeta_m + \zeta_e)} \quad (2.97)$$

เมื่อความเร่งสูงสุด $a = Y\omega^2$ สามารถเขียนในรูปสมการ

$$P_e = \frac{ma^2}{16\omega_r\zeta_m} \quad (2.98)$$

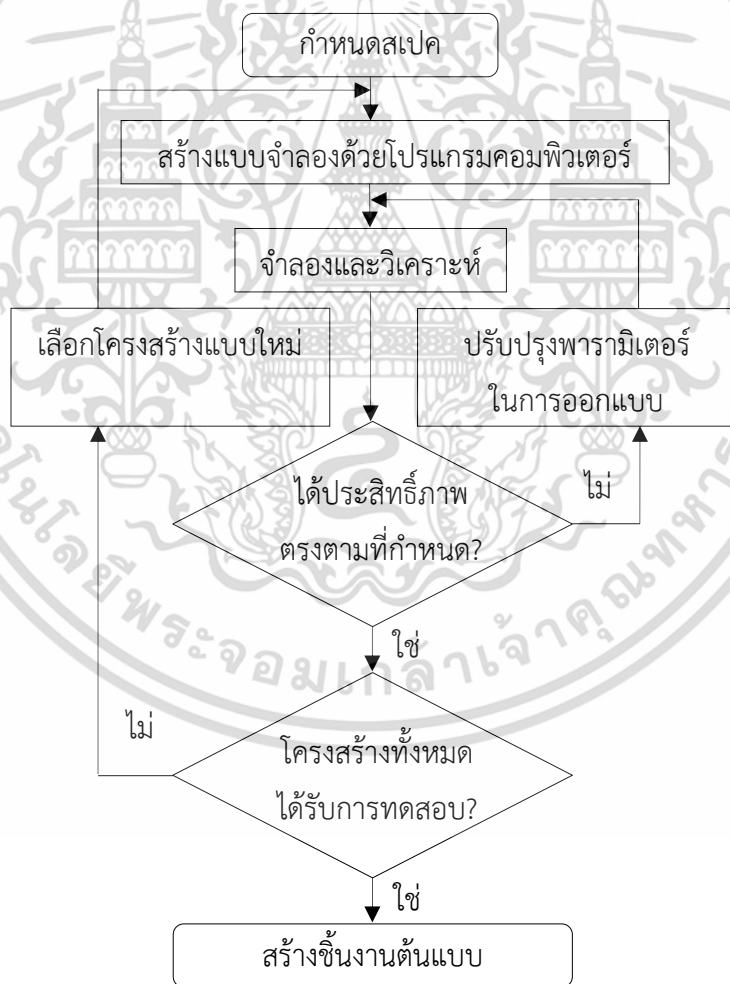


บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การสร้างแบบจำลอง

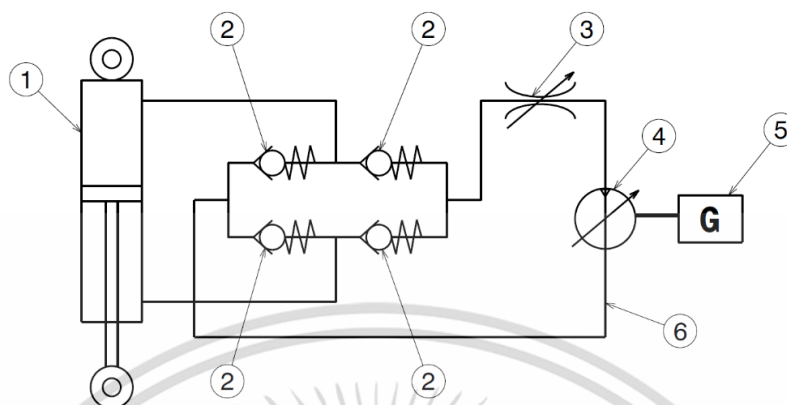
ในปัจจุบันมีความพยายามในการวิจัยที่สำคัญและต่อเนื่องทั่วโลกเพื่อสนับสนุนกระบวนการเก็บเกี่ยวพลังงานและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานภายในตัวเอง ส่วนใหญ่งานวิจัยเรื่องการเก็บเกี่ยวพลังงานส่วนใหญ่จะเป็นการนำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวเก็บเกี่ยวพลังงาน ทั้งด้านวัสดุ, อุปกรณ์ และปริมาณพลังงานที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ โดยการกำหนดแผนภูมิในการพัฒนาระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจะทำให้ง่ายต่อการกำหนดขอบเขตของการพัฒนา อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด



แผนภูมิที่ 3.1 การพัฒนาระบบเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงาน



รูปที่ 3.1 รูปแบบไดอะแกรมแนวคิดการออกแบบระบบไฮดรอลิกเกี่ยวกับพลังงาน

3.2.1 ไฮดรอลิก

ไฮดรอลิกปกติจะอาศัยหลักการทำงานด้วยระบบน้ำมันไฮดรอลิกที่บรรจุไว้ในกระบอกไฮดรอลิกและอาศัยแรงดันของลูกสูบอัดให้น้ำมันไฮดรอลิกไหลผ่านรูเล็ก ๆ ทำหน้าที่ควบคุมการสันสะเทือนเมื่อรถเคลื่อนที่บนถนนที่มีความขรุขระ แต่ในไฮดรอลิกที่ออกแบบขึ้นมาใหม่นี้จะปิดรูเล็กๆ เหล่านั้น เพื่อให้ให้น้ำมันไหลผ่านระบบภายนอกและใช้พลังงานแรงดันน้ำมันไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแทน

ต้นแบบไฮดรอลิกที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ในที่นี่เป็นกระบอกสูบแบบกลม (Welded Cylinder) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ขนาด 60 มิลลิเมตร ความยาวช่วงชัก (Stroke) 140 มิลลิเมตร ลักษณะการเคลื่อนที่แบบสองทาง (Double acting cylinder) ทำงานโดยรับน้ำมันจากกระบอกสูบได้ทั้งด้านหัวและด้านก้านสูบ โดยจะแบ่งการทำงานเป็น 2 ลักษณะคือ ลูกสูบเคลื่อนที่ออกเมื่อไฮดรอลิกปิดตัวโดยให้น้ำมันเข้าทางด้านหัวลูกสูบและให้น้ำมันออกทางด้านก้านสูบและลูกสูบเคลื่อนที่เข้าเมื่อไฮดรอลิกเปิดตัวเข้ามา โดยให้น้ำมันเข้าทางด้านก้านสูบและให้น้ำมันออกทางด้านหัวลูกสูบ



