



ปีการศึกษา 2533

การศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของแบริ่งจอร์นอลเบอร์รี่ริง

EXPERIMENTAL STUDIES ON DYNAMIC BEHAVIOR OF JOURNAL BEARINGS.

จัดการโดย

นาย สุภาพ รุ่งสาย น. อุษงษา 30.1306

น.ต. เอมวดี กุศลวงษ์ 30.1372

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

028812

ว.ศ.ศ. 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2533

ภาควิชา เครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของเครื่องอัดเบร็ริง

ผู้ศึกษา:

1. นาย สัทพล ชุ่มซ้าย น อยุธา 30.1306
2. น.ส. เอมวดี กุดตะดิมย์ 30.1372

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก-ข
บทนำ	1
บทที่ 1 ทฤษฎีของไฮโดรไดนามิคเจอร์เนล	2
บทที่ 2 การออกแบบและการสร้าง	16
บทที่ 3 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	26
บทที่ 4 สรุปผลและวิจารณ์	116
ภาคผนวก	117
หนังสืออ้างอิง	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของ เจอร์นอลแบร์ริง

สหพล ชุ่มสาย ฅ.อยุธยา 30.1306

เอมาจี กุลละวณิชย์ 30.1372

ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

ปีการศึกษา 2533

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของ เจอร์นอลแบร์ริง (Journal Bearing) ซึ่งการศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ทั้งหมด มีดังต่อไปนี้

1. ศึกษาความหนาของฟิล์มที่น้อยที่สุด (minimum film thickness)
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภาระ-ความเร็วรอบกับความหนาของฟิล์ม
3. ศึกษาเส้นทาง เดินของแบร์ริง
4. หาประสิทธิภาพของตัวแบร์ริงที่ทำการสร้างขึ้นว่าจะมีประสิทธิภาพเพียงใด

โดยอาศัยหลักการของ ไฮโดรไดนามิก เจอร์นอลแบร์ริง (Hydrodynamic Journal Bearing) และนำอุปกรณ์หลายอย่างมาช่วยในการหาข้อมูล เช่น X-Y พลอตเตอร์ ใช้อันทีกเส้นทางการเดินของแบร์ริง และลักษณะการโคจร เราใช้ แกปเซนเซอร์ (gap sensor) ในการหาความหนาของฟิล์มน้ำมันที่น้อยที่สุด จากนั้นจะนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการรับภาระของแบร์ริง

การทดลองนี้ไม่ได้คำนึงถึงการรั่วไหลด้านข้าง เนื่องจากคำนวณค่าที่แน่นอนไม่ได้ ไม่ได้คิดความเสียดทานหรือความหยาบของพื้นผิว ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองทำให้ทราบว่าอัตราการใช้ของน้ำมันขาเข้าไม่พอที่อัตราความเร็วรอบสูงๆ หรือที่ภาระมากๆ ทำให้ความดันน้ำมันที่จะยกแบร์ริงให้ลอยขึ้นไม่พอ จึงทำให้เกิดการเสียดสี และการจัดตำแหน่ง (alignment) ยังไม่แม่นยำเพียงพอ ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้ความสามารถในการรับภาระลดลงได้

EXPERIMENTAL STUDIES ON DYNAMIC BEHAVIOR OF JOURNAL BEARING

Mr. Sahapon Choomsai 301.306

Miss. Emwajee Kullavanijaya 301.372

Advisor :

Dr. Mongkol Mongkolwongroj

Year 1990

ABSTRACT

This project deal with the investigation of the dynamic behavior of Journal bearings on oil film thickness , whirl trajectory , load capacity and bearing efficiency.

The experiment on journal bearings is to set up for measuring the oil film thickness by using two gap sensors measured in X and Y direction.

The experimental results are compared with the results from calculated theoretically. The results show that the oil flow into the clearance space of the bearing insufficiently at high load and high speed conditions which cause instability or metal to metal contact.

การศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของเจอร์นอลแบร์ริง (EXPERIMENTAL STUDIES ON HYDRODYNAMIC BEHAVIOR OF JOURNAL BEARINGS) จะทำการศึกษาความหนาของฟิล์มน้ำมันซึ่งมีผลกับความสามารถในการรับภาระและเปรียบเทียบ ค่าทางทฤษฎีกับค่าทางปฏิบัติ

สมการ การเคลื่อนที่ของเพลลา (Journal Motion) สามารถหาได้จาก

$$m\ddot{x} + C_{11}\dot{x} + K_{11}x + C_{12}\dot{y} + K_{12}y = 0$$

$$m\ddot{y} + C_{21}\dot{y} + K_{21}y + C_{22}\dot{x} + K_{22}x = 0$$

โดยคำนึงถึง แรงปฏิกริยาภายในที่เกิดจากมวลเพลลา และ แรงที่เกิดจากของไหลกระทำกับเพลลา และ แรงที่ได้จากการหมุนที่ไม่สมดุลย์ของเพลลารวมกับภาระที่ใส่เข้าไป

ในการหาค่าคงที่ของสมการการเคลื่อนที่ของเพลลาสามารถความสัมพันธ์ได้จาก ค่าชอมเมอร์เพล นิมเบอร์ เป็นตัวกำหนดช่วงของค่าคงที่ที่จะนำมาใช้ในสมการการเคลื่อนที่ และ นำไปใช้ในการหาค่า ความหนาของฟิล์มน้ำมันที่บางที่สุด ซึ่งจะนำไปหาค่าความสามารถในการรับภาระ และประสิทธิภาพของแบร์ริง

ในทางปฏิบัติเราใช้เครื่อง X-Y เรคอร์ดเตอร์ เพื่อแสดงเส้นทางการโคจรของแบร์ริง และใช้ แกบ เซนเซอร์ วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน โดยอาศัยความสัมพันธ์ของเส้นรอบวงกลมเข้ามาช่วยในการหาค่าความเยื้องศูนย์ของเจอร์นอล และใช้ในการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับภาระและความหนาของฟิล์มน้ำมันที่บางที่สุด

ทฤษฎีของไฮโดรไดนามิกเจอร์นอลแบร์ริง

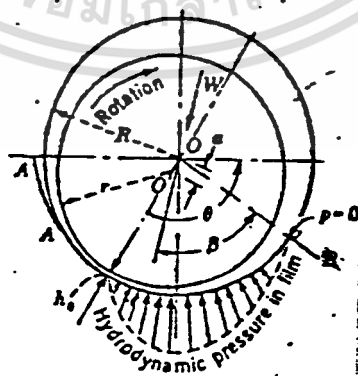
1.1 หลักการของเจอร์นอลแบร์ริง

เจอร์นอลแบร์ริง คือแบร์ริงชนิดที่เป็นเบล็อกหุ้มเพลลาไว้ โดยมีฟิล์มน้ำมันยกแบร์ริงให้ลอยพ้นจากเพลลาเพื่อป้องกันการเสียดสีขณะที่เพลลาหมุน แบร์ริงจะเป็นตัวรับภาระานแนวรัศมี (radial load) ของเพลลา รูป 1.1 แสดงรูปร่างลักษณะของเจอร์นอลแบร์ริง 360 องศา เพลลาหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุม ω และมีภาระ W เมื่อเพลลาเริ่มหมุน ในตอนแรกจะเกิดการเสียดสีของโลหะ (metal to metal contact) ระหว่างเพลลาและแบร์ริงตรงจุดที่รับภาระ

หลังจากที่เพลลาหมุนไปได้เล็กน้อย น้ำมันสามารถไหลได้ดีทั่วถึงก็จะยกแบร์ริงให้ลอยจากเพลลาเป็นระยะความหนาของฟิล์มน้ำมัน เมื่อเพลลาหมุนเร็วขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่ตำแหน่งคงที่ฟิล์มน้ำมันจะถูกรีดจนบางที่สุด เรียกว่า ความหนาของฟิล์มน้ำมันที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถนำใบคำนวณหาความสามารถในการรับภาระของแบร์ริง

สำหรับการทดลองนี้เราใช้ แกบเซนเซอร์ วัดระยะห่างของเพลลา กับแบร์ริงตามแนวแกน X และแกน Y เราสามารถศึกษาทางโคจรของเจอร์นอลแบร์ริง ได้จากการพลอตกราฟ X เทียบกับ t และ Y เทียบกับ t

ถ้าฟิล์มน้ำมันไม่เพียงพอ จะเกิดการเสียดสีของโลหะ เป็นเหตุให้เพลลาหมุนไม่เรียบ



รูป 1.1 เจอร์นอลแบร์ริง 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ทฤษฎีของเจอร์นอลแบร์ริง

พิจารณาเจอร์นอลแบร์ริง ที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω และมีภาระ w

h_0 = ความหนาของฟิล์มที่น้อยที่สุด

r = รัศมีของเพลา

R = รัศมีของแบร์ริง

a = ระยะเยื้องศูนย์กลาง (eccentricity)

ϵ = อัตราส่วนความเยื้องศูนย์กลาง (eccentricity ratio)

c = เรเดียลเคลียแรนซ์ (radial clearance)

m = เคลียแรนซ์โมดูลัส (clearance modulus)

$$h + a \cos\theta = mr$$

$$a = \epsilon nr$$

$$h + \epsilon nr \cos\theta = mr$$

$$h = mr [1 - \epsilon \cos\theta] \quad (1)$$

$$h_0 + a = mr$$

$$h_0 = mr [1 - \epsilon] \quad (2)$$

จาก $\frac{dp}{dx} = \frac{6\mu\omega}{h^3} \left[\frac{h^* - h}{h^3} \right]$ แทนค่า h^* ด้วย $K^* mr$ (ซึ่งค่า K^* จะมีค่า < 1 เสมอ)

แทนค่า dx ด้วย $r d\theta$ และ $u = \omega r$

$$\frac{dp}{r d\theta} = \frac{6\mu\omega r}{m^2 r^2 (1 - \epsilon \cos\theta)^3} \left[K^* - (1 - \epsilon \cos\theta) \right]$$

$$\frac{dp}{d\theta} = \frac{6\mu\omega}{m^2} \left[\frac{K^* - (1 - \epsilon \cos\theta)}{(1 - \epsilon \cos\theta)^3} \right]$$

$$p = \frac{6\mu\omega}{m^2} \left[\int \frac{K^* d\theta}{(1 - \epsilon \cos\theta)^3} - \int \frac{d\theta}{(1 - \epsilon \cos\theta)^2} \right] \quad (3)$$

หากการอินทิเกรต กำหนดขอบเขตเมื่อ $p = 0$, $\theta = 0$ จะได้สมการ

$$p = \frac{6\mu\omega}{m^2} \left[\frac{2\epsilon(1 - \epsilon^2) - 3\epsilon K^* \sin\theta}{2(1 - \epsilon^2)^2 (1 - \epsilon \cos\theta)} + \frac{\epsilon K^* \sin\theta}{2(1 - \epsilon^2)(1 - \epsilon \cos\theta)} - \frac{(2 - K^*)(1 - \epsilon^2) - 3K^* \tan^{-1} \left[\frac{(1 + \epsilon) \tan(\theta/2)}{(1 - \epsilon)} \right]}{(1 - \epsilon^2)^2 (1 - \epsilon^2)} \right] \quad (4)$$

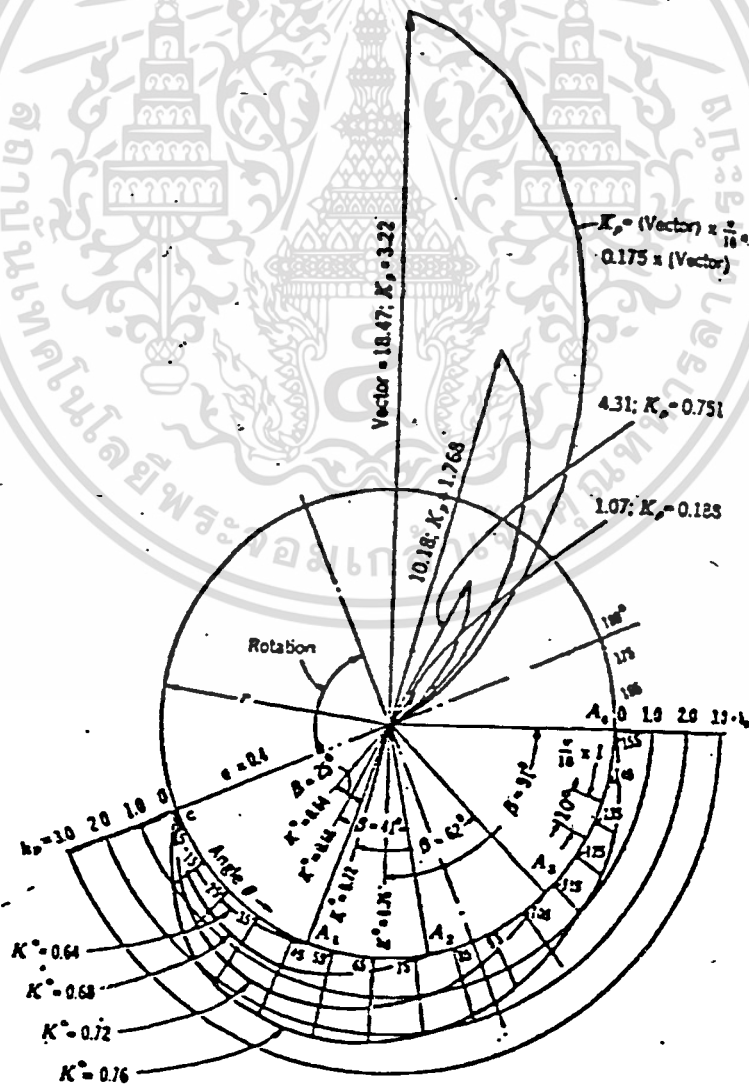
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ควรติดต่อขอทราบ ไม่นับเป็นทรัพย์สินของบริษัทฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการนี้จะเห็นได้ว่ายุ่งยากมากในการคำนวณ จึงได้มีการทดลองแทนค่าและสร้างเป็นตารางทำการยุบสมการเป็นรูปร่าง ๆ คือ

$$p = \frac{\mu \omega}{m^2} [k_p] \quad (5)$$

$$\text{โดยที่ } k_p = 6 \left[\int \frac{K^* d\theta}{(1 - \epsilon \cos \theta)^3} - \int \frac{d\theta}{(1 - \epsilon \cos \theta)^2} \right]$$

ดังนั้นความดันทุก ๆ จุดจะขึ้นอยู่กับค่า k_p เมื่อเราทำการรวมความดันที่จุดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน จะกลายเป็นความสามารถในการรับภาระ (load-carrying capacity) และความสามารถในการรับภาระแต่ละจุด (load-carrying film) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟเชิงโพลาร์ ดังรูป 1.2 อินทิเกรตกราฟจะได้ค่าความสามารถในการรับภาระต่อ 1 หน่วย ถ้าเราอินทิเกรตตลอดความยาวของแบร์ริง L จะได้ความสามารถในการรับภาระทั้งหมดของแบร์ริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูป 1.2 กราฟการอินทิเกรตความดันในแบร์ริง (ค่า $\epsilon = 0.4$)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการรับภาระต่อ 1 หน่วย $w = \int pr \, d\theta \, L$

ความสามารถในการรับภาระทั้งหมด $w = \int pr \, d\theta \, L \quad (6)$

นำสมการ (5) มาแทนลงในสมการ (6)

$$w = \frac{\sum \mu \omega r \, d\theta \, L k_p}{m^2}$$

$$= \frac{\mu \omega r L \sum k_p \, d\theta}{m^2}$$

จะได้ว่า $w = \frac{\mu \omega r L}{m^2} K_p \quad (7)$

$$K_p = \int k_p \, d\theta \quad (8)$$

ในสมการ (7) ความสามารถในการรับภาระขึ้นอยู่กับค่า ϵ และ K^* และจากรูป 1.2 เราจะเห็นว่า ถ้าค่า K^* มีค่ามากขึ้น ก็จะทำให้ มุมที่รองรับภาระ (arc of fluid pressure) ยาวขึ้นด้วย จากรูปค่า $K^* = 0.64$ มีมุมรองรับภาระเท่ากับ 50° ค่า $K^* = 0.76$ มุมที่รองรับภาระ = 160° ดังนั้นเราสามารถเปรียบเทียบค่า K^* กับตัวแปรอื่นที่มีมุมรองรับภาระเท่ากัน คือ มุม ϕ ดังรูป 1.3 ซึ่งเป็นความยาวของมุมรองรับภาระของพาร์เชียลแบร์ริง (Partial Bearing) สามารถแทนฟังก์ชันของ K^* ได้ด้วยฟังก์ชันของ ϕ

ดังนั้นค่า K_p ในสมการก็สามารถเขียนในเทอมของ ϕ จากสมการ (7)

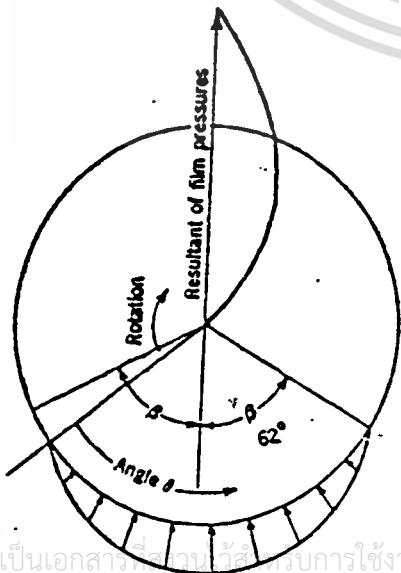
$$K_p = \frac{w m^2}{\mu \omega r L} \quad (9)$$

กำหนด $P_{avg} = \frac{w}{2rL}$

$$\mu = 1.45 \times 10^{-7} \times z$$

$z =$ ค่าความหนืดในหน่วย เซนติพอยส์ (centipoises)