รูปที่ 3.2 รูปสัญลักษณ์กระบอกสูบสองทาง

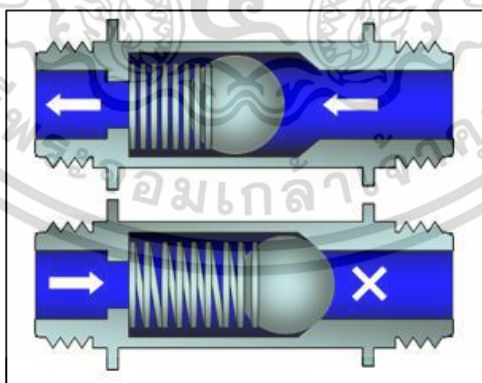
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ต้นแบบใช้คอปที่ออกแบบขึ้นมาใหม่

3.2.2 ชุดวาล์วควบคุมทิศทางการไหล

วาล์วไฮดรอลิกกันกลับหรือเช็ควาล์ว (Non-Return valve หรือ Check valve) เป็นวาล์วที่ทำหน้าที่บังคับให้การไหลของน้ำมันเป็นไปในทิศทางเดียว ไม่ให้เกิดการไหลย้อนกลับเพื่อป้องกันปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับระบบได้ โดยวาล์วกันกลับหรือเช็ควาล์วจะทำงานโดยความดันจากทางเข้าดันให้ตัวลิ้นยกขึ้น เมื่อความดันที่ทางเข้าลดลงวาล์วจะปิด ทำให้น้ำมันไม่สามารถไหลย้อนกลับได้



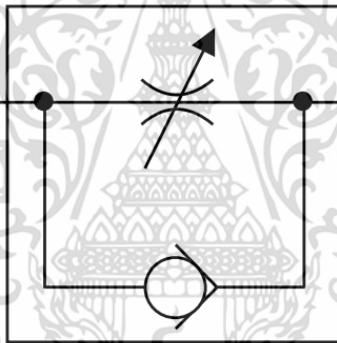
รูปที่ 3.4 รูปสัญลักษณ์เช็ควาล์วชนิดลิ้นลูกบอล



รูปที่ 3.5 วาล์วไฮดรอลิกกันกลับหรือซีควาล์ว

3.2.3 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

ใช้ควบคุมความเร็วของลูกสูบโดยการปรับเปลี่ยนขนาดของช่องทางของวาล์วที่ให้น้ำมันไหลผ่าน เพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกให้มีแรงดันที่เหมาะสมกับระบบ ขนาด 3/8 นิ้ว มีอัตราการไหลสูงสุด 30 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 3.6 รูปสัญลักษณ์วาล์วควบคุมอัตราการไหล



รูปที่ 3.7 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 เกจวัดแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกส์

เกจวัดแรงดันติดตั้งในระบบเพื่อใช้ดูแรงดันภายใน เพื่อให้เราสามารถตั้งค่าแรงดันภายในให้ตรงตามความต้องการ



รูปที่ 3.8 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

3.2.5 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันของน้ำมันไฮดรอลิกส์ไปเป็นการหมุน กำลังสูงสุดที่ 50 นิวตัน-เมตร ที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที ความดันคงที่ 180 บาร์



รูปที่ 3.9 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นกำลังไฟฟ้า มีส่วนประกอบหลัก ๆ สองส่วนคือ สเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) ส่วนของสเตเตอร์คือส่วนที่มีชุดขดลวดเพื่อรับการเหนี่ยวนำจากเส้นแรงแม่เหล็กของโรเตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้า ส่วนของโรเตอร์จะมีแกนหมุนเพื่อเชื่อมต่อกับต้นกำลัง

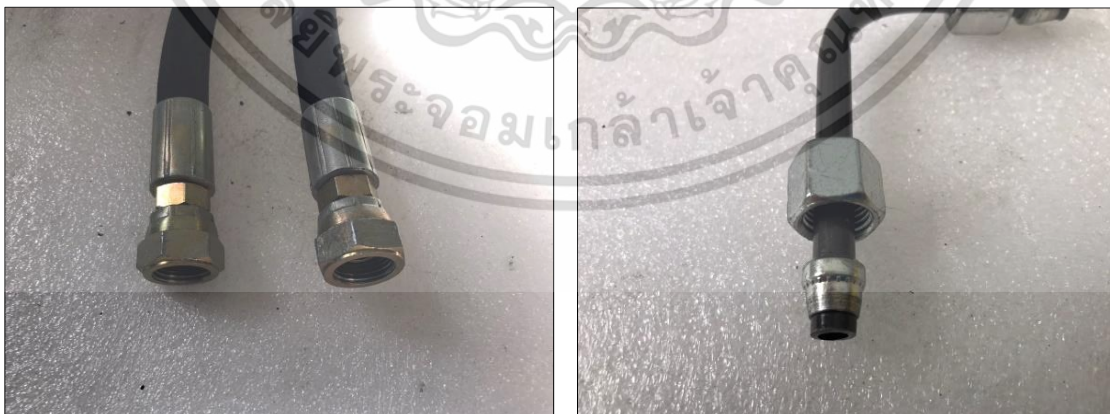
แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์: 5V-24V กระแสสูงสุดที่ 1500 มิลลิแอมป์



รูปที่ 3.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.2.7 ท่อไฮดรอลิกส์และข้อต่อ

ชุดสายไฮดรอลิกส์มีหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ และอุปกรณ์ที่อยู่กับที่เพื่อให้ น้ำมันไหลผ่านไปยังจุดที่ต้องการ การเลือกชุดสายไฮดรอลิกส์ควรเลือกให้เหมาะสมกับความดันที่ใช้ในระบบ ขนาดสายไฮดรอลิกส์ที่นำมาใช้มีขนาด 3/8 นิ้ว และข้อต่อสอปประเภท คือ ข้อต่อชั้นเร็วที่ใช้เชื่อมต่อระบบที่ใช้สาย และข้อต่อตาไก่ที่ใช้เชื่อมต่อระบบที่ใช้ท่อไฮดรอลิกส์ที่เป็นเหล็ก

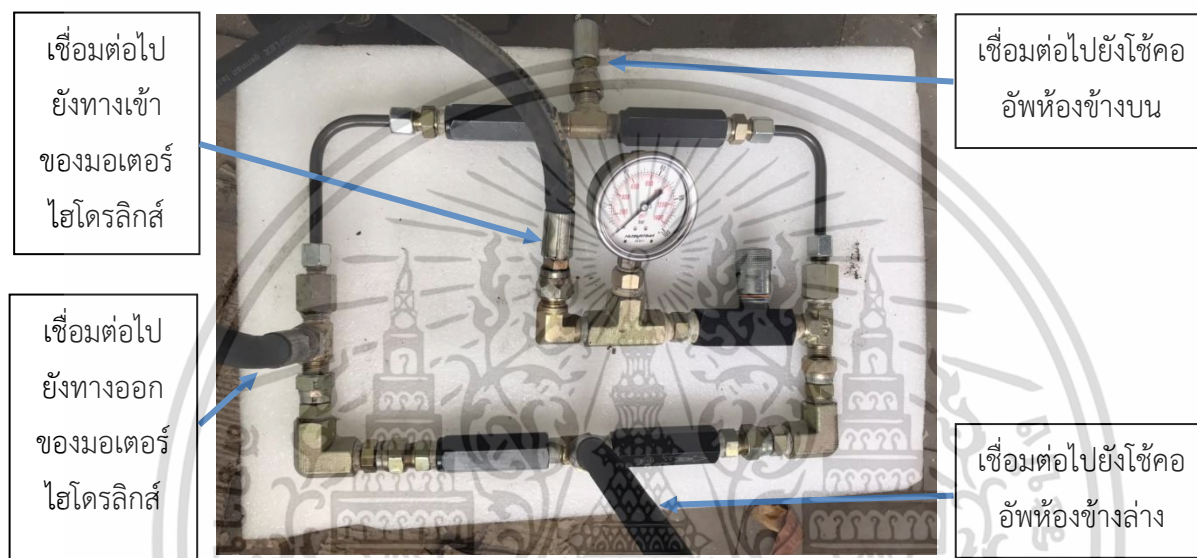


รูปที่ 3.11 ท่อและข้อต่อไฮดรอลิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเชื่อมต่อระบบเปลี่ยนทิศทางการไหล

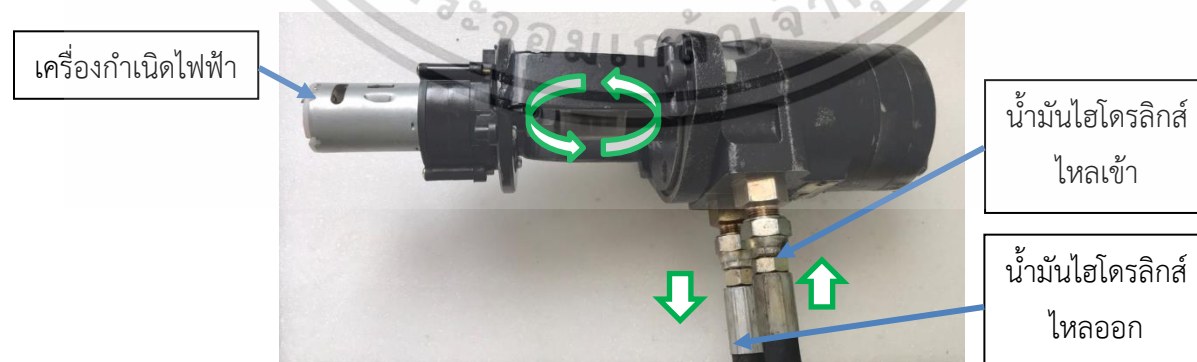
ใช้คอปกติกจะมีการเคลื่อนที่แบบขึ้นลง น้ำมันไฮดรอลิกส์ภายในก็จะเคลื่อนที่แบบขึ้นลงเช่นกัน แต่ใช้คอปที่สามารรถเก็บเก็บเกี่ยวพลังงานนั้น จำเป็นต้องเปลี่ยนทิศทางการไหลแบบขึ้นลงเป็นแบบการเคลื่อนที่แบบทางเดียว ซึ่งเราสามารถทำได้โดยการออกแบบชุดเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ระบบเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์

3.4 การเชื่อมต่อมอเตอร์ไฮดรอลิกส์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากชุดเปลี่ยนทิศทางการไหล น้ำมันไฮดรอลิกส์จะไหลเข้ามอเตอร์ไฮดรอลิกส์และขับเคลื่อนให้เกิดการหมุนของเพลลา จากนั้นจะนำเพลลาของมอเตอร์เชื่อมต่อกับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป

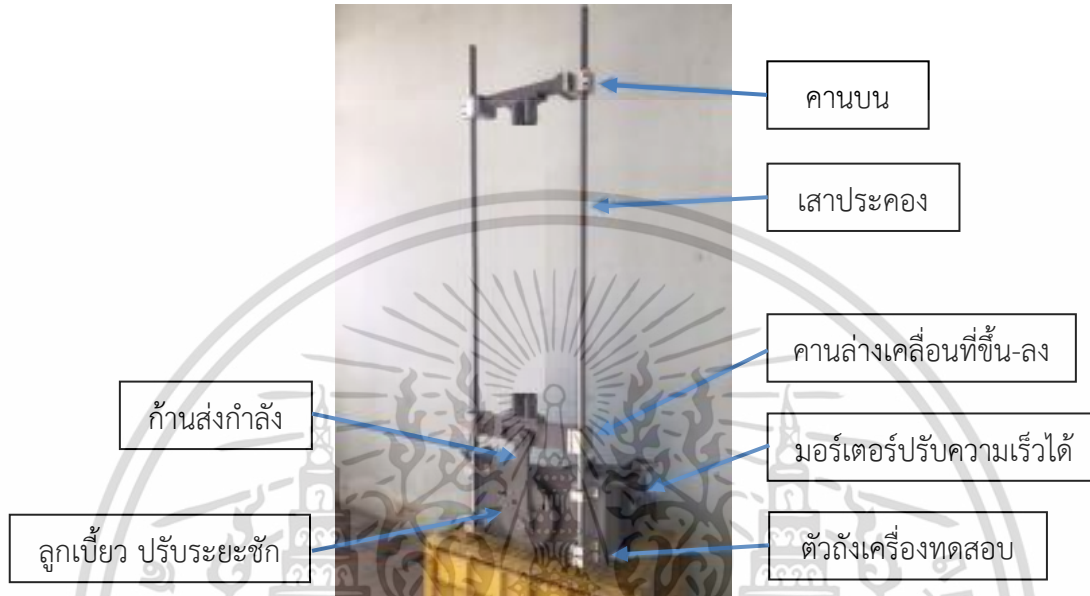


รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อมอเตอร์ไฮดรอลิกส์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบชุดทดสอบใช้คัพเก็บเกี่ยวพลังงาน

เพื่อทดสอบการเก็บเกี่ยวพลังงาน จำเป็นต้องมีชุดทดสอบเพื่อจำลองการทำงานของใช้คัพซึ่งสามารถปรับตัวแปรของสภาพถนนและความเร็วได้