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}, \quad N = \text{rpm}$$



รูป 1.3

จากสมการ (9) แทนค่า $K_p = A$

$$A = \frac{2 \times P_{avg} \times m^2 \times 60}{1.45 \times 10^{-7} \times z \times 2 \times N}$$

$$A = 132 [1000 \text{ m}]^2 \frac{P_{avg}}{zN} \quad (10)$$

ที่ผ่านมาเราไม่ได้คำนึงถึงกรณีที่เกิดการรั่วไหลด้านข้าง (side leakage) ผลกระทบที่เกิดจากการไหลในแนวแกน z ใช้สัญลักษณ์ η (eta) ในกรณีที่ แบริ่งมีความยาวเป็นอนันต์ หรือ ไม่มีการรั่วไหลด้านข้าง ค่า $\eta = 1$ กรณีที่มีการรั่วไหลด้านข้าง ค่า $\eta < 1$ เสมอ เรานำสมการของความสามารถในการรับภาระมาเขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้

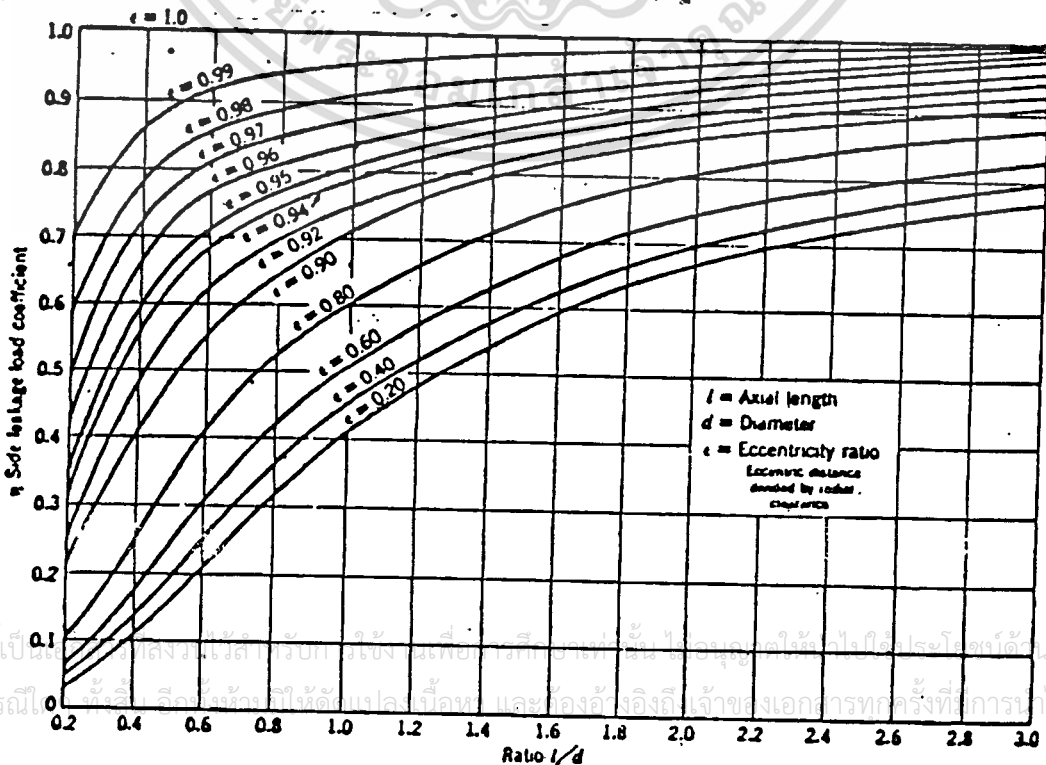
$$W = \frac{\mu \omega r L \eta}{m^2} K_p \quad (11)$$

$$A = \frac{132 [1000 \text{ m}]^2}{\eta} \frac{P_{avg}}{zN} \quad (12)$$

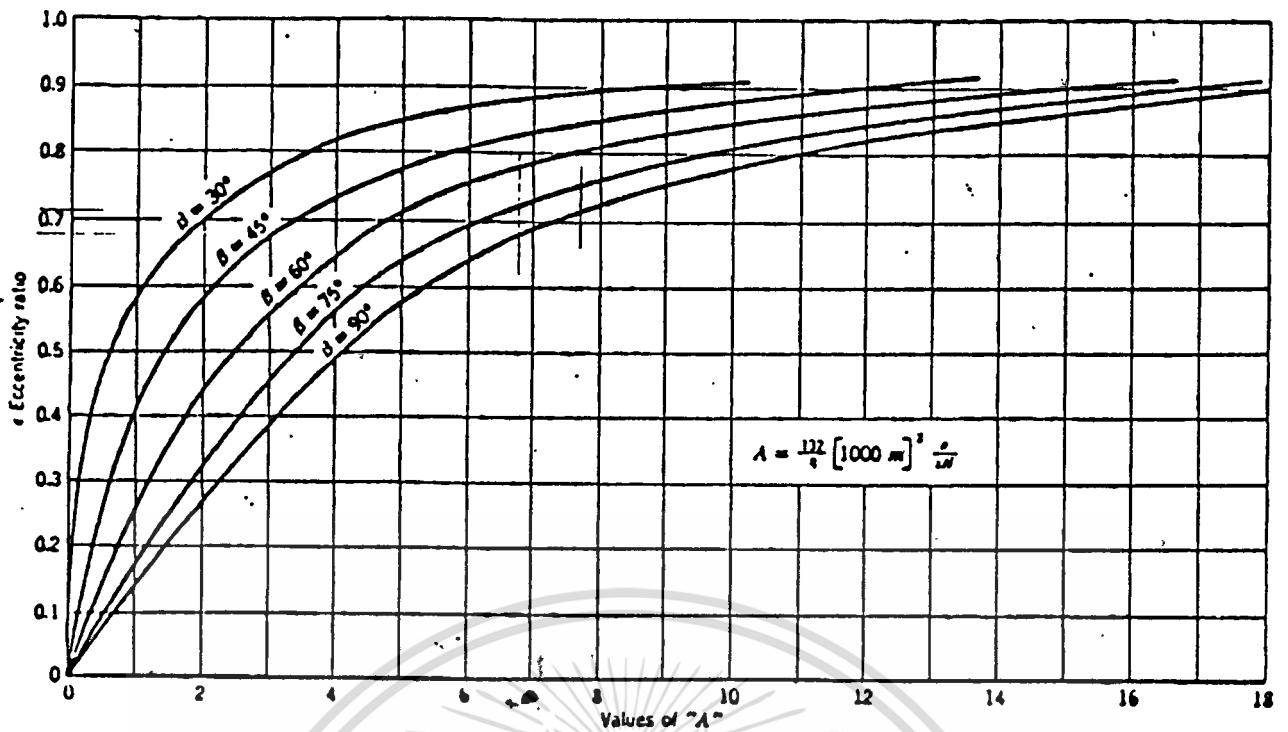
รูปที่ 1.4 แสดงให้เห็นว่าค่า η ขึ้นอยู่กับค่า L/d และค่า ϵ

เราสามารถหาค่า A จากรูป 1.5 เปรียบเทียบค่าที่ได้กับการะจริงที่ทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแบริ่ง ที่ความเร็วรอบใด ๆ

$$\text{ประสิทธิภาพของแบริ่ง} = \frac{\text{การะจริง}}{\text{การะทางทฤษฎี}} \times 100$$



เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย



รูป 1.5 ตัวแปรความสามารถในการรับภาระของ เจอร์นอลแบร์รี่
จากสมการไฮโดรจีสแตติกที่เสถียร แรงของไหลที่กระทำต่อผิวด้านในของแบร์รี่

$$F_H = \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \rho L r^2 \ddot{x} \quad (13)$$

$$F_H = m_H \ddot{x} \quad (14)$$

โดยที่

$$m_H = \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \rho L r^2$$

$$m_H = \frac{\rho R^3 L}{c} \quad (15) \quad \text{โดยกำหนดให้ } R \gg c$$

F_H = แรงกระทำเนื่องจากการหมุนของเพลลา (hydrodynamic force)

m_H = มวลของของไหลที่เคลื่อนที่ (hydrodynamic mass)

r = รัศมีของเพลลา

R = รัศมีภายในของแบร์รี่

a = ความเยื้องศูนย์กลาง (eccentricity)

ϵ = อัตราส่วนความเยื้องศูนย์กลาง (eccentricity ratio)

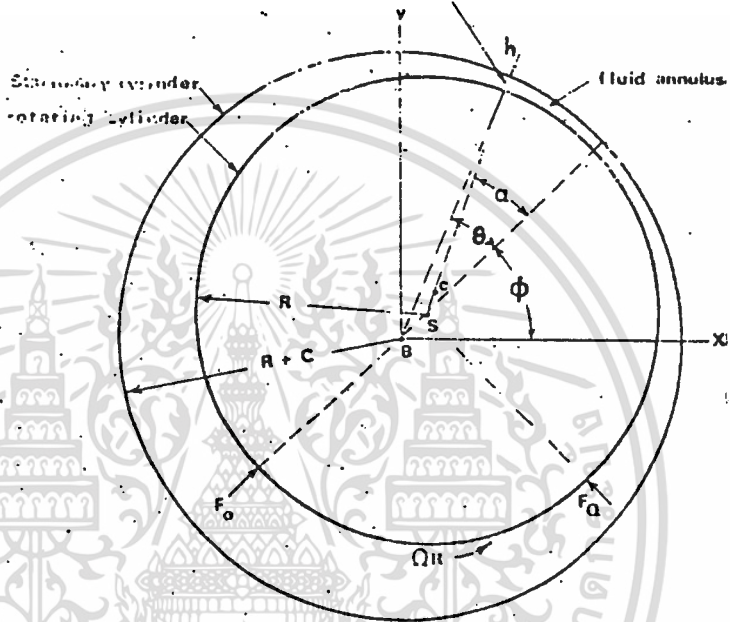
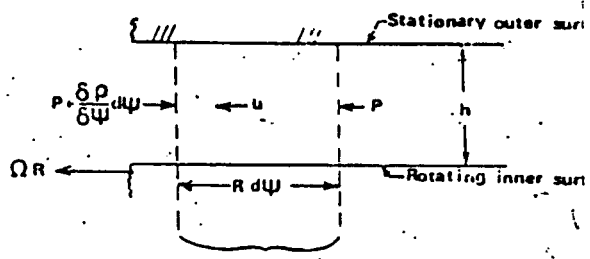
c = $R - r = m r =$ ผลต่างระหว่างรัศมีของแบร์รี่กับเพลลา

L = ความยาวของแบร์รี่ $L \gg r$

ρ = ความหนาแน่นของมวลของไหล (fluid mass density)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางอากาศยาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงกระทำเนื่องจากการหมุนของ เพลสามารถประมาณค่าได้ สำหรับการหมุนที่
 ความเร็วรอบคงที่



รูป 1.6

ในรูป 1.6 เป็นของไหลที่ไม่สามารถอัดได้ ไหลแบบฟิล์มในทิศทางตามเส้นรอบวง แสดงว่า

$$\psi = \theta + \phi \tag{16}$$

ψ = มุมที่กวาดจากแกน x ไปยังจุดใด ๆ

ϕ = $\phi(t)$ มุมที่ตำแหน่งฟิล์มบางที่สุด

θ = $\theta(\psi, t)$ มุมที่ตำแหน่งใด ๆ วัดจากตำแหน่งฟิล์มบางที่สุด

ถ้า $c / R \ll 1$

$$h = c(1 - \epsilon \cos\theta) \tag{17}$$

$$\dot{h} = -c\dot{\epsilon} \cos\theta - c\epsilon\dot{\theta} \sin\theta \tag{18}$$

จากสมการความต่อเนื่อง และสมการ (18) จะได้ว่า

$$\frac{\partial hu}{\partial \psi} = c\dot{\epsilon} \cos\theta + c\epsilon\dot{\theta} \cos\theta \tag{19}$$

หากการอินทิเกรต และแทนค่าด้วยสมการ (16) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $hu = q(t) + rc\dot{\epsilon} \sin\theta - rc\epsilon\dot{\theta} \cos\theta \tag{20}$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กำหนดให้ $q(t)$ คงที่ตลอดการไหลที่ $r = R$ $\epsilon = \epsilon' = 0$ และความหนาของฟิล์ม $h = c$
 ดังนั้น
$$\frac{q}{c} = 2 \tag{21}$$

นำค่าในสมการที่ (21) ไปแทนในสมการที่ (20) และใช้สมการที่ (17) จะได้

$$u = \frac{\omega r}{2(1 - \epsilon \cos \theta)} + \frac{r \epsilon' \sin \theta}{1 - \epsilon \cos \theta} - \frac{r \epsilon \phi' \cos \theta}{1 - \epsilon \cos \theta} \tag{22}$$

จากการวิเคราะห์ ϵ จะมีค่าน้อยมาก ทำให้เราสามารถขยุสมการ (22) ลงจนเหลือดังนี้

$$u = \frac{\omega r}{2} (1 + \epsilon \cos \theta) + r \epsilon' \sin \theta - r \epsilon \phi' \cos \theta \tag{23}$$

เพราะว่า $u = \frac{\omega r}{2} + v$ (24)

ดังนั้น
$$v = \frac{\omega r}{2} \epsilon \cos \theta + r \epsilon' \sin \theta - r \epsilon \phi' \cos \theta \tag{25}$$

จากสมการที่ (17) และ (22)

$$u'' = \frac{\omega r}{2} (\epsilon'' \cos \theta + \epsilon \phi'' \sin \theta) + r \epsilon'' \sin \theta - r \epsilon \phi'' \cos \theta - r \epsilon \phi' \cos \theta' - r \epsilon \phi' \sin \theta \tag{26}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{\omega r}{2} \epsilon \sin \theta + r \epsilon' \cos \theta + r \epsilon \phi' \sin \theta \tag{27}$$

แรงที่เกิดจากของไหลกระทำต่อเพลาดังรูป 1.6 จะมีค่าเท่ากับ

$$F_o = - \int_0^\pi L r P \cos \theta \, d\theta \tag{28}$$

$$F_q = \int_0^\pi L r P \sin \theta \, d\theta \tag{29}$$

แทนค่าสมการที่ (22) , (25) และ (29) ลงในสมการโมเมนต์ของของไหล แล้วประมวลผลใหม่ (โดยไม่คิดเทอมของ ϵ^2 เพราะมีค่าน้อยมาก)

$$\frac{\partial P}{\partial \theta} = \cos \theta (-r \epsilon'' + 2r \epsilon' \phi'' + r \epsilon \phi'' - \frac{\omega r \epsilon \phi' + r \epsilon \phi' F}{2}) + \sin \theta (-\frac{\omega r \epsilon \phi' - r \epsilon' \phi' + r \epsilon \phi'^2 + \frac{\omega^2 r \epsilon}{4} - \frac{\omega r \epsilon \phi' - r \epsilon \phi' F}{2}) \tag{30}$$

จากสมการข้างบน ความสัมพันธ์ของตัวแปร F ในกรณีที่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) $Re > 5000$

$$F_t = 0.0556 \frac{\omega r \mu}{c Re} \tag{31}$$

สัมประสิทธิ์การไหล (η) มีค่าเท่ากับ 1.14 สำหรับ $-1/7$ กฎของกำลังงาน
 ค่า Re คือค่าของเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold number) และสำหรับการไหลแบบวอร์เท็กซ์
 (vortex-flow) (เทเลอร์นัมเบอร์ > 60)

$$F_v = 1.52 \frac{\omega r \eta}{c} (c/r)^{0.261} Re^{(-0.478)} \quad (32)$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ (28) จะได้ค่า P แล้วแทนค่า P ลงในสมการที่
 (28), (29) จะได้

$$-F_Q = m_H c (\dot{\epsilon}^2 + 2\dot{\epsilon}\dot{\phi} - \omega\dot{\epsilon} - \frac{\omega^2}{2} \epsilon^2 + F\dot{\epsilon}) \quad (33)$$

$$-F_O = m_H c (\dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}\dot{\phi}^2 + \omega\dot{\phi} - \frac{\omega^2}{2} \epsilon + F\dot{\phi}) \quad (34)$$

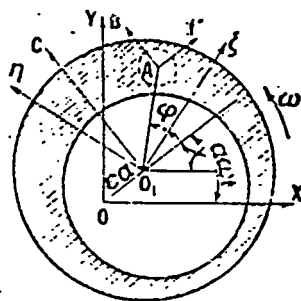
เมื่อ $m_H = \frac{\rho r^3 L}{c}$ จากสมการที่ (15)

สำหรับเพลามวล M ซึ่งมีการต่อกับเพลแบบยึดหยุ่นได้ แรงที่เกิดขึ้นจากแรงสปริง
 มีค่าเท่ากับ ka เมื่อ a = ค่าความเยื้องศูนย์กลาง คือระยะที่ศูนย์กลางของเพลเยื้องออกจากจุดศูนย์กลาง
 กลางของแบร์ริง โดยสมมุติให้เพลารูปร่างเป็นทรงกระบอกยาวและรอบ ๆ ทรงกระบอกถูกห่อหุ้ม
 ด้วยฟิล์มบาง ๆ ($c/r \ll 1$) เราสมมุติให้ไม่มีการไหลในแนวแกนเพล แต่จะมีการไหล
 ในแนวของเส้นรอบวง ซึ่งเราจะสนใจพิจารณาการสั่นของเพล เนื่องจากการที่เพลไม่สมดุลย์
 ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่จะเป็นดังนี้

$$M(\ddot{a} - a\dot{\phi}^2) = -m_H (\ddot{a} - a\dot{\phi}^2 + \omega a\dot{\phi} - \frac{\omega^2}{4} a + Fa) - ka + M\omega^2 e \cos\alpha \quad (35)$$

$$M(a\ddot{\phi} + 2\dot{a}\dot{\phi}) = -m_H (a\ddot{\phi} + 2\dot{a}\dot{\phi} - \omega\dot{a} - \frac{\omega^2}{2} Fa + Fa\dot{\phi}) + M\omega^2 e \sin\alpha - Mg$$