รูปที่ 3.14 ชุดทดสอบใช้คัพเก็บเกี่ยวพลังงาน

3.5.1 ลูกเบี้ยวปรับระยะชัก

เป็นชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างเพลลาของมอเตอร์กับก้านส่งกำลังเพื่อจำลองระยะชักของใช้คัพ โดยลูกเบี้ยวนี้สามารถปรับตำแหน่งยึดก้านส่งกำลังได้ 5 ระดับ ตั้งแต่ 20-60 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.15 ลูกเบี้ยวปรับระยะชัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรงโดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น



รูปที่ 3.16 อินเวอร์เตอร์

3.5.3 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสเหนี่ยวนำ เป็นต้นกำลังของชุดทดสอบที่มีเพลาส่งผ่านกำลังไปยังลูกเบี้ยวและก้านส่งกำลังเพื่อไปกระทำต่อโซ่คัพให้เสมือนว่าโซ่คัพกำลังทำงานในความเร็วที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.17 อินเวอร์เตอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสเหนี่ยวนำ

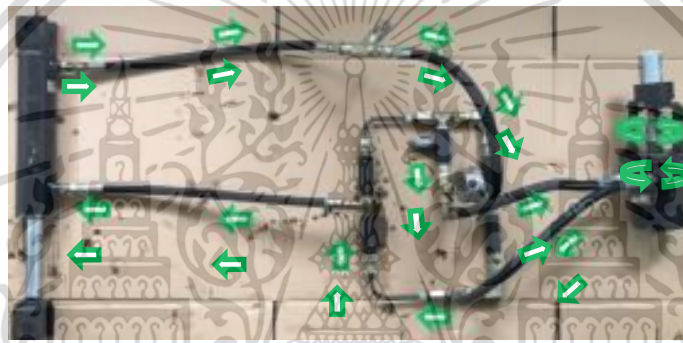
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

จากรายการอุปกรณ์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของต้นแบบใช้ค้อพเก็บเกี่ยวพลังงานจากบทที่แล้ว ในบทนี้จะนำเสนอรูปที่แบบหลักการทำงานของต้นแบบขึ้นนี้

เมื่อใช้ค้อพเกิดการยุบตัว น้ำมันไฮดรอลิกจะไหลออกจากห้องลูกสูบด้านบนแล้วไหลผ่านระบบเปลี่ยนทิศทางการไหลก่อนที่จะไหลต่อไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ หลังจากนั้นน้ำมันจะไหลออกจากมอเตอร์ไฮดรอลิกส์กลับไปยังชุดเปลี่ยนทิศทางการไหลอีกครั้ง ก่อนจะไหลเข้าห้องลูกสูบด้านล่างของใช้ค้อพ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์เมื่อใช้ค้อยุบตัว

และเมื่อใช้ค้อพเกิดการยืดตัว น้ำมันไฮดรอลิกส์จะไหลออกจากห้องลูกสูบด้านล่างและไหลกลับเข้าใช้ค้อพในห้องด้านบน ระบบจะทำงานสลับกันไปแบบนี้ตลอดเวลาที่ลูกสูบภายในใช้ค้อพเกิดการเคลื่อนที่

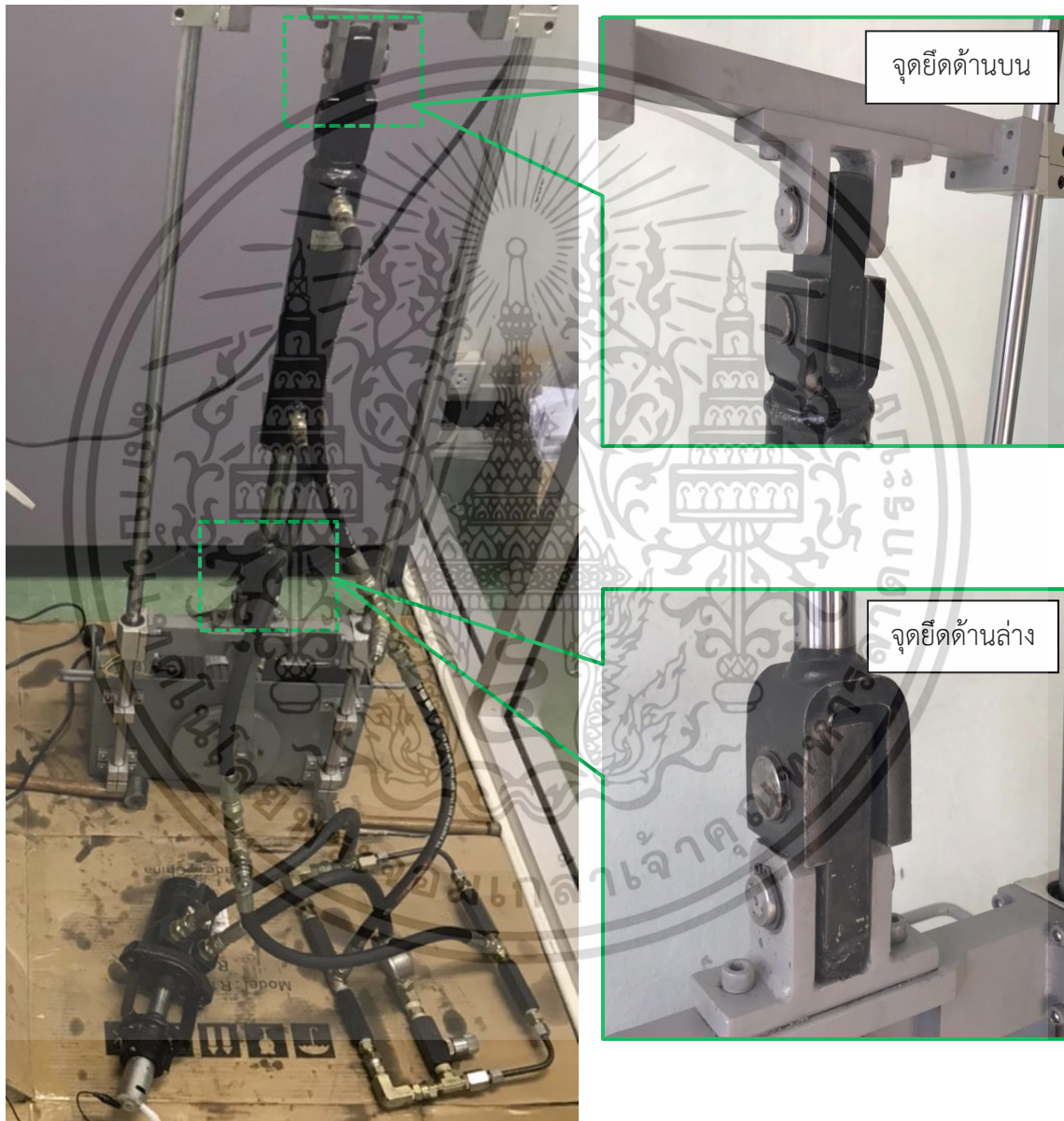
แต่เนื่องจากมีระบบเปลี่ยนทิศทางการไหลทำให้น้ำมันที่ไหลผ่านมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จะไหลเข้าและไหลออกเป็นทิศทางเดียว เหตุนี้จึงทำให้มอเตอร์ไฮดรอลิกส์หมุนไปทิศทางเดียวตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์เมื่อใช้ค้อยืดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการทำงานดังกล่าว ต้นแบบโซ่คัพเก็บเกี่ยวพลังงานจะถูกนำไปทดสอบด้วยชุดทดสอบเพื่อจำลองสภาพถนนและความเร็วในการขับเคลื่อน โดยใช้หุ่นยนต์บนและล่างของโซ่คัพยึดเข้ากับเครื่องทดสอบ จากนั้นปรับระยะคานบนของเครื่องทดสอบให้มีความสูงที่เหมาะสม โดยการปรับให้โซ่คัพยึดออกมาครั้งหนึ่ง เพื่อที่จะทดสอบการทำงานของโซ่คัพที่มีระยะยุบตัวและยืดตัวสูงสุดได้ การติดตั้งโซ่คัพเก็บเกี่ยวพลังงานเข้ากับชุดทดสอบจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การติดตั้งต้นแบบโซ่คัพเก็บเกี่ยวพลังงานเข้ากับชุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

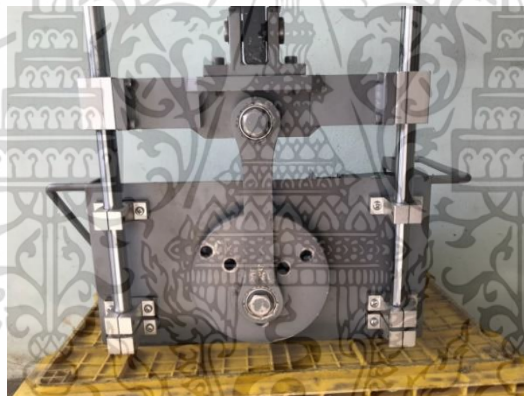
วิธีการทดสอบ

การทดสอบใช้คัทอัปเก็บเกี่ยวพลังงานจะแบ่งออกเป็นสามส่วนเพื่อความแบ่งประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวพลังงานออกเป็นส่วนๆ เพื่องานต่อการวิเคราะห์

1. ทดสอบหาค่าความเร็วของการหมุนของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ เมื่อกำหนดระยะชักที่ 20 มิลลิเมตร และปรับความเร็วของเครื่องทดสอบที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบถึงความเร็วของการยุบและยืด ส่งผลต่อความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์อย่างไร

วิธีการทดสอบ

1. ปรับตั้งเครื่องทดสอบโดยยึดก้านส่งกำลังเข้ากับลูกเบี้ยวที่ตำแหน่ง 20 มิลลิเมตร
2. กำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวให้แตกต่างกัน 5 ระดับ
3. วัดความเร็วการหมุนของแกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์
4. บันทึกผลการทดสอบหาค่าความเร็วลูกเบี้ยวที่ทำให้แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์หมุนได้เร็วที่สุด
5. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้จากการหมุนของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์



รูปที่ 4.4 ยึดก้านส่งกำลังเข้ากับลูกเบี้ยวที่ตำแหน่ง 20 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 กำหนดความเร็วของลูกเบี้ยว 5 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 วัดความเร็วที่แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดสอบหาค่าความเร็วลูกเบี้ยวที่ทำให้แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ ที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็วของลูกเบี้ยว รอบ/นาที (ที่ระยะชัก 20 มิลลิเมตร)	ความเร็วที่แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (รอบ/นาที)					ความเร็วเฉลี่ย (รอบ/นาที)
	นาฬิกาที่บันทึก					
	2	4	6	8	10	
70	10	11	12	10	11	10.8
80	12	13	14	13	13	13.0
90	18	17	16	17	16	16.8
100	21	19	20	20	19	19.8
110	26	27	28	27	28	27.2

คำนวณหาค่าพลังงานจากการหมุนของแกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ ที่ทอร์ค 50 นิวตัน-เมตร จากสมการ

$$P_m = 2\pi \frac{S}{60} T_a \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณ

ความเร็วเฉลี่ยที่แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ S (รอบต่อนาที)	10.8	13.0	16.8	19.8	27.2
ค่าจากการคำนวณหาค่ากำลังทางกลที่เกิดขึ้น P _m (วัตต์)	56.5	68.0	44.0	87.9	142.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่า ความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที่นั้น ทำให้แกนของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์หมุนสูงสุดที่ ความเร็วเฉลี่ย 27.2 รอบ/นาที่ และเมื่อนำมาคำนวณตามสมการที่ 4.1 จะได้ค่ากำลังทางกลที่ 142.4 วัตต์

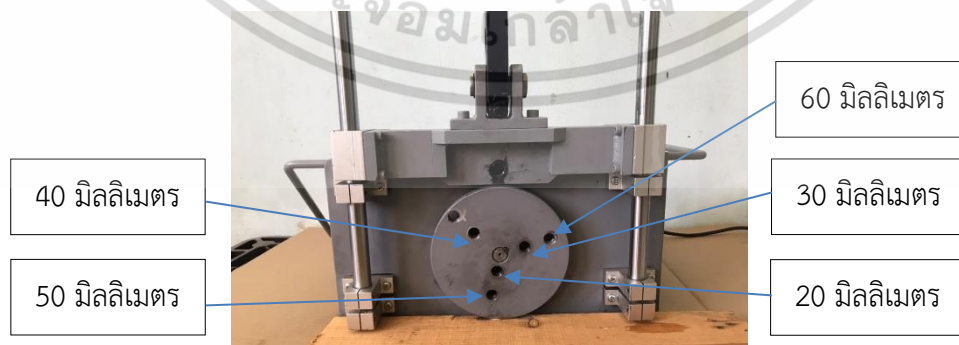
2. ทดสอบหาค่าการยุบและยืดของโซ่คัพ เมื่อกำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที่ และปรับตำแหน่งยึดก้านส่งกำลังกับลูกเบี้ยวที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบวาระยะการยุบและยืด ส่งผลต่อความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์อย่างไร