เทอมทางซ้ายของสมการ (35) คือเทอมของปฏิกริยาภายใน (the internal reaction)
 ที่เกิดกับมวล M ซึ่งได้จากการคำนวณ ส่วนในเทอมของ m_H คือเทอมของแรงที่เกิดจากของ
 ไหลกระทำกับเพล จากสมการ (33) ในเทอมสุดท้าย คือ เทอมของแรงที่ได้จากการหมุนที่
 ไม่สมดุลย์ของเพล ร่วมกับแรงภายนอกที่กระทำแบร์ริง คือ ภาระที่เราใส่เข้าไป จะเห็นได้จาก
 รูป 1.7



รูป 1.7 แรงที่เกิดจากของไหลในเพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาค่า α และ e เรวสมมติให้ความเร็วรอบของการหมุนคงที่ และมีความเยื้องศูนย์กลางที่ a , $a = \ddot{\phi} = 0$ และ $\dot{\phi} = \omega$ จากสมการ (35) โดยไม่คิดภาระ $Mg = 0$ จะพบว่า

$$\begin{aligned} -(M + \frac{m_H}{4})a\omega^2 + ka &= M\omega^2 e \cos\alpha \\ \frac{m_H F \omega a}{2} &= M\omega^2 e \sin\alpha \end{aligned} \quad (36)$$

ทำการแก้สมการให้อยู่ในรูปของ a/e โดยนำสมการ (36) มายกกำลังสอง และนำมาบวกกัน เราจะได้ว่า

$$\frac{a}{e} = \frac{\omega^2}{[(1 + \beta)^2 (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 F^2 \omega^2]^{1/2}} \quad (37)$$

เมื่อ $\beta = m_H / 4M$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{M + m_H/4} = \frac{k/M}{1 + \beta} \quad (38)$$

เมื่อค่า ω_0 เป็นค่าของความเร็วยกที่จุดเสถียร (undamped critical speed) และค่า a/e ที่ความเร็วยกที่จุดเสถียร คือ

$$[a/e]_H = \frac{\omega}{2\beta F} \quad (39)$$

ในการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพ (stability) จะได้จากการเขียน สมการ (36) ให้สัมพันธ์กับคาร์ทีเซียนโคออร์ดิเนตในระบบสแตชันนารีโคออร์ดิเนต (the stationary coordinate system) ปรับสมการใหม่ได้ดังนี้

$$(M + m_H)(\ddot{x} - a\dot{\phi}^2) = -m_H(\omega a\dot{\phi} + \frac{\omega^2 a}{4} + F\dot{a}) - ka + M\omega^2 e \cos\alpha \quad (40)$$

$$(M + m_H)(a\ddot{\phi} + 2a\dot{\phi}) = -m_H(\omega\dot{\phi}a + \omega Fa + Fa\dot{\phi}) + M\omega^2 e \sin\alpha + Mg \quad (41)$$

ทำการเปลี่ยนรูปให้

$$\begin{aligned} x &= a \cos\phi \\ y &= a \sin\phi \end{aligned} \quad (42)$$

เราจะได้สมการการเคลื่อนที่ของเพล สำหรับระบบฟิกซ์โคออร์ดิเนต (fixed coordinate system)

$$(M + m_H)\ddot{x} + F\dot{x} + (k - \frac{m_H\omega^2}{4})y - m_H\omega\dot{y} + \frac{m_H\omega F}{2}y = M\omega^2 e \cos(\phi + \alpha) \quad (43)$$

$$(M + m_H)\ddot{y} + F\dot{y} + (k - \frac{m_H\omega^2}{4})x - m_H\omega\dot{x} - \frac{m_H\omega F}{2}x = M\omega^2 e \sin(\phi + \alpha) - Mg \quad (44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่เสถียรภาพวิเคราะห์โดยใช้สมการไฮมจีเนียส กำหนดค่าให้ด้านขวาของสมการ (43) และ (44) เท่ากับ 0 แล้วทำการแทนค่าสัมประสิทธิ์ในสมการด้วยตัวแปรใหม่ให้ $m = M + m_H$, $C_1 = m_H F$, $K_1 = K - m_H \omega^2/4$, $C_2 = m_H \omega$, $K_2 = m_H F \omega/2$ ซึ่งเราไม่สามารถแทนค่าตัวแปรเหล่านี้ได้ จึงนำค่าจากการทดลองมาช่วยในการคำนวณดังนี้

$$C_{11} = 26.424 - 25.646(L/D) - 11.235(S) - 0.044(S^2) \\ + 43.391 S(L/D) - 16.947 S(L/D)$$

$$C_{12} = 1.353 + 1.109(L/D) + 0.376(S) + 0.027(S^2) \\ + 1.341 S(L/D) + 0.510 S(L/D)$$

$$C_{21} = 4.059 - 2.013(L/D) - 0.231(S) - 0.004(S^2) \\ + 1.839 S(L/D) - 1.450 S(L/D)$$

$$C_{22} = 4.735 - 5.019(L/D) - 7.506(S) - 0.069(S^2) \\ + 26.089 S(L/D) - 2.897 S(L/D)$$

$$K_{11} = 2.3258 - 1.2120(L/D) - 0.3413(S) \\ + 0.3436 S(L/D)$$

$$K_{12} = 8.1511(L/D) - 1.1442 S - 0.4387 + 0.04717(L/D)$$

$$K_{21} = 12.2356 - 12.4891(L/D) + 1.2669(S) + 0.0756(S^2) \\ + 1.2224 S(L/D) - 10.9395 S(L/D)$$

$$K_{22} = 2.178(L/D) - 0.1386 S - 0.0376 + 0.0383(L/D)$$

เราจะได้สมการใหม่ดังนี้

$$m\ddot{x} + C_{11}\dot{x} + K_{11}x + C_{12}\dot{y} + K_{12}y = 0 \quad (45)$$

$$m\ddot{y} + C_{21}\dot{y} + K_{21}y + C_{22}\dot{x} + K_{22}x = 0 \quad (46)$$

สมมติให้ $x_h = X_0 \exp(\lambda t)$ และ $y_h = Y_0 \exp(\lambda t)$ แทนค่าลงในสมการ (45) และ (46) จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$(m\lambda^2 + C_{11}\lambda + K_{11})X_0 + (C_{12}\lambda + K_{12})Y_0 = 0 \quad (47)$$

$$(C_{22}\lambda + K_{22})X_0 + (m\lambda^2 + C_{21}\lambda + K_{21})Y_0 = 0 \quad (48)$$

สำหรับสมการ (47) และ (48) ค่า X_0 และ Y_0 จะต้องไม่เท่ากับ 0 ดังนั้น สัมประสิทธิ์ของสมการ (47) , (48) จะต้องมามีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้น

$$(m\lambda^2 + C_{11}\lambda + K_{11})(m\lambda^2 + C_{21}\lambda + K_{21}) + (C_{12}\lambda + K_{12})(C_{22}\lambda + K_{22}) = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ (49)

$$m^2 \lambda^4 + m(C_{11} + C_{21})\lambda^3 + ((C_{11} \cdot C_{21}) + m(K_{11} + K_{21}) + (C_{12} \cdot C_{22}))\lambda^2 + (C_{11}K_{21} + C_{21}K_{11} + C_{22}K_{12} + C_{12}K_{22})\lambda + (K_{11} \cdot K_{21}) + (K_{12} \cdot K_{22}) = 0 \quad (49)$$

ทำการแทนค่า $m, C_{11}, K_{11}, C_{12}, K_{12}, C_{21}, K_{21}, C_{22}, K_{22}$ ลงในสมการ (49) แล้ว

ทำการแก้สมการหาค่าเมื่อได้แล้วเราจะนำไปแทนในสมการ $x_h = X_0 \exp(\lambda t)$

$$\text{และ } y_h = Y_0 \exp(\lambda t)$$

หลังจากนั้นเราจะต้องทำการแก้สมการนอน-โฮมจีเนียส ของสมการ (43)

และ (44) โดยการแทนค่าตัวแปรใหม่เหมือนกับสมการโฮมจีเนียส ลงในสมการ

$$m\ddot{x} + C_{11}\dot{x} + K_{11}x + C_{12}\dot{y} + K_{12}y = M\omega^2 e \cos(\phi + \alpha) \quad (50)$$

$$m\ddot{y} + C_{21}\dot{y} + K_{21}y + C_{22}\dot{x} + K_{22}x = M\omega^2 e \sin(\phi + \alpha) - Mg \quad (51)$$

ทำการแทนค่า x และ y ด้วยวิธีการเทียบสัมประสิทธิ์กำหนดให้ $(\phi + \alpha) = \gamma$ (Gamma)

ดังนั้นกำหนดค่า

$$x_p = A \cos \gamma + B \sin \gamma \quad (52)$$

$$y_p = C \cos \gamma + D \sin \gamma \quad (53)$$

จากนั้นนำค่า x และ y ไปแทนค่าในสมการ (50) และ (51)

$$\dot{x} = -A \sin \gamma + B \cos \gamma \quad ; \quad \ddot{x} = -A \cos \gamma - B \sin \gamma$$

$$\dot{y} = -C \sin \gamma + D \cos \gamma \quad ; \quad \ddot{y} = -C \cos \gamma - D \sin \gamma$$

เราจะได้สมการที่ทำการเทียบสัมประสิทธิ์แล้วดังนี้

$$(K_{11} - m)A + C_{11}B + K_{12}C + C_{12}D = M\omega^2 e \cos \gamma \quad (54)$$

$$C_{11}A + (K_{11} - m)B - C_{12}C + K_{12}D = 0 \quad (55)$$

$$K_{22}A + C_{22}B + (K_{21} - m)C + C_{21}D = M\omega^2 e \sin \gamma - Mg \quad (56)$$

$$C_{22}A + K_{22}B - C_{21}C + (K_{21} - m)D = 0 \quad (57)$$

ทำการแก้สมการ (54), (55), (56) และ (57) เราจะได้ค่า A, B, C และ D

หลังจากนั้นทำการแทนค่ากลับไปลงในสมการ x_p และ y_p แล้วเราจะได้สมการนอนโฮม

จีเนียส โดยการแทนค่าลงในสมการที่ (52) และ (53) จากนั้นเราทำการแทนค่า x_p และ y_p

ให้อยู่ในรูปสามมิติ ของ $X(t)$ และ $Y(t)$ ดังนี้

$$X(t) = x_h + x_p \quad (58)$$

$$Y(t) = y_h + y_p \quad (59)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้นี้จะแทนการเคลื่อนที่ของเพลลา ที่เวลาใดๆ ซึ่งจะใช้ในการคำนวณหาค่า ความเยื้องศูนย์กลาง (a) ดังนี้

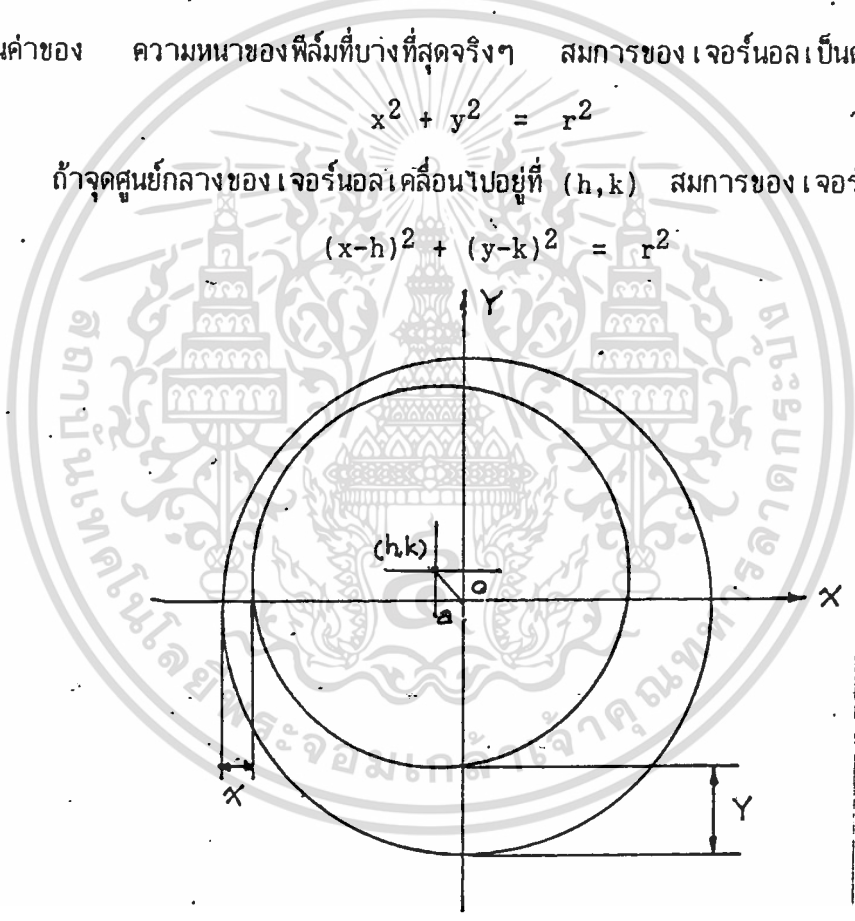
$$a = \sqrt{X(t)^2 + Y(t)^2} \tag{60}$$

ซึ่งค่า a นี้ จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่า ความสามารถในการรับภาระ และ ความหนาฟิล์มที่บางที่สุด (h₀) แต่เราสามารถหาค่าความหนาฟิล์มที่บางที่สุดได้อีกวิธี โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ เส้นรอบของวงกลมเข้ามาช่วยในการหาจุดศูนย์กลางที่เปลี่ยนไปของตัว เจอร์นอล คือในกรณีที่ศูนย์กลางของเจอร์นอลและแบร์ริงตรงกัน (concentric) และ กำหนดให้จุด ศูนย์กลางของเจอร์นอลและแบร์ริงตรงกับจุดออริจิน (origin), r คือ รัศมีของเจอร์นอล, R คือ รัศมีของแบร์ริง, C คือ เรเดียลเคลียแรนซ์ มีค่าเท่ากับ mr ซึ่งค่าที่หาได้จากสมการ นี้จะเป็นค่าของ ความหนาของฟิล์มที่บางที่สุดจริงๆ สมการของเจอร์นอลเป็นดังนี้

$$x^2 + y^2 = r^2 \tag{61}$$

ถ้าจุดศูนย์กลางของเจอร์นอลเคลื่อนไปอยู่ที่ (h,k) สมการของเจอร์นอลจะอยู่ในรูป

$$(x-h)^2 + (y-k)^2 = r^2 \tag{62}$$



รูป 1.8

จากรูป ที่จุด A คือตำแหน่ง (-R-x, 0) และจุด B คือตำแหน่ง (0, -(R-y)) แทนค่า ลงในสมการ (62) จะได้

$$(-(R-x)-h)^2 + (0-k)^2 = r^2 \tag{63}$$

$$(0-h)^2 + (-(R-y)-k)^2 = r^2 \tag{64}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายสมการ (63) และ (64) จะได้

$$h^2 + 2(R-x)h + k^2 = r^2 - (R-x)^2 \quad (65)$$

$$h^2 + 2(R-y)k + k^2 = r^2 - (R-y)^2 \quad (66)$$

นำสมการที่ (65)-(66) จะได้

$$h = \frac{(R-y)^2 - (R-x)^2 + 2(R-y)k}{2(R-x)} \quad (67)$$

กำหนดให้ $a^* = (R-y)^2 - (R-x)^2$ และแทนค่า h ลงในสมการ (66)

$$\left[\frac{a^* + 2(R-y)k}{2(R-x)} \right]^2 + 2(R-y)k + k^2 = r^2 - (R-y)^2$$

$$\frac{(a^*)^2 + 4a^*(R-y)k + 4k^2(R-y)^2}{4(R-x)^2} + k^2 + 2(R-y)k = r^2 - (R-y)^2$$

จัดให้อยู่ในรูป $aX^2 + bX + c$ แก้สมการหาค่า $X = \frac{-b \pm \sqrt{(b^2 - 4ac)}}{2a}$

$$[(R-y)^2 + (R-x)^2]k^2 + [a^*(R-y) + 2(R-y)(R-x)^2]k + \frac{a^{*2}}{4} - r^2(R-x)^2 + [(R-y)(R-x)]^2 = 0 \quad (68)$$

ได้ค่า k นำมาแทนในสมการ (67) จะได้ค่า h จะพบว่า จุดศูนย์กลางที่เปลี่ยนไปคือ จุด (h, k) ดังนั้นสามารถหาระยะขจัด a

$$a = \sqrt{(h^2 + k^2)}$$

นำไปหาค่า ความหนาของฟิล์มน้อยที่สุด (h_0)

$$\text{จาก } a = mr \text{ เพราะฉะนั้น อัตราส่วนความเยื้องศูนย์กลาง} = \frac{a}{mr}$$

$$h_0 - a = mr$$

$$h_0 = mr(1-\epsilon); \quad (69)$$

บทที่ 2

การออกแบบและการสร้าง

2.1 การออกแบบเครื่องทดสอบเจอร์นอลแบร์ริง

2.1.1 การวางโครงสร้างของเครื่อง เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนจึงจัดวางอุปกรณ์บนฐานที่ทำงานเป็นชิ้นเดียวกันให้เป็นริจิดบอดี้ (rigid body) และเซาะร่องปรับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ได้ ทั้งยังต้องยกเพลลาให้สูงพอที่จะแขวนตุ้มน้ำหนักได้ด้วย

2.1.2 กาลังขับ 3 มอเตอร์ 3 เฟสขับเพลลา แต่ให้เฟืองทดลดอัตราเร็วรอบลง 1:10 เท่า และเพื่อลดการสั่นสะเทือน จึงเลือกใช้ขับปลิงยางต่อระหว่างเพลลา กับเฟืองทดสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส เราไม่สามารถปรับความเร็วรอบได้ จึงเลือกใช้พูลเลย์และสายพานต่อเข้ากับเฟืองทด เมื่อเปลี่ยนขนาดพูลเลย์ก็จะสามารถเปลี่ยนความเร็วรอบได้