วิธีการทดสอบ

1. กำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที่
2. ปรับยึดการส่งกำลังเข้ากับลูกเบี้ยว 5 ตำแหน่ง
3. วัดความเร็วการหมุนของแกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์
4. บันทึกผลการทดสอบหาค่าความเร็วลูกเบี้ยวที่ทำให้แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์หมุนได้เร็วที่สุด
5. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้จากการหมุนของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์



รูปที่ 4.7 กำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที่



รูปที่ 4.8 ยึดก้านส่งกำลังเข้ากับลูกเบี้ยวที่ตำแหน่งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 วัดความเร็วที่แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดสอบหาค่าความเร็วลูกเบี้ยวที่ทำให้แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ที่ระยะชักต่าง ๆ

ระยะชัก (มิลลิเมตร) ที่ความเร็วของลูกเบี้ยว 110 รอบ/นาที	ความเร็วที่แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (รอบ/นาที)					ความเร็วเฉลี่ย (รอบ/นาที)
	นาทีที่บันทึก					
	2	4	6	8	10	
20	25	27	26	26	27	26.2
30	22	23	25	23	21	22.8
40	19	20	20	19	20	19.6
50	3	4	3	2	3	3
60	0	0	0	0	0	0

คำนวณหาค่าพลังงานจากการหมุนของแกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ ที่ทอร์ค 50 นิวตัน-เมตร จากสมการ

$$P_m = 2\pi \frac{s}{60} T_a \quad (4.2)$$

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณ

ความเร็วเฉลี่ยที่แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ S (รอบต่อนาที)	26.2	22.8	19.6	3	0
ค่าจากการคำนวณหาค่ากำลังทางกลที่เกิดขึ้น Pm (วัตต์)	137.2	119.4	102.6	15.7	0

สรุปได้ว่า ระยะชักที่ 20 มิลลิเมตร นั้นทำให้แกนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์หมุนสูงสุดที่ความเร็วเฉลี่ย 26.2 รอบ/นาที และเมื่อนำมาคำนวณตามสมการที่ 4.2 จะได้ค่ากำลังทางกลที่ 137.2 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดสอบหาค่าความต้านทานคงที่ เมื่อกำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที และระยะ 20 มิลลิเมตร เพื่อให้ทราบว่าค่าความต้านทานมีผลอย่างไรกับการกำเนิดพลังงานของใช้คัพตันแบบ

วิธีการทดสอบ

1. กำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที
2. ปรับยึดการส่งกำลังเข้ากับลูกเบี้ยวที่ 20 มิลลิเมตร
3. เปลี่ยนค่าความต้านทานคงที่ 5 ระดับ
4. วัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
5. บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
6. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในค่าความต้านทานคงที่ระดับต่าง ๆ

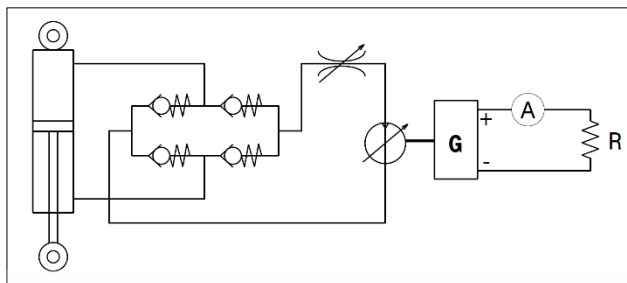


รูปที่ 4.10 กำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที

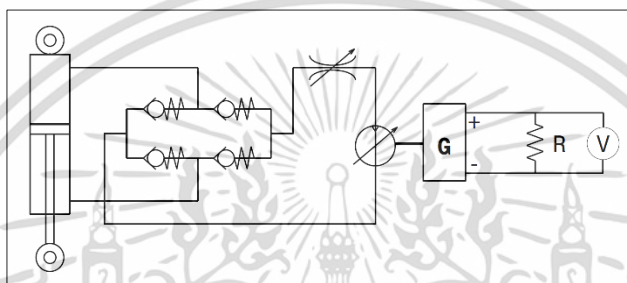


รูปที่ 4.11 ยึดก้านส่งกำลังเข้ากับลูกเบี้ยวที่ตำแหน่ง 20 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 วงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้า A จากต้นแบบใช้ค้อพเก็บเกี่ยวพลังงาน



รูปที่ 4.13 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า V จากต้นแบบใช้ค้อพเก็บเกี่ยวพลังงาน

ตารางที่ 4.5 การทดสอบเปลี่ยนค่าความต้านทานคงที่ โดยการกำหนดความเร็วรอบ 110 และระยะชัก 20

ค่าความ ต้านทาน โอห์ม	นาที่ ที่บันทึก										ค่าเฉลี่ย	
	2		4		6		8		10			
	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A
1	7.1	0.5	7.0	0.7	8.0	0.5	8.2	0.4	6.8	0.4	7.4	0.5
2	6.9	0.4	6.8	0.5	8.7	0.4	6.8	0.5	6.7	0.5	7.2	0.5
3	7.2	0.5	7.5	0.7	6.7	0.6	8.1	0.4	8.5	0.4	7.6	0.5
4	7.0	0.4	7.0	0.5	7.1	0.5	6.9	0.7	7.8	0.7	7.2	0.6
5	6.8	0.4	7.2	0.6	7.9	0.5	7.1	0.6	7.1	0.6	7.2	0.5

คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจากกระแสและแรงดันได้จากสมการ

$$P = VI \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณ

ค่าความต้านทานคงที่ (โอห์ม)	1	2	3	4	5
ค่าจากการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์)	3.7	3.3	3.9	4.0	3.9