2.1.3 เพลลาและแบร์ริง ซึ่งเป็นหัวใจของเครื่อง เลือกใช้เพลลาตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50.8 มม. แบร์ริงมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 50.95 มม. เคลียแรนซ์ 0.15 มม. ด้านในอัดด้วยบุชทองเหลือง บนตัวแบร์ริงเจาะรูเพื่อใส่เซ็นเซอร์ , รูฉีดน้ำมัน และติดตะขอแขวนตุ้มน้ำหนัก

2.1.4 แรงดันน้ำมัน น้ำมันหล่อลื่นจะถูกจ่ายเข้ามาด้วยความดันที่เกิดจากการยกขวดน้ำมันให้สูง และน้ำมันจะรั่วไหลออกทางด้านข้างของแบร์ริง จึงต้องมีภาครอบน้ำมันไว้

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดผล

2.2.1 แกบเซนเซอร์ รุ่น AEC 5505 วัดระยะขจัดโดยไม่สัมผัส ใช้หลักการของเอ็ดดี้ เคอร์เรนท์ ที่มีความถี่สูง สามารถวัดระยะในช่วง 0-2.0 มม. ใช้กับแหล่งจ่ายขนาด 12V DC, 40 mA ให้เอาท์พุท 5V (5mV/m)

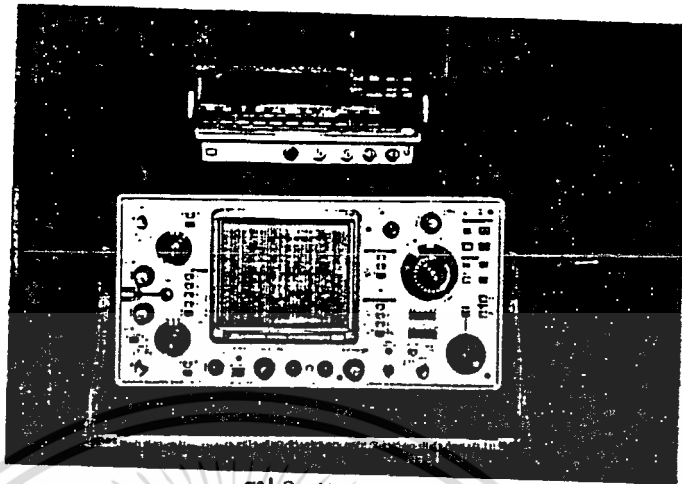
2.2.2 เซอร์โวคอร์ดเดอร์ SR 6221 (Servo coder SR 6221) คือเครื่องบันทึกกราฟสัญญาณเทียบกับเวลา ขยายสัญญาณด้วยระบบเซอร์โว-แอมพลิฟิเออร์ (Servo-amplifier) สามารถรับสัญญาณในช่วง 1mV-500V มี 3 แชนแนล

2.2.3 X-Y เรคอร์ดเดอร์ WX 2400 (X-Y Recorder WX 2400) คือเครื่องบันทึกกราฟสัญญาณตามแนวแกน X-Y ขยายสัญญาณด้วยระบบ เซอร์โว-แอมพลิฟิเออร์ สามารถรับสัญญาณในช่วง 0.5mV-50V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ดิจิตอลสโตเรจสโคป DS 6411 (DIGITAL STORAGE SCOPE DS 6411)

อ่านสัญญาณขณะทำการทดลอง สามารถรับอินพุตได้ 2 แชนแนล



รูป 2.1

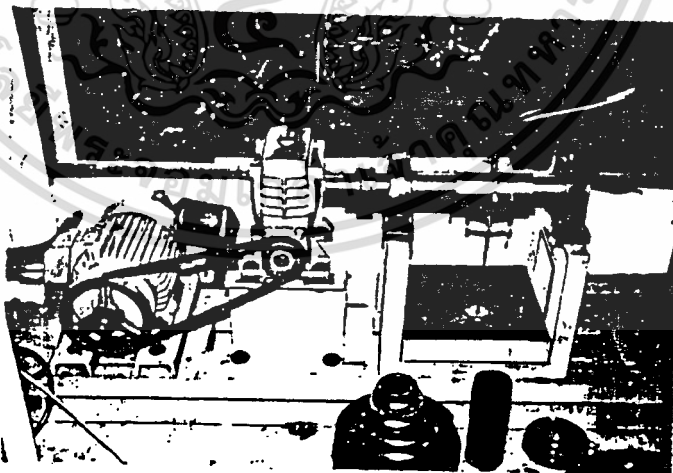
2.2.5 เพาเวอร์ซัพพลาย จ่ายพลังงานให้ตัวคอนเวอร์เตอร์ (Converter) ของ แกบเซนเซอร์

2.2.6 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (DIGITAL MULTIMETER)

อ่านค่าสัญญาณได้แม่นยำโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เวลาปรับค่าเริ่มต้นของสัญญาณ

2.3 การสร้าง เครื่องทดลอง

หลังจากที่ออกแบบเครื่อง เรียบร้อยแล้วทำการสร้าง เครื่องตามแบบที่แสดงในรูป



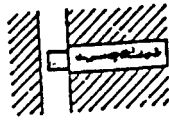
รูป 2.2

2.4 การใช้อุปกรณ์วัด

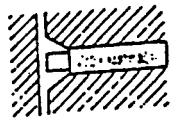
2.4.1 แกบเซนเซอร์

1. เจาะรูบนแบร์รี่ง์เพื่อวาง เซนเซอร์โดยให้มีลักษณะดังรูป

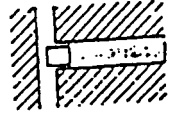
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



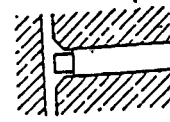
Good mounting



Good mounting



Poor mounting



Poor mounting

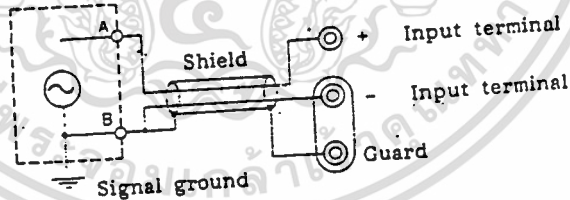
รูป 2.3;

2. จัดวาง เซนเซอร์ ให้ได้ระดับเดียวกับผิวด้านบนของเบร็ง เราทราบจากข้อมูลของแถบเซนเซอร์ว่าค่าระยะขจัดเป็น 0 สัญญาณเอาต์พุตมีค่าประมาณ -4.8 โวลต์ โดยการกดเบร็งด้านที่ติดเซนเซอร์ให้แนบติดกับเพลลา และ ปรับตำแหน่งของเซนเซอร์จนกระทั่งได้สัญญาณเอาต์พุตประมาณ -4.8 โวลต์ นั่นคือ เซนเซอร์อยู่ระดับเดียวกับผิวด้านบนของเบร็งพอดี

3. การต่อสัญญาณของคอนเวอร์เตอร์ ใช้เพาเวอร์ซัพพลายป้อนสัญญาณอินพุต DC +12 , -12 โวลต์และกราวด์ สัญญาณเอาต์พุตจะส่งไปยังอุปกรณ์วัดอื่น ๆ คือ สตอเรจสโคป, X-Y เรคคอร์ดเตอร์ , เซอร์ไวคอร์ดเตอร์

2.4.2 X-Y เรคคอร์ดเตอร์

1. การต่อสัญญาณอินพุต กำหนดให้ใช้สายไฟสีแดง (+) ต่อกับช่องสัญญาณเอาต์พุตและสายไฟสีขาว (-) ต่อกับช่อง 0 โวลต์ ของตัวคอนเวอร์เตอร์

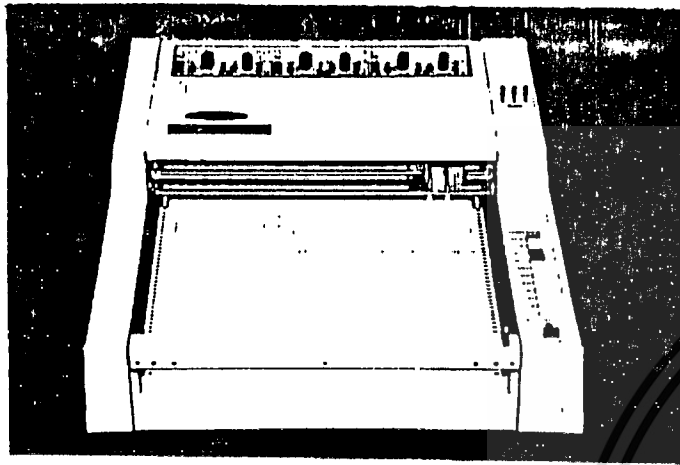


รูป 2.4

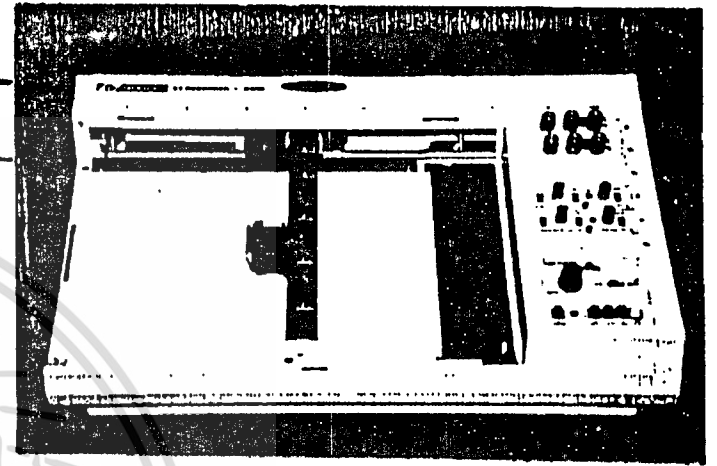
2. เลือกใช้เรนจ์ในช่วง 200 mV /cm (5ช่อง/v) เพื่อให้ได้รูปที่มีขนาดใหญ่และชัดเจน ปรับตำแหน่งเริ่มต้นให้ตรงศูนย์พอดี เปิดสวิตช์รับสัญญาณอินพุต ปากกาจะวิ่งไปมุมกระดาษ (over scale) ตำแหน่งของกราฟที่จะพลอตอยู่ริมกระดาษเกินไป ให้เลื่อนปากกามาไว้ที่ตำแหน่งตรงกลาง ตำแหน่งศูนย์ก็คือ ตำแหน่งเริ่มต้นลบด้วยตำแหน่งที่เลื่อนขึ้นมา เช่น เลื่อนขึ้นมาทั้ง 2 แกน 10 ช่อง = 2V ตำแหน่งเริ่มต้นคือ (-2, -2) โวลต์

2.4.3 เซอร์ไวคอร์ดเตอร์

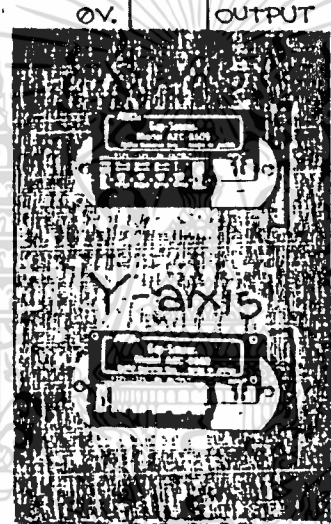
1. การต่อสัญญาณอินพุต เช่นเดียวกับกับ X-Y เรคคอร์ดเตอร์



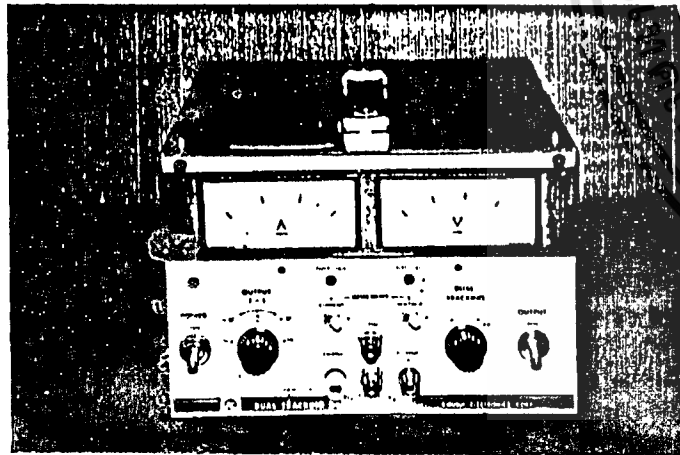
Servocorder



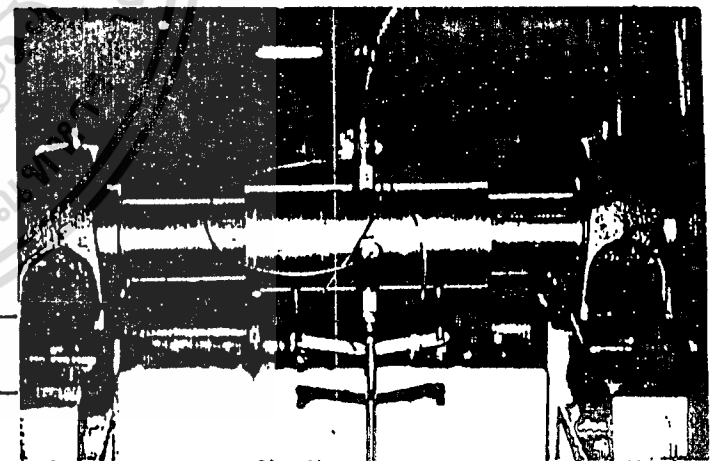
X-Y recorder



-12V. 0V. +12V. 0V. INPUT



Power Supply



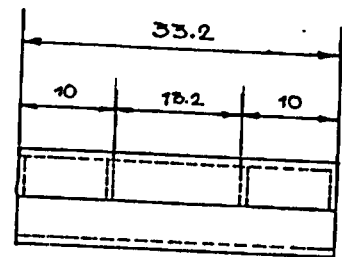
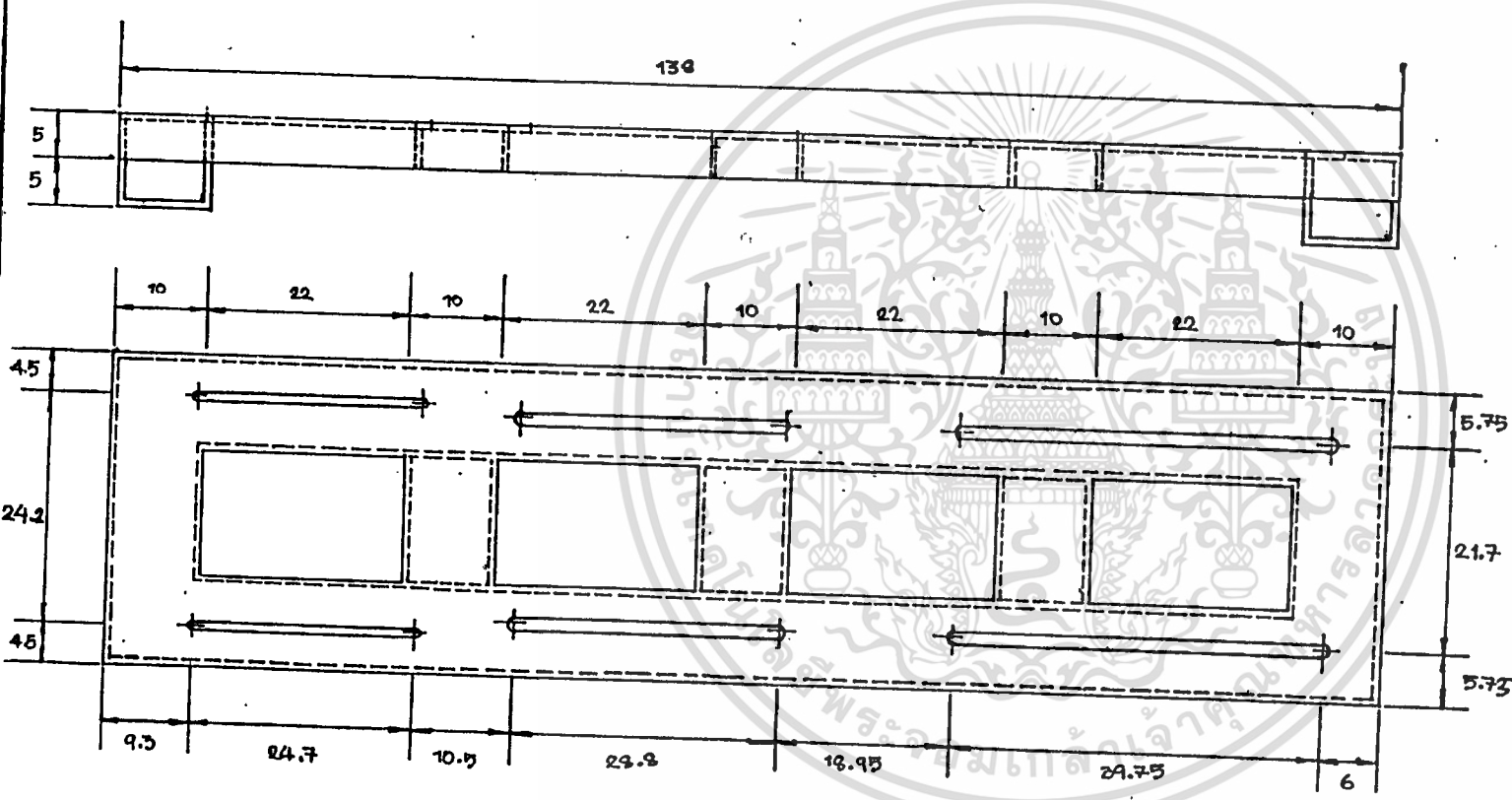
Journal Bearing

รูป 2.5 การต่ออุปกรณ์ทดลอง

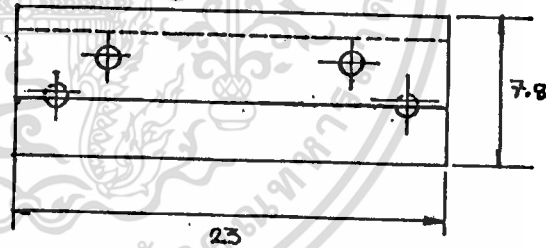
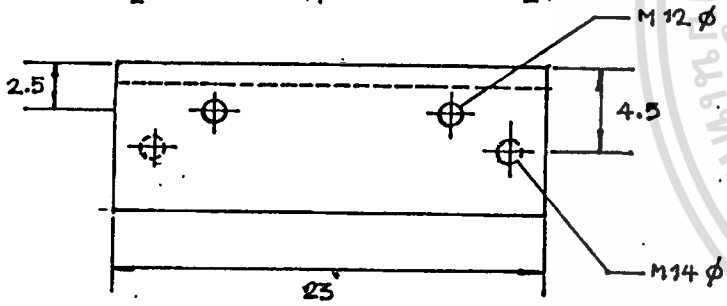
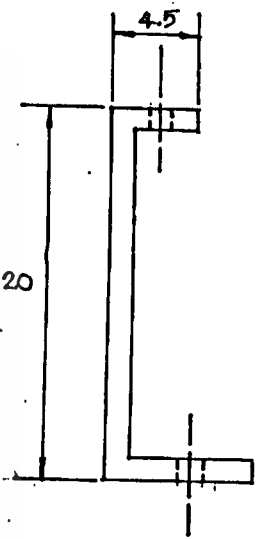
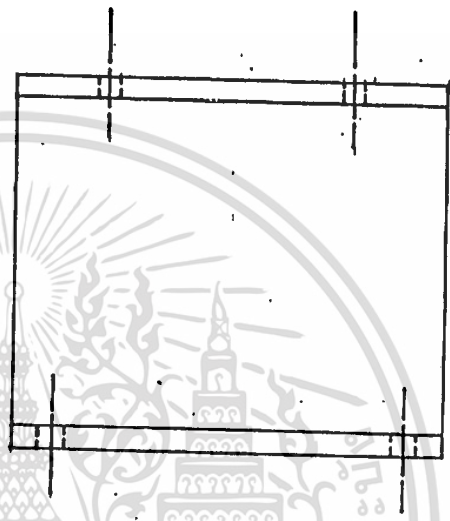
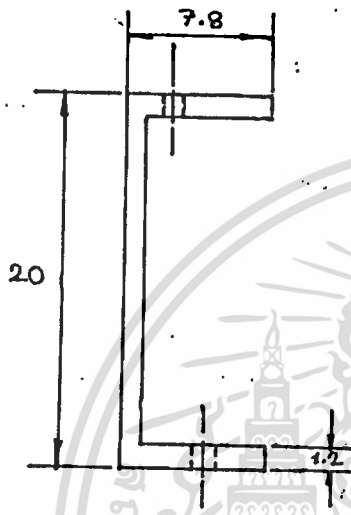
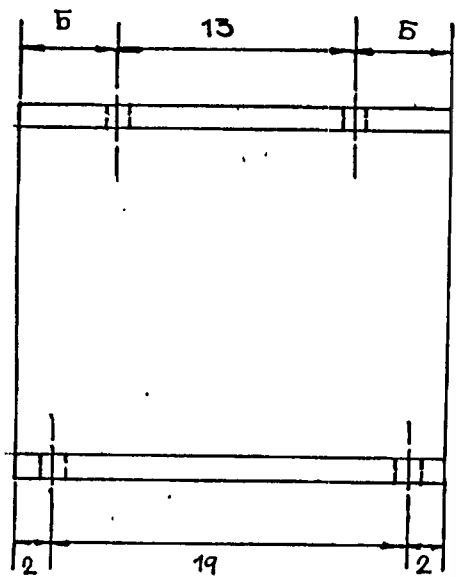
2. เลือกใช้เรนจ์ในช่วง 5V (2 in./V) กระดาษเลื่อนด้วยความเร็ว 300 มม./นาที (5 มม./วินาที) ปรับตาแหน่งเริ่มต้นให้ตรงศูนย์พอดี เปิดสวิทช์รับสัญญาณอินพุท



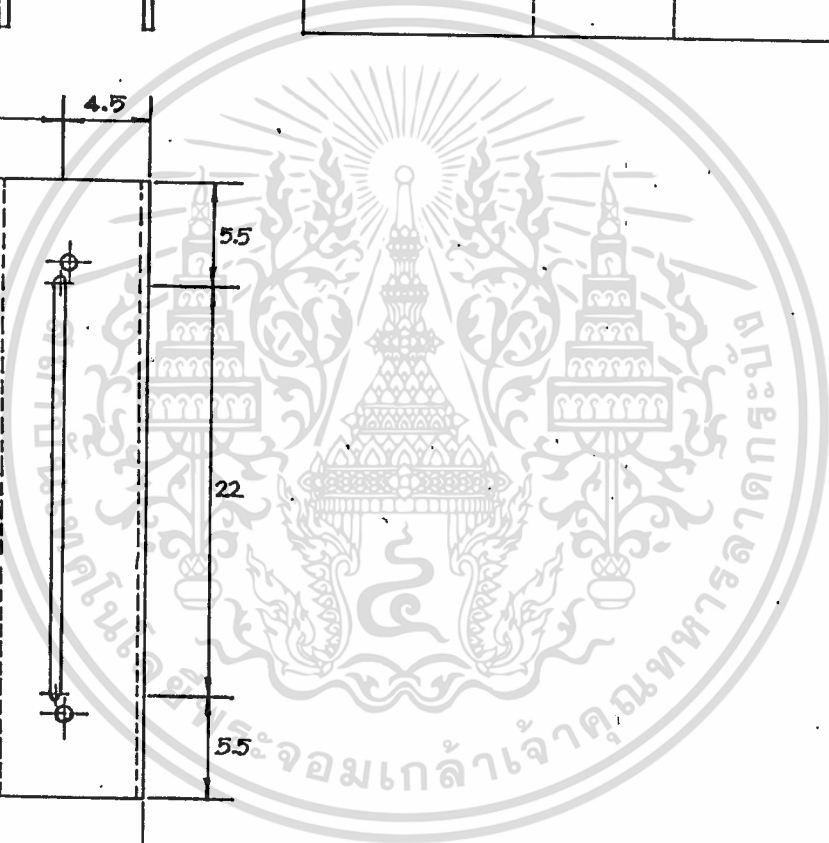
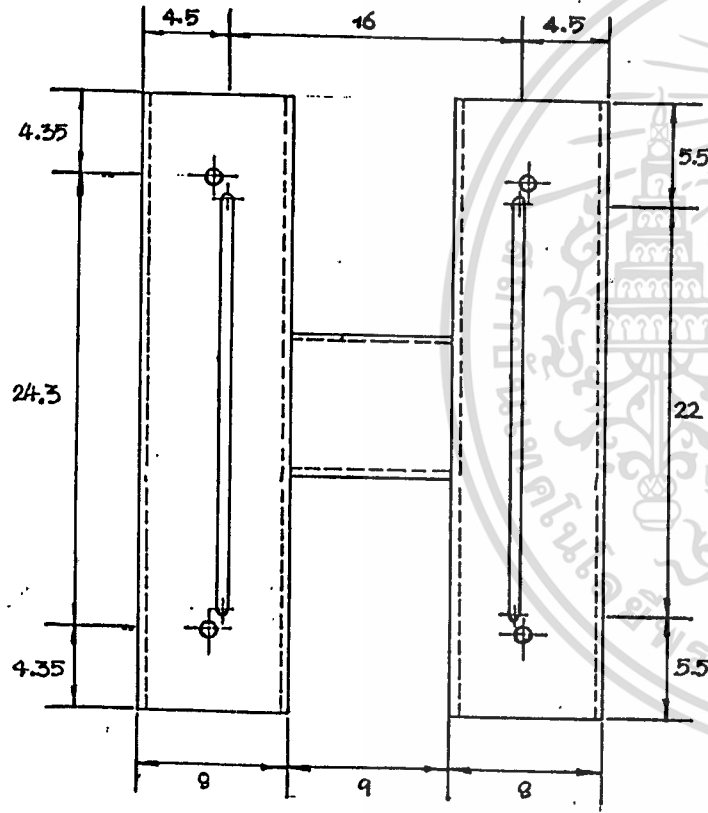
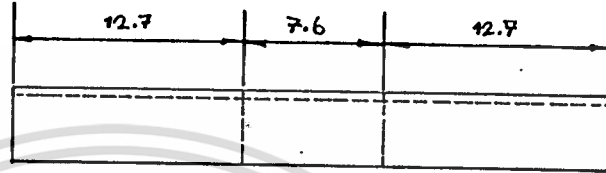
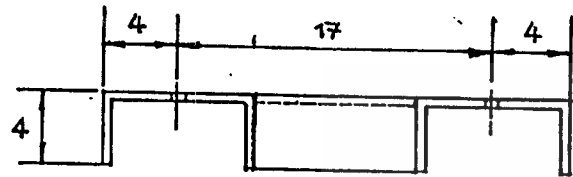
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



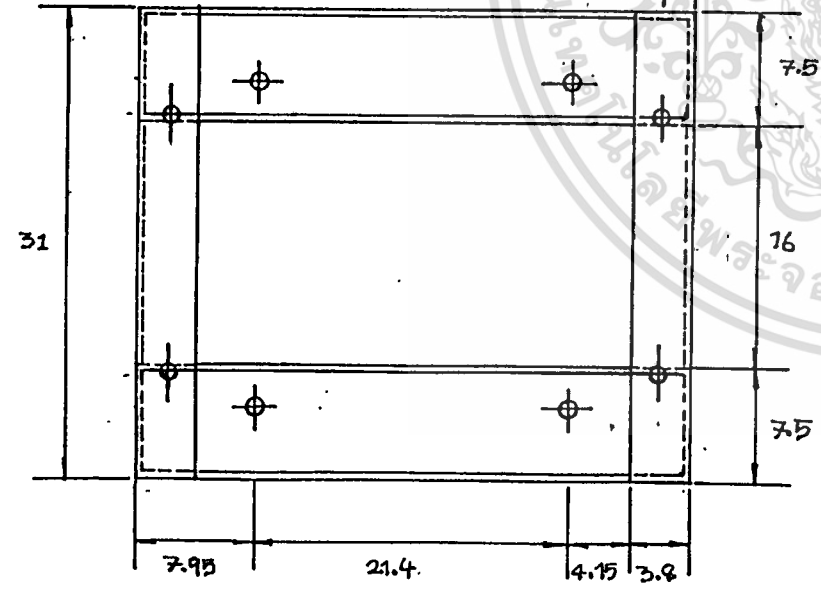
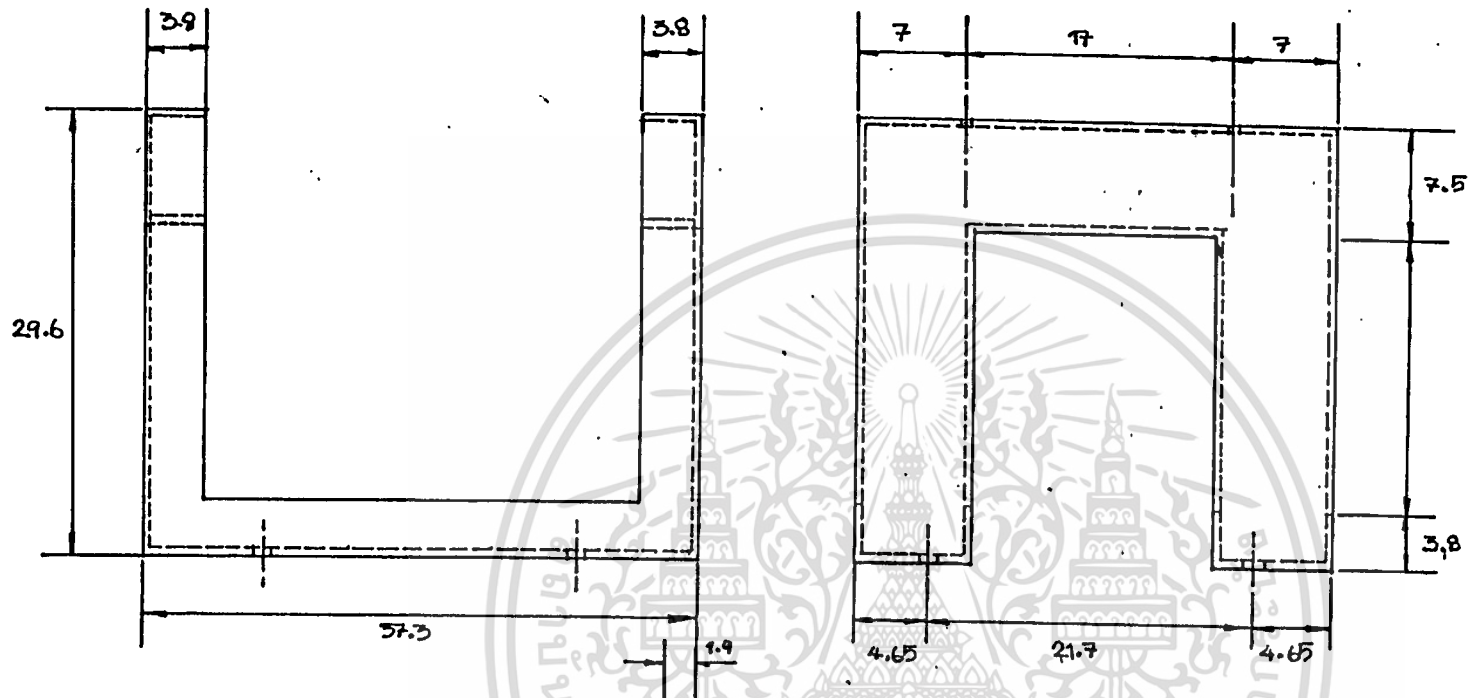
SCALE	MAIN BASE
1:9	< cm >



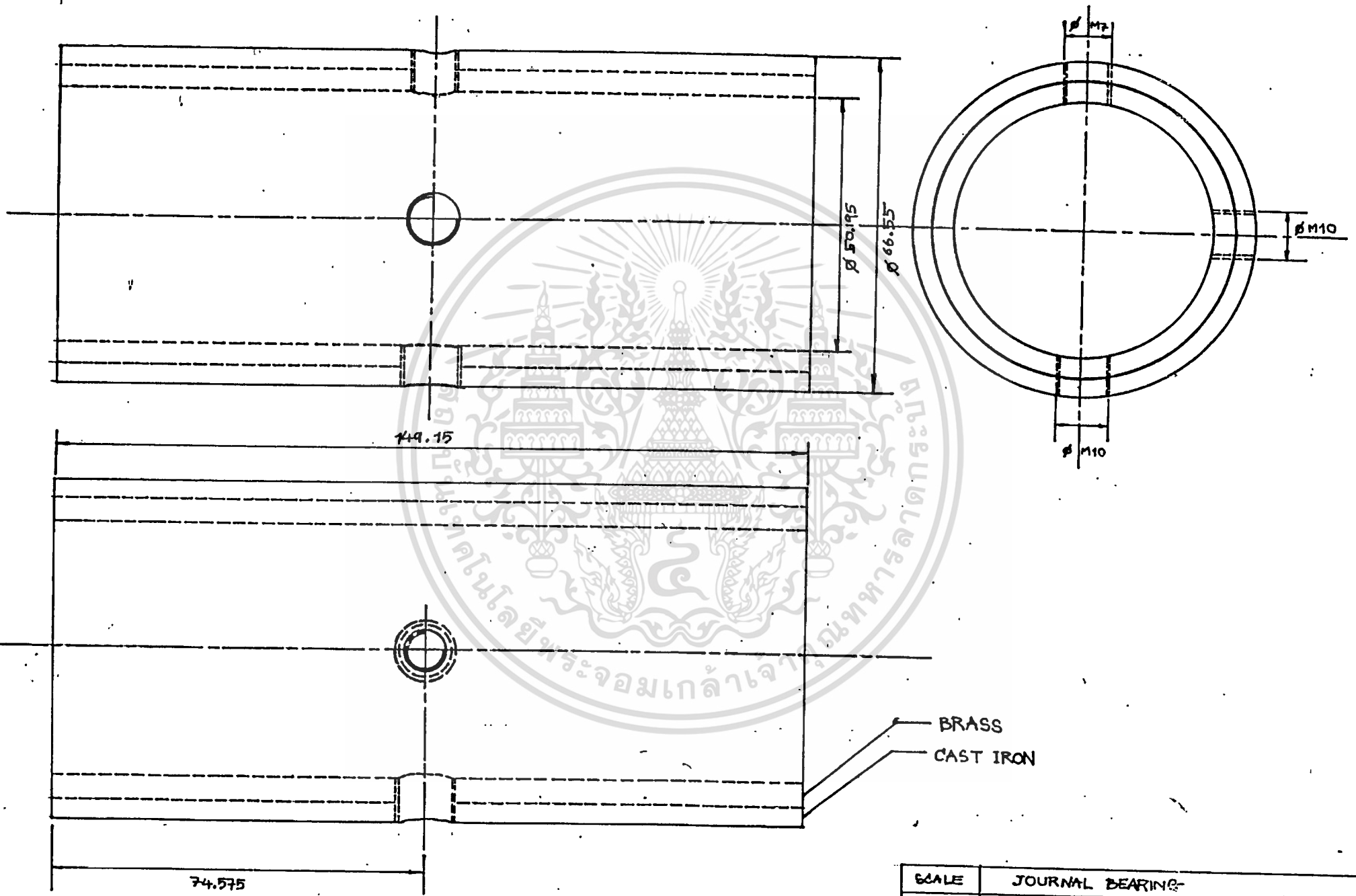
SCALE	TRANSMISSION SUPPORTED
1:4	< 6m



SCALE	MOTOR SUPPORTED
1:4	<cm>



SCALE	BEARING SUPPORTED
1:5	<dm>



SCALE	JOURNAL BEARING
1 : 10	<mm>

บทที่ 3

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

3.1 วิธีการทดลอง

จากตอนต้นที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เราจะทำการทดลองโดยการเปลี่ยนความเร็วรอบ 5 ชั้นตั้งแต่

1. 142 rpm
2. 189.3 rpm
3. 236.6 rpm
4. 284 rpm
5. 331 rpm

และในแต่ละความเร็วรอบจะทำการเปลี่ยนภาระ 5 ระดับตั้งแต่

1. ไม่มีภาระ
2. 5.1 kg (ที่แขนภาระหนัก 100 กรัม)
3. 10.1 kg
4. 15.1 kg
5. 20.1 kg

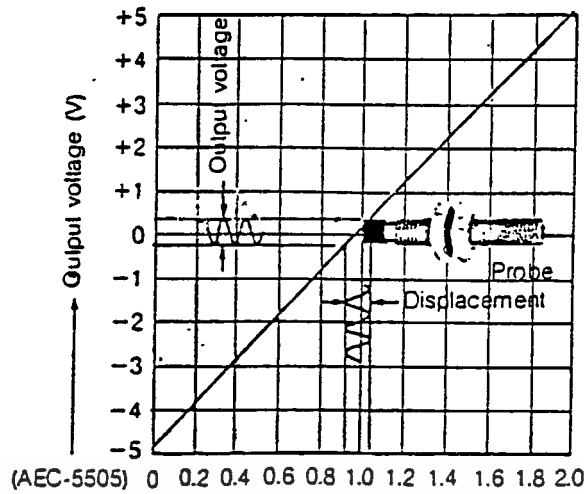
ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้ทำการเก็บข้อมูลให้พร้อมและทำการทดลองที่ความเร็วรอบแรก และไม่มีภาระ โดยกดสวิทซ์ให้มอเตอร์หมุนและทำการบันทึกข้อมูล
2. เปลี่ยนภาระที่ละ 5 กิโลกรัมไปจนถึง 20 กิโลกรัมและทำการบันทึกข้อมูลซึ่งจะนำมาคำนวณต่อไป

3.2 วิธีการคำนวณผลการทดลอง

ในตอนแรกข้อมูลที่ได้อาจมี 2 แบบคือ เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง x, Y และ t และกราฟแสดงการโคจรของเพลลาซึ่งจะพลอตแบบ $x-y$ ทั้งหมดนี้เป็นข้อมูลที่ยังไม่ได้แปลงค่า คือข้อมูลที่ได้จากแถบเซนเซอร์มีหน่วยเป็นโวลต์ เราต้องทำการเปลี่ยนหน่วยเป็นมิลลิเมตรโดยใช้กราฟรูปที่ 3.1 ในการเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.1

จากรูป 3.1 กราฟเป็นเส้นตรงสามารถเขียนเป็นสมการได้จาก

$$B = mA + b$$

A = ค่าระยะจัดหน่วยเป็นโวลต์

B = ค่าระยะจัดหน่วยเป็น มม.