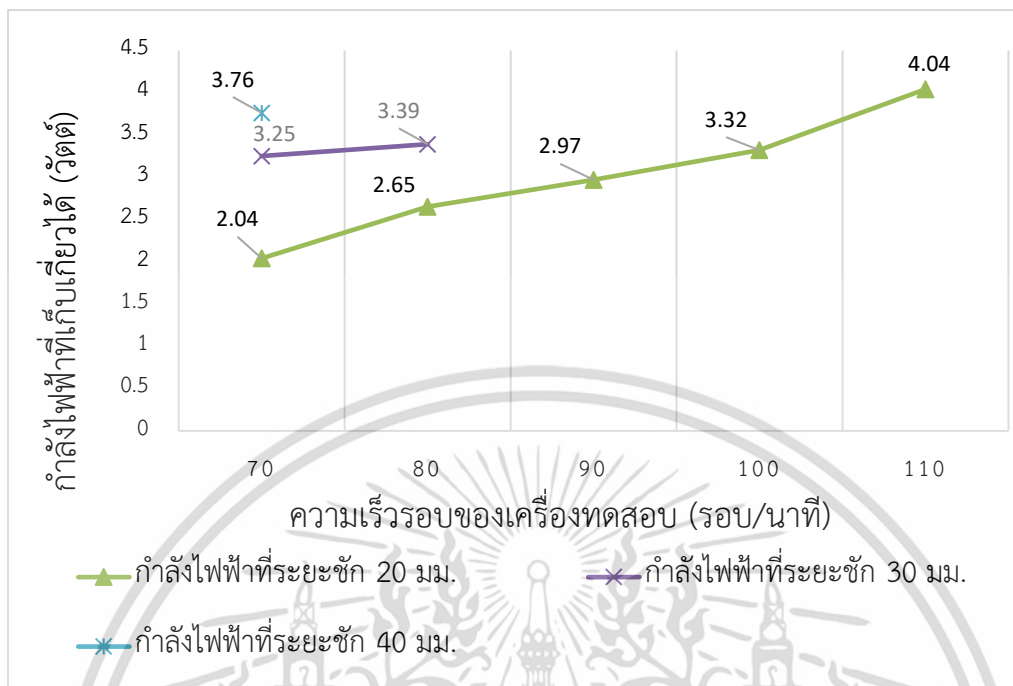
สรุปได้ว่า ค่าความต้านทานคงที่และคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าได้สูงสุดคือ 4 โอห์มซึ่งสามารถวัดกำลังไฟฟ้าได้ 4.0 วัตต์

การทดสอบโดยชุดทดสอบใช้มอเตอร์กระแสเหนี่ยวนำขนาด 1/4 แรงม้า ในเบื้องต้นใช้คอล์ยสามารถเก็บเกี่ยวกำลังไฟฟ้าสูงสุด 4.0 วัตต์ ที่ระยะขึ้นลงของใช้คอล์ย 20 มิลลิเมตร โดยมีความเร็วรอบ 110 รอบ/นาที

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการเก็บเกี่ยวกำลังไฟฟ้าด้วยชุดทดสอบ หมายเหตุ* วัดค่าไม่ได้เนื่องจากใช้คอล์ยไม่ทำงาน

ระยะชัก (มม.)	ความเร็ว (รอบ/นาที)	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลัง ไฟฟ้า (W)
20	70	5.28	0.387	2.0
	80	6.05	0.438	2.7
	90	6.18	0.482	3.0
	100	6.59	0.504	3.3
	110	7.17	0.564	4.0
30	70	6.21	0.524	3.3
	80	6.32	0.537	3.4
	90	*	*	*
	100	*	*	*
	110	*	*	*
40	70	6.32	0.596	3.8
	80	*	*	*
	90	*	*	*
	100	*	*	*
	110	*	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบหรืออัตราการสิ้นเปลืองกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อปรับความเร็วรอบให้สูงขึ้น ซึ่งหมายถึงพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้โดยใช้คัทได้มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการขับเคลื่อน

เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพรวมของระบบใช้คัทเก็บเกี่ยวพลังงานและชุดทดสอบ พบว่า ชุดทดสอบใช้พลังงานสูงสุดที่ 176 วัตต์ และ วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เก็บเกี่ยวได้สูงสุด 4.0 วัตต์ จะได้ประสิทธิภาพรวมเท่ากับ 2.3 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการออกแบบและสร้างแบบจำลองใช้คอมพิวเตอร์ที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนเป็นกำลังไฟฟ้านั้น ได้อาศัยชุดทดสอบในการปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำงานของโซลิดอ็อป ดังนี้ ความถี่เป็นความสัมพันธ์ของความเร็วรถ และระยะชักเป็นความสัมพันธ์สูง-ต่ำของระดับถนน พบว่าสภาพถนนที่มีความสูง-ต่ำ และความเร็วของรถมีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ได้ โดยการทดสอบตามสมมติฐาน ดังนี้

5.1 ทดสอบหาค่าความเร็วของการหมุนของมอเตอร์ไฮโดรลิกส์ เมื่อกำหนดระยะชักที่ 20 มิลลิเมตร และปรับความเร็วของเครื่องทดสอบที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบว่าความเร็วของการยุบและยืด ส่งผลต่อความเร็วของมอเตอร์ไฮโดรลิกส์อย่างไร

สรุปได้ว่า ความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาทีนั้น ทำให้แกนของมอเตอร์ไฮโดรลิกส์หมุนสูงสุดที่ความเร็วเฉลี่ย 27.2 รอบ/นาที และเมื่อนำมาคำนวณตามสมการที่ 4.1 จะได้ค่ากำลังทางกลที่ 142.4 วัตต์

5.2 ทดสอบหาค่าการยุบและยืดของโซลิดอ็อป เมื่อกำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที และปรับตำแหน่งยึดก้านส่งกำลังกับลูกเบี้ยวที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบว่าระยะการยุบและยืด ส่งผลต่อความเร็วของมอเตอร์ไฮโดรลิกส์อย่างไร

สรุปได้ว่า ระยะชักที่ 20 มิลลิเมตร นั้นทำให้แกนของมอเตอร์ไฮโดรลิกส์หมุนสูงสุดที่ความเร็วเฉลี่ย 26.2 รอบต่อนาที และเมื่อนำมาคำนวณตามสมการที่ 4.2 จะได้ค่ากำลังทางกลที่ 137.2 วัตต์

5.3 ทดสอบหาค่าความต้านทานคงที่ เมื่อกำหนดความเร็วของลูกเบี้ยวที่ 110 รอบ/นาที และระยะ 20 มิลลิเมตร เพื่อให้ทราบว่าค่าความต้านทานมีผลอย่างไรกับการกำเนิดพลังงานของโซลิดอ็อปต้นแบบ

สรุปได้ว่า ค่าความต้านทานคงที่และคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าได้สูงสุดคือ 4 โอห์มซึ่งสามารถวัดกำลังไฟฟ้าได้ 4.0 วัตต์