แทนค่า A = -4.8 , B = 0 และ A = -4.3 , B = 0.1

แก้สมการหาค่าจะได้ m = 0.2 , b = 0.96

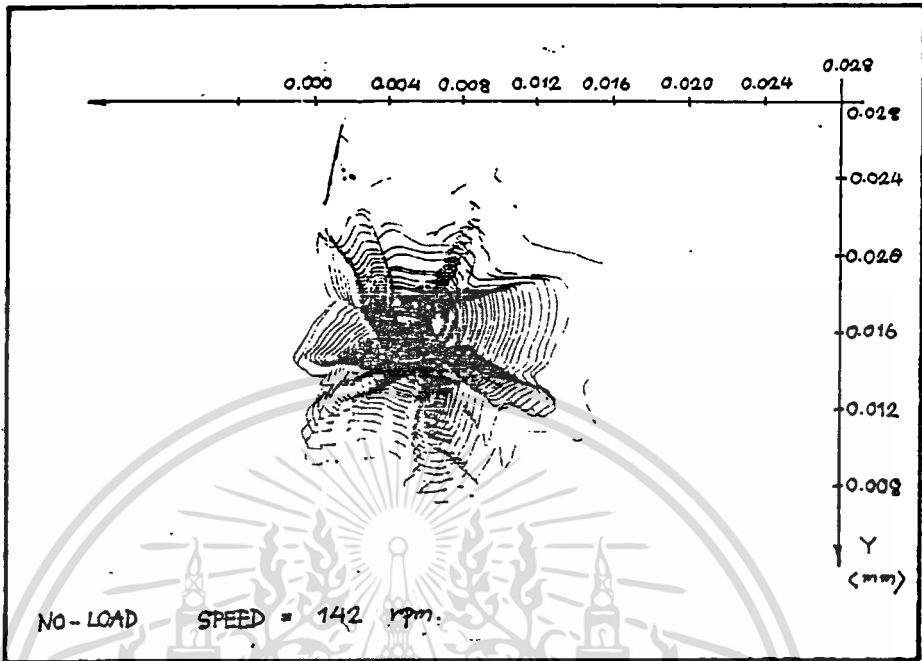
สมการเส้นตรงของกราฟนี้คือ

$$B = 0.2 A + 0.96$$

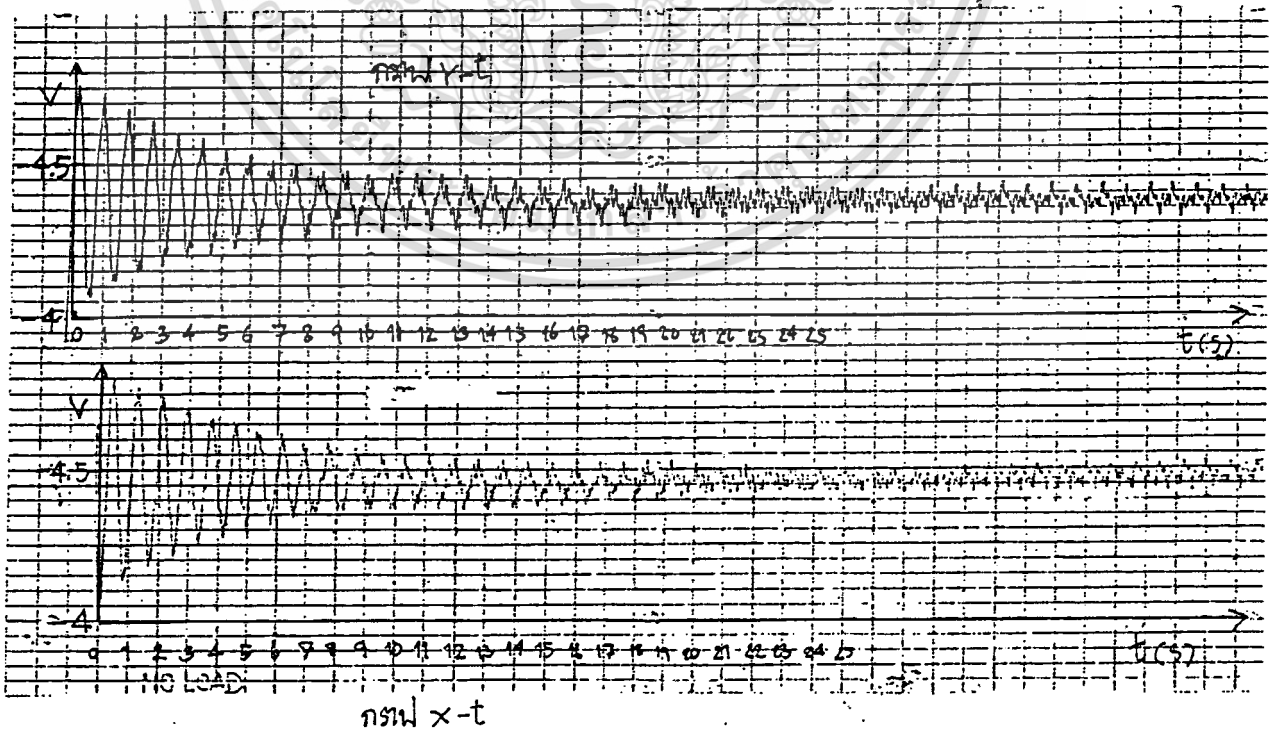
นำข้อมูล X,Y ที่ t ใด ๆ มาแปรค่าจะได้ตารางของ X,Y ที่ t ใด ๆ หน่วยเป็น มม.

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm:



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 0 Kg.

Speed = 142.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.05	-3.92	0.150	0.176
1	-4.35	-4.72	0.090	0.016
2	-4.60	-4.40	0.040	0.080
3	-4.65	-4.17	0.030	0.126
4	-4.40	-4.23	0.080	0.114
5	-4.35	-4.48	0.090	0.064
6	-4.50	-4.45	0.060	0.070
7	-4.52	-4.24	0.056	0.112
8	-4.40	-4.34	0.080	0.092
9	-4.36	-4.37	0.088	0.086
10	-4.38	-4.40	0.084	0.080
11	-4.47	-4.39	0.066	0.082
12	-4.50	-4.35	0.060	0.090
13	-4.38	-4.36	0.084	0.088
14	-4.40	-4.45	0.080	0.070
15	-4.50	-4.43	0.060	0.074
16	-4.52	-4.34	0.056	0.092
17	-4.47	-4.30	0.066	0.100
18	-4.47	-4.30	0.066	0.100
19	-4.45	-4.36	0.070	0.088
20	-4.46	-4.35	0.068	0.090
21	-4.44	-4.35	0.072	0.090
22	-4.43	-4.41	0.074	0.078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

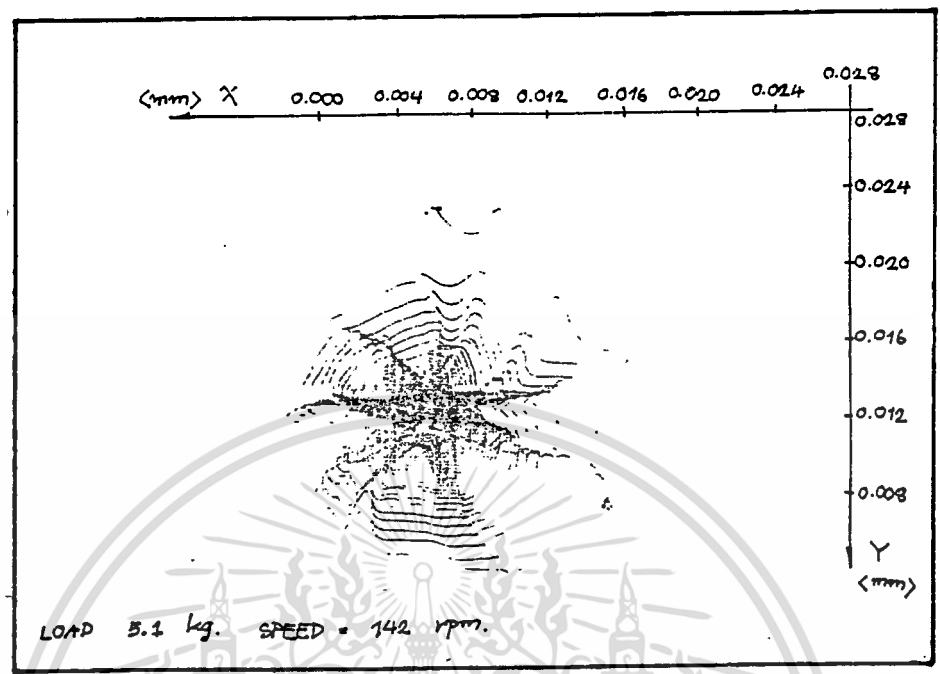
Load = 0 Kg.

Speed = 142.0 rpm.

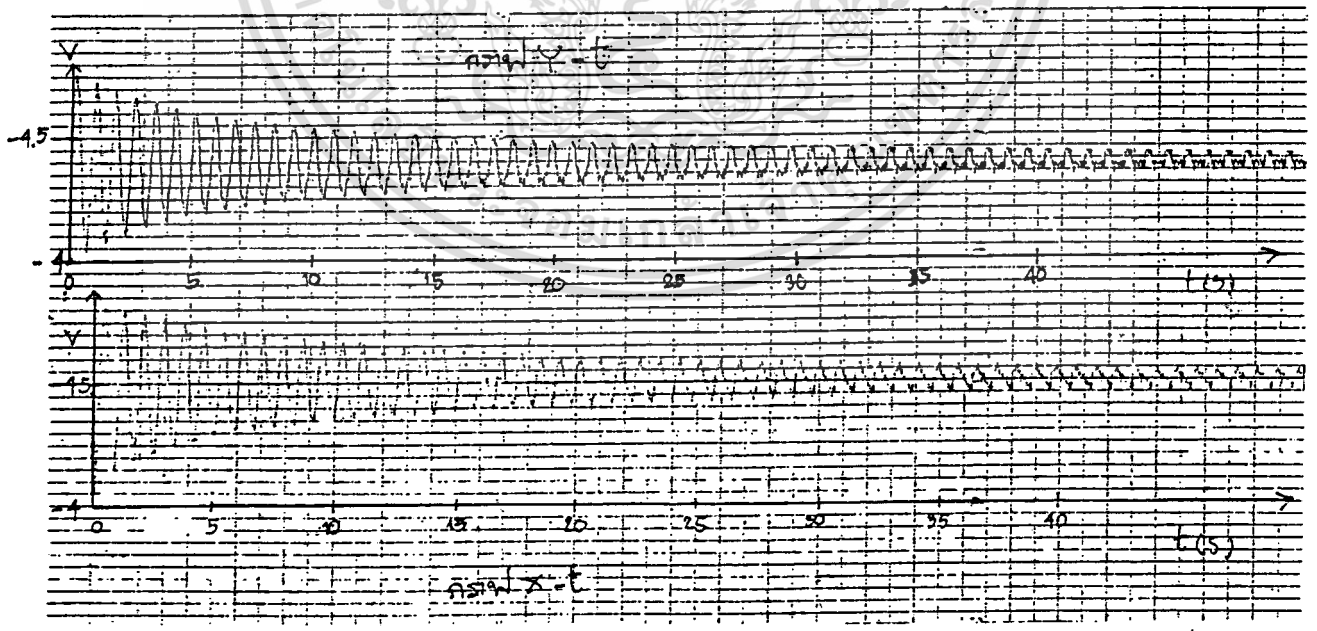
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.44	-4.42	0.072	0.076
24	-4.50	-4.42	0.060	0.076
25	-4.50	-4.33	0.060	0.094
26	-4.44	-4.33	0.072	0.094
27	-4.43	-4.35	0.074	0.090
28	-4.44	-4.35	0.072	0.090
29	-4.47	-4.35	0.066	0.090
30	-4.45	-4.38	0.070	0.084
31	-4.45	-4.35	0.070	0.090
32	-4.43	-4.38	0.074	0.084
33	-4.50	-4.35	0.060	0.090
34	-4.47	-4.38	0.066	0.084
35	-4.45	-4.35	0.070	0.090
36	-4.50	-4.35	0.060	0.090
37	-4.45	-4.40	0.070	0.080
38	-4.43	-4.35	0.074	0.090
39	-4.48	-4.35	0.064	0.090
-	-----	-----	-----	-----

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $X(t)$ และ $Y(t)$

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

Speed = 142.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.05	-4.75	0.150	0.010
1	-4.15	-4.72	0.130	0.016
2	-4.65	-4.55	0.030	0.050
3	-4.75	-4.27	0.010	0.106
4	-4.45	-4.17	0.070	0.126
5	-4.30	-4.43	0.100	0.074
6	-4.40	-4.55	0.080	0.050
7	-4.65	-4.35	0.030	0.090
8	-4.60	-4.23	0.040	0.114
9	-4.40	-4.33	0.080	0.094
10	-4.35	-4.50	0.090	0.060
11	-4.55	-4.40	0.050	0.080
12	-4.65	-4.30	0.030	0.100
13	-4.59	-4.30	0.042	0.100
14	-4.39	-4.40	0.082	0.080
15	-4.45	-4.50	0.070	0.060
16	-4.60	-4.35	0.040	0.090
17	-4.55	-4.30	0.050	0.100
18	-4.45	-4.35	0.070	0.090
19	-4.40	-4.47	0.080	0.066
20	-4.55	-4.45	0.050	0.070
21	-4.60	-4.32	0.040	0.096
22	-4.50	-4.31	0.060	0.098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

Speed = 142.0 rpm.