และยังพบว่าอัตราการไหลของน้ำมันไฮโดรลิกส์มีผลทำให้โซลิดอ็อปมีความแข็งแรงจนไม่สามารถทำงานได้ ฉะนั้นการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการใช้งานด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบต้นแบบโซลิดอ็อปเก็บเกี่ยวพลังงานชุดนี้ พบว่าพลังงานที่เกิดขึ้นที่เพลลาของมอเตอร์ไฮโดรลิกส์ มีค่ามากกว่าพลังงานที่วัดได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากทอร์คของมอเตอร์ไฮโดรลิกส์ไม่สามารถถ่ายทอดเป็นกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชิ้นนี้ได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงแนะนำผู้ที่สนใจพัฒนาต่อให้เลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการทดเฟืองเพื่อถ่ายทอดพลังงานได้สมบูรณ์ขึ้น

กำลังไฟฟ้าที่เก็บเกี่ยวได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายทั้งทางการทหารและการพาณิชย์ การเดินทางไปในพื้นที่รกร้างนั้น หากนำแหล่งพลังงานไปด้วยจำนวนมากทำให้ไม่สะดวก ทางเลือกหนึ่งในการลดภาระตรงนี้คือการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสภาพพื้นผิวถนนที่เดินทางผ่าน การติดตั้งโซลาร์เซลล์เก็บเกี่ยวพลังงานเข้ากับยานพาหนะ จึงเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในภารกิจ ยกตัวอย่างเช่น ใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อใช้สำหรับชาวต้ออุปกรณ์วิทยุสื่อสาร ไฟฉาย กล้อง ที่ใช้ในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ รวมไปถึงเป็นแหล่งพลังงานใหม่ที่ใช้ในรถยนต์ไฮบริดนอกเหนือจากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแบตเตอรี่และโซลาร์เซลล์ที่ได้รับความนิยมอยู่ในขณะนี้

นอกจากนั้นโซลาร์ต้นแบบที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาไม่เพียงแต่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าได้เก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าได้เท่านั้น แต่หากยังสามารถพัฒนาต่อยอดไปเป็นโซลาร์แบบควบคุมการหน่วงอัตโนมัติ (Active suspension system) ได้อีกด้วย โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกไปควบคุมประมาณการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ภายในทำให้โซลาร์สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความหน่วงให้เหมาะสมกับสภาพถนนรูปแบบต่างๆได้ เพื่อให้การขับขี่เป็นไปอย่างราบเรียบและนุ่มนวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chatchai Putson. 2012. "Harvesting on Ambient Mechanical Energy with Smart Polymers." Burapha science journal. Vol.17 : 182-188.
- [2] Singiresu S. Rao. 2011. "Mechanical Vibrations." Prentice Hall. Fifth Edition : 158-174.
- [3] John C. Dixon, Ph.D, F.I.Mech.E., F.R.Ae.S. 2007. "The Shock Absorber Handbook." John Wiley & Sons Ltd, Second Edition : 259-263.
- [4] L. Zuo and P. Zhang. 2013. "Energy Harvesting Ride Comfort and Road Handling of Regenerative Vehicle Suspensions." Journal of Vibration and Acoustics.Vol.135:1-8.
- [5] Mohamed A. A. Abdelkareem, Lin Xu, Mohamed Kamal Ahmed Ali, Ahmed Elagouz, Jia Mi, Sijing Guo, Yilun Liu, Lei Zuo. 2018. "Vibration Energy Harvesting in Automotive Suspension System." Applied Energy 229 : 672-699.
- [6] Peng Zheng, Ruichen Wang, Jingwei Gao, Xiang Zhang. 2019. "Parameter Optimisation of Power Regeneration on the Hydraulic Electric Regenerative Shock Absorber System." Hindawi Shock and Vibration. Volume 2019 : Article ID 5727849.
- [7] Bo Huang, 2016. "An Energy-Regenerative Vehicle Suspension System –Development, Optimization, and Improvement." Doctor of Philosophy in the School of Mechatronic Systems Engineering Faculty of Applied Sciences Simon Fraser University.
- [8] Xu Lin, Guo Xuexun. 2010. "Hydraulic Transmission Electromagnetic Energyregenerative Active Suspension and Its Working Principle." 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications. 2010 : 1-4.
- [9] Zhongjie Li, Lei Zuo, Jian Kuang, George Luhrs. 2012. "Energy- harvesting shock absorber with a mechanical motion rectifier." Smart Mater. Volume 22 : 025008.
- [10] Tom J. Kázmierski, Steve Beeby. 2011. Energy Harvesting Systems. New York USA : Springer Science+Business Media.
- [11] Alireza Khaligh, Omar G. Onar. 2010. ENERGY HARVESTING. New York USA : Taylor and Francis Group.
- [12] Allan G. Piersol, Thomas L. Paez. 2010. HARRIS' SHOCK AND VIBRATION HANDBOOK. Sixth Edition. New York USA : McGraw-Hill Companies.

- [13] Shashank Priya, Daniel J. Inman. 2009. Energy Harvesting Technologies. New York USA : Springer Science+Business Media.
- [14] Peter Spies, Loreto Mateu, Markus Pollak. 2015. Handbook of Energy Harvesting Power Supplies and Applications. Temasek Boulevard, Singapore : Pan Stanford Publishing Pte. Ltd.
- [15] ภาณุ ไทยนิรมิตร. 2556. “การพัฒนาการเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยวิธีการทางไพโซอิเล็กทริก.” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [16] ชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล. 2015. “การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสความเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กถาวรจากมอเตอร์เหลือทิ้ง.” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. Vol.25 : 361-370.
- [17] พรชัย จงจิตรไพศาล. 2547. “กลศาสตร์การสั่นสะเทือน.” กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [18] ชัด อินทะสี. 2561. “เครื่องกลไฟฟ้า1.” กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [19] ประสานพงษ์ หาเรือนชัย. 2557. “งานเครื่องล่างรถยนต์.” กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [20] เดชฤทธิ์ มณีธรรม, พรพจน์ แพศิริ. 2559. “คัมภีร์การใช้งาน ระบบไฮดรอลิกส์.” กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายไกรสร ตลิ่งจิตร
วัน เดือน ปีเกิด	14 กุมภาพันธ์ 2526 ที่นครศรีธรรมราช
ที่อยู่	7/124 แขวงประเวศ เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250 โทร.089-097-6409
ประวัติการศึกษา	2543 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช 2546 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง มหาวิทยาลัยสุวรรณภูมิ วิทยาเขตนนทบุรี 2554 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ประวัติการทำงาน	2551-2554 ช่างเทคนิค ซ่อมบำรุงสะพานเทียบเครื่องบิน บริษัท ที เอส ซีพพลาย 2555-ปัจจุบัน วิศวกร ออกแบบชิ้นส่วนรถยนต์ บริษัท เอ็ม เทค ออดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้