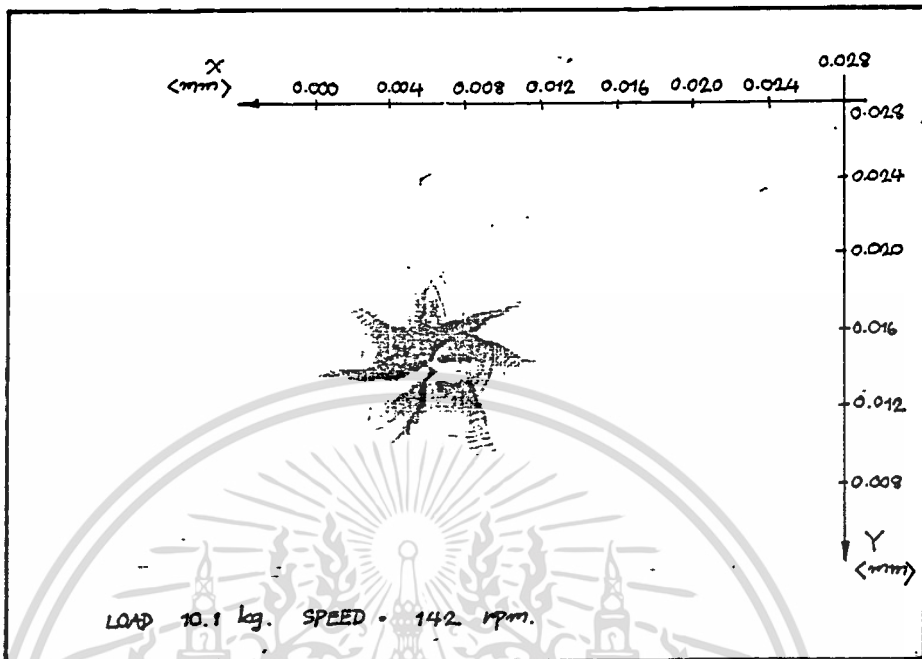
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.30	-4.38	0.100	0.084
24	-4.42	-4.46	0.076	0.068
25	-4.55	-4.40	0.050	0.080
26	-4.55	-4.35	0.050	0.090
27	-4.50	-4.36	0.060	0.088
28	-4.45	-4.40	0.070	0.080
29	-4.45	-4.45	0.070	0.070
30	-4.55	-4.33	0.050	0.094
31	-4.50	-4.34	0.060	0.092
32	-4.46	-4.37	0.068	0.086
33	-4.45	-4.44	0.070	0.072
34	-4.55	-4.47	0.050	0.066
35	-4.53	-4.37	0.054	0.086
36	-4.50	-4.37	0.060	0.086
37	-4.45	-4.43	0.070	0.074
38	-4.50	-4.43	0.060	0.074
39	-4.55	-4.33	0.050	0.094
40	-4.48	-4.35	0.064	0.090
41	-4.47	-4.35	0.066	0.090
42	-4.45	-4.43	0.070	0.074
43	-4.50	-4.43	0.060	0.074
44	-4.55	-4.34	0.050	0.092
45	-4.48	-4.35	0.064	0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

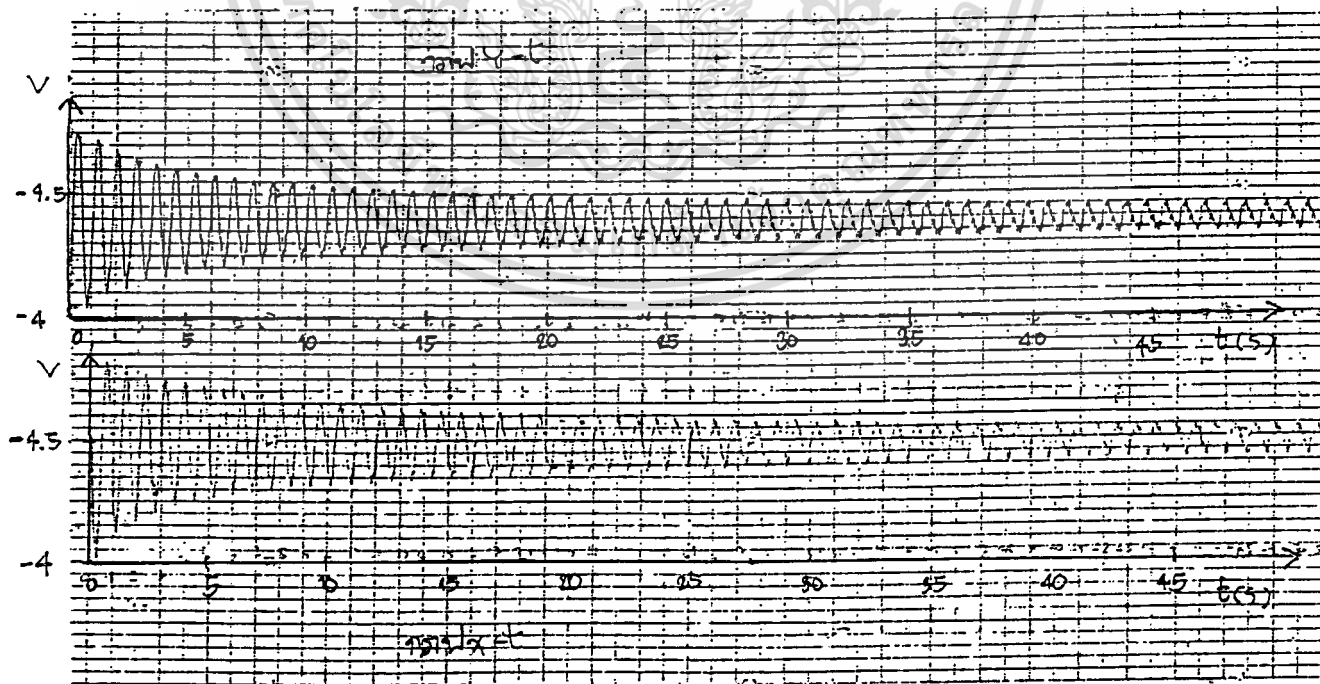
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RANGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

Speed = 142.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.53	-3.90	0.054	0.180
1	-4.25	-4.25	0.110	0.110
2	-4.17	-4.68	0.126	0.024
3	-4.60	-4.55	0.040	0.050
4	-4.70	-4.25	0.020	0.110
5	-4.45	-4.25	0.070	0.110
6	-4.28	-4.50	0.104	0.060
7	-4.50	-4.55	0.060	0.050
8	-4.67	-4.33	0.026	0.094
9	-4.55	-4.23	0.050	0.114
10	-4.40	-4.35	0.080	0.090
11	-4.35	-4.50	0.090	0.060
12	-4.45	-4.50	0.070	0.060
13	-4.63	-4.35	0.034	0.090
14	-4.55	-4.25	0.050	0.110
15	-4.40	-4.35	0.080	0.090
16	-4.35	-4.50	0.090	0.060
17	-4.55	-4.40	0.050	0.080
18	-4.60	-4.30	0.040	0.100
19	-4.45	-4.30	0.070	0.100
20	-4.37	-4.48	0.086	0.064
21	-4.50	-4.45	0.060	0.070
22	-4.60	-4.36	0.040	0.088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

Speed = 142.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.53	-4.30	0.054	0.100
24	-4.38	-4.40	0.084	0.080
25	-4.53	-4.48	0.054	0.064
26	-4.58	-4.35	0.044	0.090
27	-4.53	-4.30	0.054	0.100
28	-4.45	-4.35	0.070	0.090
29	-4.40	-4.47	0.080	0.066
30	-4.50	-4.45	0.060	0.070
31	-4.58	-4.37	0.044	0.086
32	-4.53	-4.32	0.054	0.096
33	-4.45	-4.35	0.070	0.090
34	-4.40	-4.45	0.080	0.070
35	-4.50	-4.40	0.060	0.080
36	-4.55	-4.35	0.050	0.090
37	-4.50	-4.33	0.060	0.094
38	-4.40	-4.43	0.080	0.074
39	-4.50	-4.45	0.060	0.070
40	-4.55	-4.36	0.050	0.088
41	-4.5	-4.33	0.060	0.094
42	-4.45	-4.35	0.070	0.090
43	-4.43	-4.44	0.074	0.072
44	-4.50	-4.37	0.060	0.086
45	-4.50	-4.35	0.060	0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

Speed = 142.0 rpm.

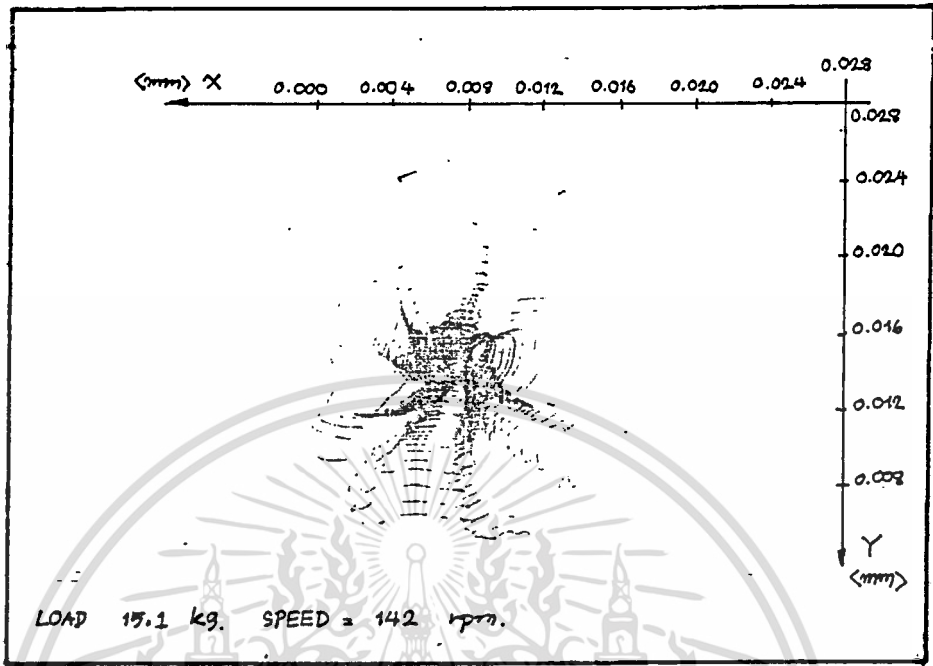
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
46	-4.45	-4.34	0.070	0.092
47	-4.42	-4.43	0.076	0.074
48	-4.50	-4.40	0.060	0.080
49	-4.55	-4.38	0.050	0.084
50	-4.50	-4.35	0.060	0.090
51	-4.50	-4.35	0.060	0.090
52	-4.43	-4.42	0.074	0.076
53	-4.50	-4.40	0.060	0.080
54	-4.52	-4.40	0.056	0.080
55	-4.50	-4.35	0.060	0.090
56	-4.43	-4.40	0.074	0.080
57	-4.48	-4.45	0.064	0.080
58	-4.50	-4.37	0.060	0.086
59	-4.50	-4.35	0.060	0.090
60	-4.50	-4.35	0.060	0.090
61	-4.43	-4.42	0.074	0.076
62	-4.50	-4.40	0.060	0.080
63	-4.50	-4.40	0.060	0.080
64	-4.50	-4.34	0.060	0.092
65	-4.43	-4.40	0.074	0.080
66	-4.50	-4.40	0.060	0.080
67	-4.50	-4.40	0.060	0.080
68	-4.53	-4.38	0.054	0.084

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

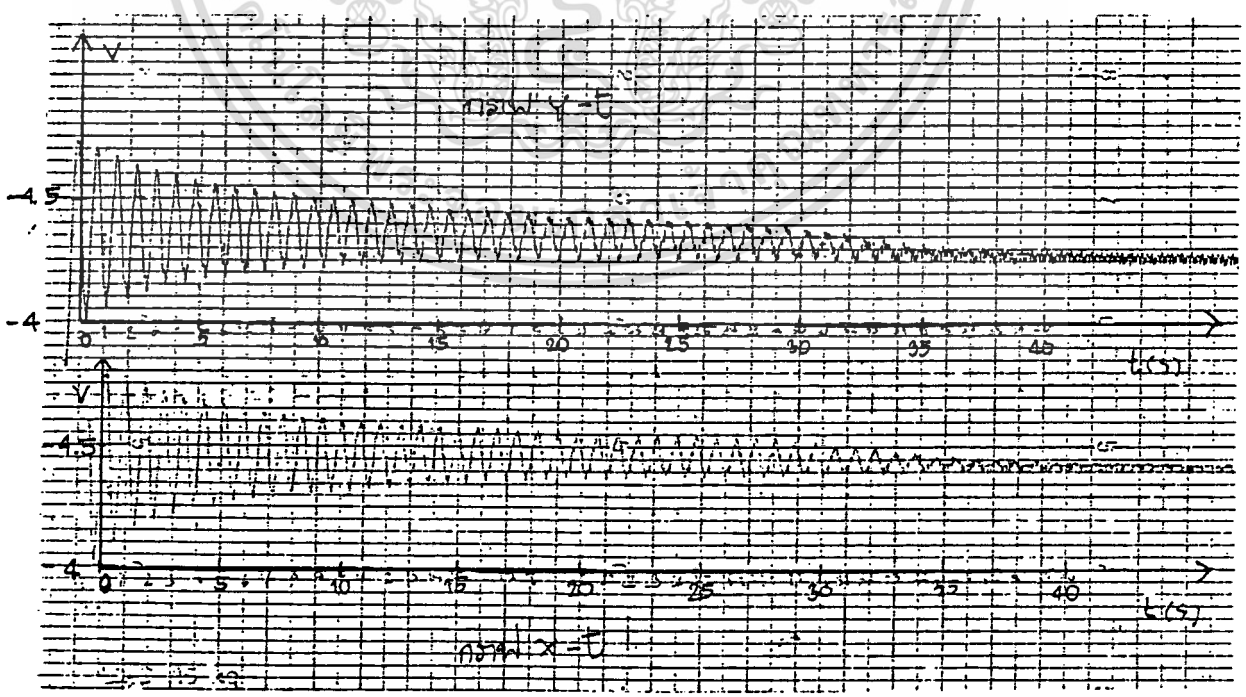
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $X(t)$ และ $Y(t)$

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 15.1 Kg.

Speed = 142.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.00	-4.73	0.160	0.014
1	-4.75	-4.13	0.010	0.134
2	-4.40	-4.20	0.080	0.120
3	-4.22	-4.50	0.116	0.060
4	-4.40	-4.55	0.080	0.050
5	-4.60	-4.40	0.040	0.080
6	-4.60	-4.18	0.040	0.124
7	-4.45	-4.35	0.070	0.090
8	-4.30	-4.45	0.100	0.070
9	-4.50	-4.45	0.060	0.070
10	-4.60	-4.30	0.040	0.100
11	-4.50	-4.23	0.060	0.114
12	-4.35	-4.40	0.090	0.080
13	-4.35	-4.50	0.090	0.060
14	-4.50	-4.43	0.060	0.074
15	-4.70	-4.30	0.020	0.100
16	-4.45	-4.30	0.070	0.100
17	-4.40	-4.40	0.080	0.080
18	-4.50	-4.40	0.060	0.080
19	-4.46	-4.30	0.068	0.100
20	-4.48	-4.27	0.064	0.106
21	-4.38	-4.35	0.084	0.090
22	-4.40	-4.40	0.080	0.080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 15.1 Kg.

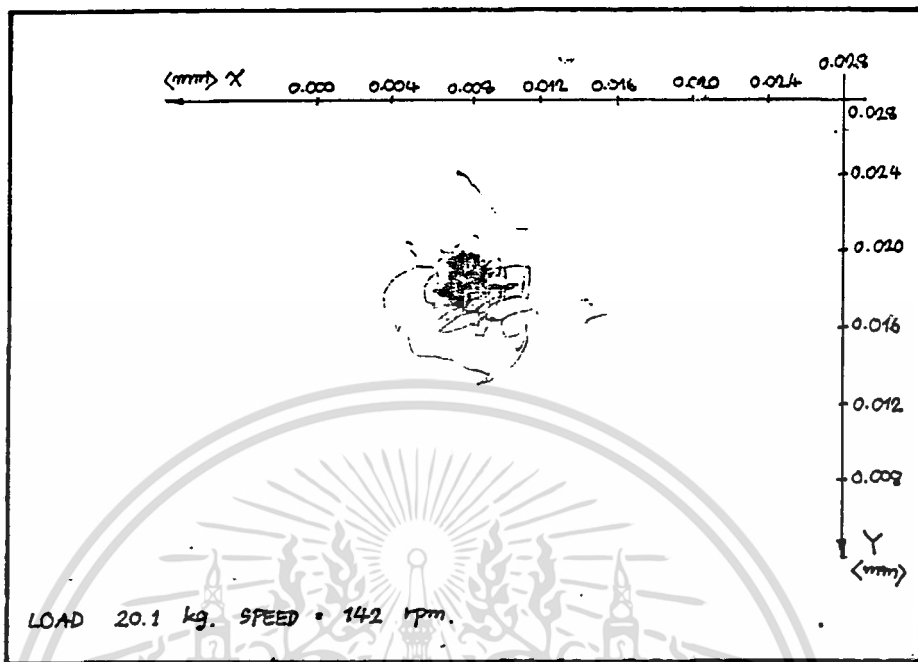
Speed = 142.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.50	-4.35	0.060	0.090
24	-4.55	-4.25	0.050	0.110
25	-4.40	-4.30	0.080	0.100
26	-4.38	-4.40	0.084	0.080
27	-4.45	-4.40	0.070	0.080
28	-4.50	-4.30	0.060	0.100
29	-4.45	-4.25	0.070	0.110
30	-4.38	-4.33	0.084	0.094
31	-4.43	-4.37	0.074	0.086
32	-4.45	-4.35	0.070	0.090
33	-4.48	-4.30	0.064	0.100
34	-4.40	-4.30	0.080	0.100
35	-4.40	-4.30	0.080	0.100
36	-4.40	-4.30	0.080	0.100
37	-4.43	-4.30	0.074	0.100
38	-4.43	-4.25	0.074	0.110
39	-4.40	-4.25	0.080	0.110
40	-4.40	-4.25	0.080	0.110
-	-----	-----	-----	-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

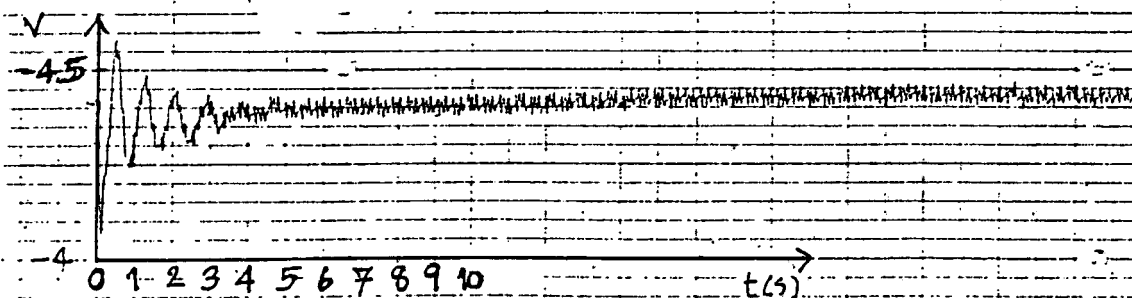
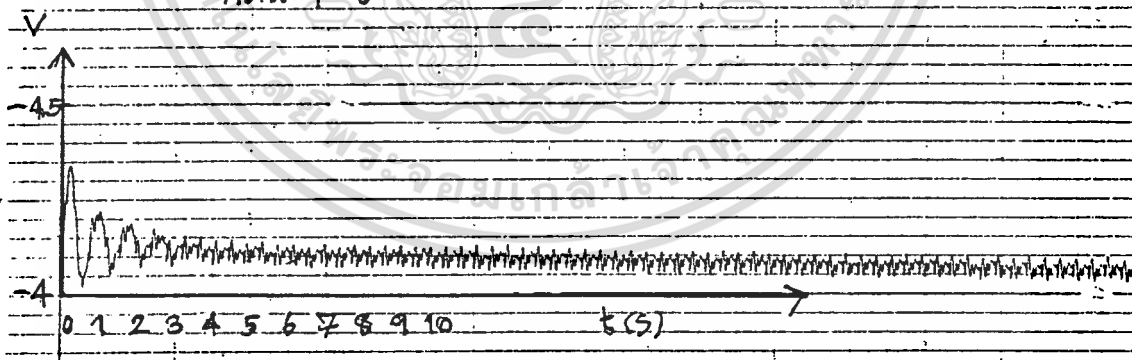
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $X(t)$ และ $Y(t)$

RENCE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t

กราฟ $Y-t$



กราฟ $X-t$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 20.1 Kg.

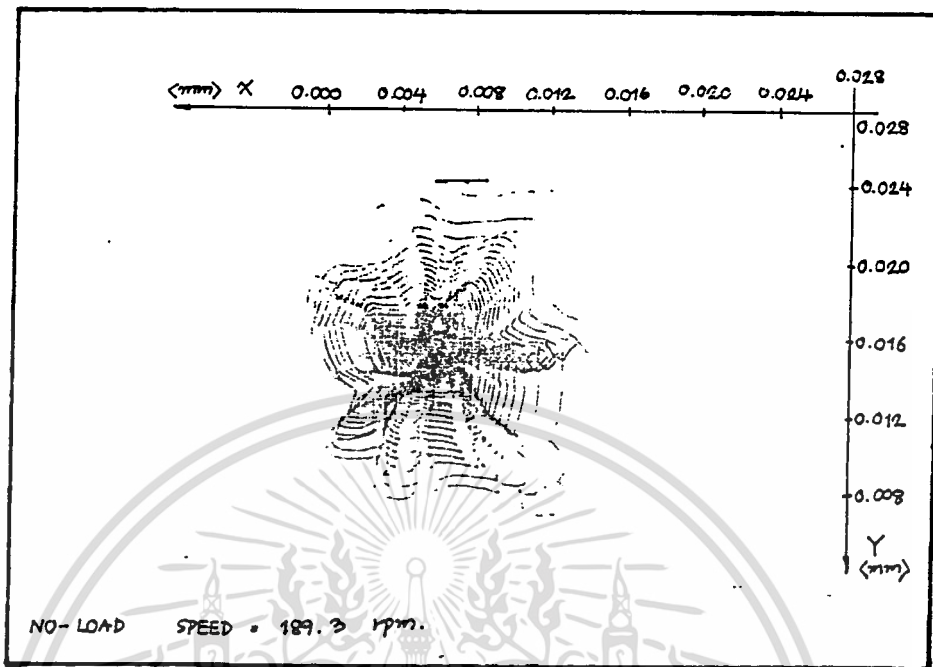
Speed = 142.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.08	-4.35	0.144	0.090
1	-4.38	-4.22	0.084	0.116
2	-4.40	-4.15	0.080	0.130
3	-4.38	-4.08	0.084	0.144
4	-4.37	-4.09	0.086	0.142
5	-4.38	-4.10	0.084	0.140
6	-4.38	-4.08	0.084	0.144
7	-4.38	-4.08	0.084	0.144
8	-4.38	-4.12	0.084	0.136
9	-4.40	-4.08	0.080	0.144
10	-4.43	-4.09	0.074	0.142
	-----	-----	-----	-----

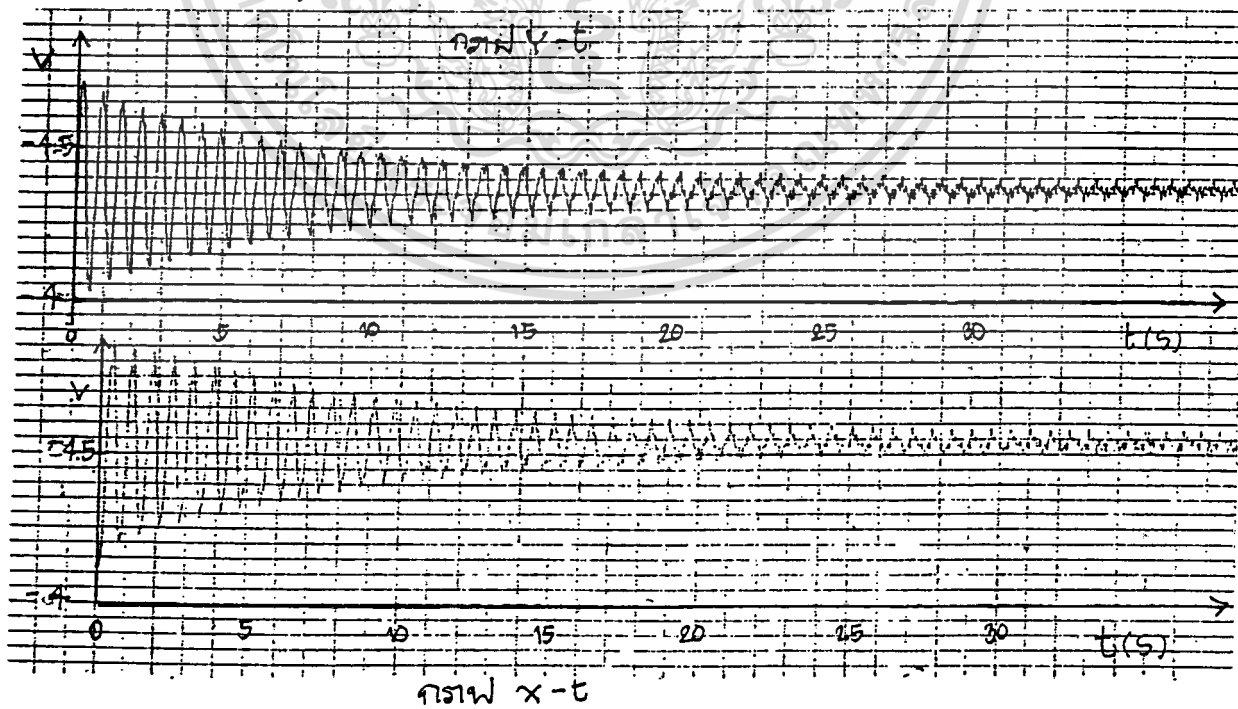
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 0 Kg.

Speed = 189.3 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.12	-4.70	0.136	0.020
1	-4.65	-4.50	0.030	0.060
2	-4.50	-4.20	0.060	0.120
3	-4.55	-4.50	0.050	0.060
4	-4.55	-4.25	0.050	0.110
5	-4.60	-4.50	0.040	0.060
6	-4.50	-4.30	0.060	0.100
7	-4.65	-4.35	0.030	0.090
8	-4.45	-4.35	0.070	0.090
9	-4.60	-4.35	0.050	0.090
10	-4.55	-4.35	0.050	0.090
11	-4.55	-4.35	0.050	0.090
12	-4.50	-4.35	0.060	0.090
13	-4.60	-4.35	0.040	0.090
14	-4.50	-4.34	0.060	0.092
15	-4.55	-4.40	0.050	0.080
16	-4.45	-4.40	0.070	0.080
17	-4.55	-4.35	0.050	0.092
18	-4.47	-4.34	0.066	0.090
19	-4.60	-4.35	0.040	0.080
20	-4.51	-4.40	0.058	0.080
21	-4.60	-4.35	0.040	0.092
22	-4.52	-4.40	0.056	0.080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 0 Kg.

Speed = 189.3 rpm.

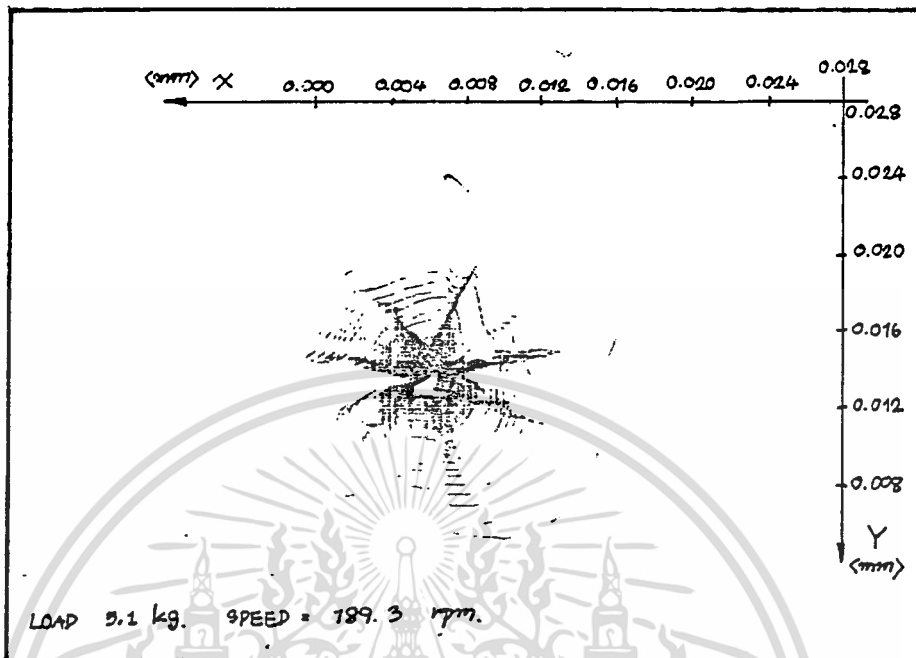
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.60	-4.35	0.040	0.090
24	-4.53	-4.40	0.054	0.080
25	-4.55	-4.36	0.050	0.088
26	-4.50	-4.34	0.060	0.092
27	-4.52	-4.36	0.056	0.088
28	-4.54	-4.38	0.052	0.084
29	-4.52	-4.37	0.056	0.086
30	-4.54	-4.37	0.052	0.086
31	-4.52	-4.36	0.056	0.088
32	-4.55	-4.38	0.050	0.084
33	-4.57	-4.35	0.046	0.090
34	-4.51	-4.35	0.058	0.090
35	-4.55	-4.38	0.050	0.084
36	-4.51	-4.35	0.050	0.090
37	-4.50	-4.37	0.060	0.086
38	-4.52	-4.40	0.056	0.080
39	-4.55	-4.35	0.050	0.090
40	-4.52	-4.40	0.056	0.080
41	-4.56	-4.38	0.048	0.084
42	-4.53	-4.35	0.054	0.090
43	-4.55	-4.36	0.050	0.088
44	-4.52	-4.36	0.056	0.088
45	-4.55	-4.33	0.050	0.094

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

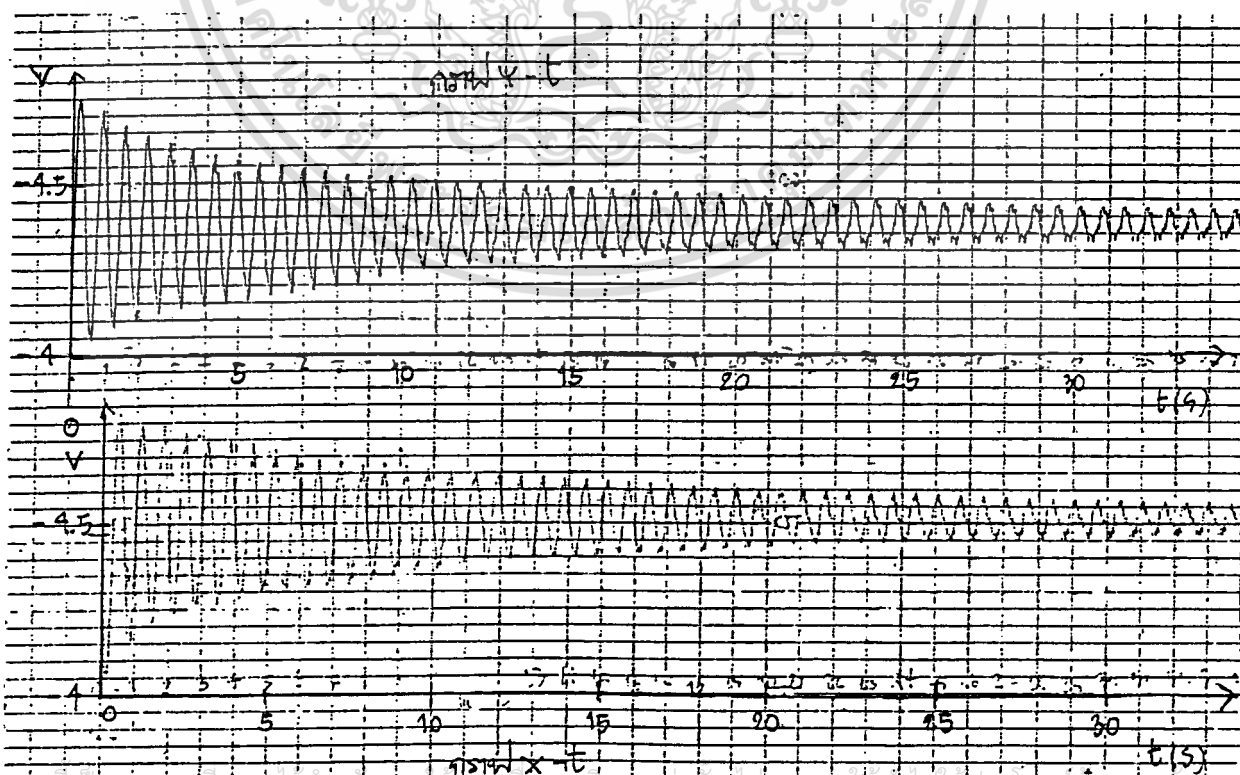
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขงนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

Speed = 189.3 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.06	-4.20	0.148	0.120
1	-4.40	-4.50	0.080	0.060
2	-4.45	-4.25	0.070	0.110
3	-4.55	-4.45	0.050	0.080
4	-4.50	-4.20	0.060	0.120
5	-4.45	-4.50	0.070	0.060
6	-4.55	-4.17	0.050	0.126
7	-4.45	-4.50	0.070	0.060
8	-4.50	-4.20	0.060	0.120
9	-4.45	-4.47	0.070	0.066
10	-4.50	-4.23	0.060	0.114
11	-4.45	-4.45	0.070	0.070
12	-4.60	-4.26	0.040	0.108
13	-4.40	-4.45	0.080	0.070
14	-4.52	-4.27	0.056	0.106
15	-4.50	-4.40	0.060	0.080
16	-4.48	-4.35	0.064	0.090
17	-4.56	-4.37	0.048	0.086
18	-4.43	-4.35	0.074	0.090
19	-4.60	-4.35	0.040	0.090
20	-4.44	-4.35	0.072	0.096
21	-4.59	-4.32	0.042	0.096
22	-4.44	-4.35	0.072	0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

Speed = 189.3 rpm.

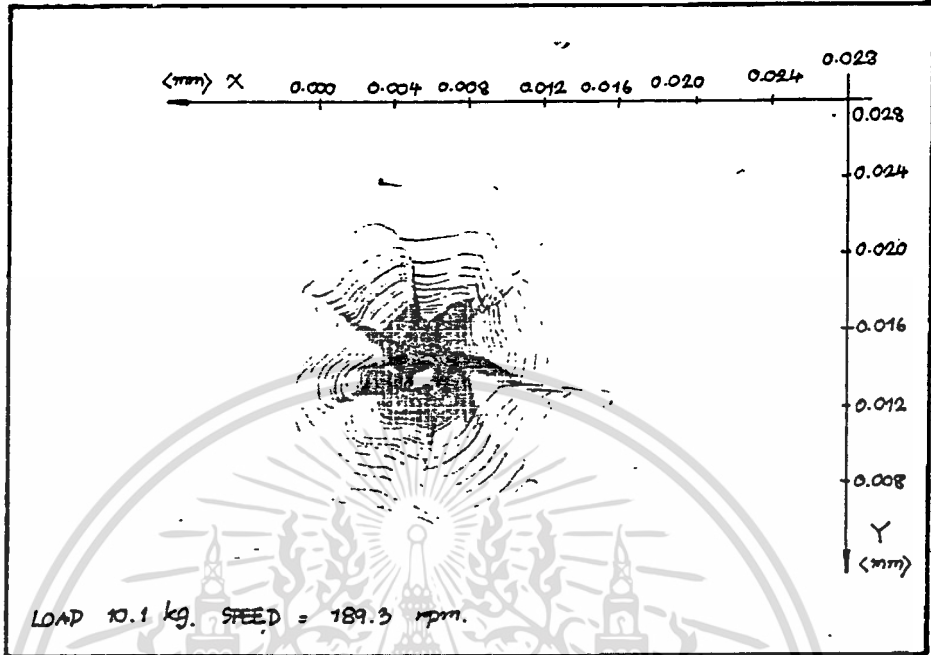
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.58	-4.35	0.044	0.090
24	-4.45	-4.35	0.070	0.090
25	-4.56	-4.35	0.048	0.090
26	-4.45	-4.35	0.070	0.090
27	-4.56	-4.35	0.048	0.090
28	-4.45	-4.35	0.070	0.090
29	-4.56	-4.37	0.048	0.086
30	-4.45	-4.35	0.070	0.090
31	-4.55	-4.33	0.050	0.094
32	-4.46	-4.37	0.068	0.086
33	-4.55	-4.33	0.050	0.094
34	-4.46	-4.36	0.068	0.088
35	-4.55	-4.35	0.050	0.090
36	-4.47	-4.40	0.066	0.080
37	-4.53	-4.36	0.054	0.088
38	-4.48	-4.42	0.064	0.012
39	-4.50	-4.36	0.054	0.088
40	-4.48	-4.41	0.064	0.078
41	-4.50	-4.36	0.060	0.088
42	-4.48	-4.41	0.064	0.078
43	-4.52	-4.36	0.056	0.088
44	-4.49	-4.41	0.062	0.078
45	-4.52	-4.36	0.056	0.088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไข ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

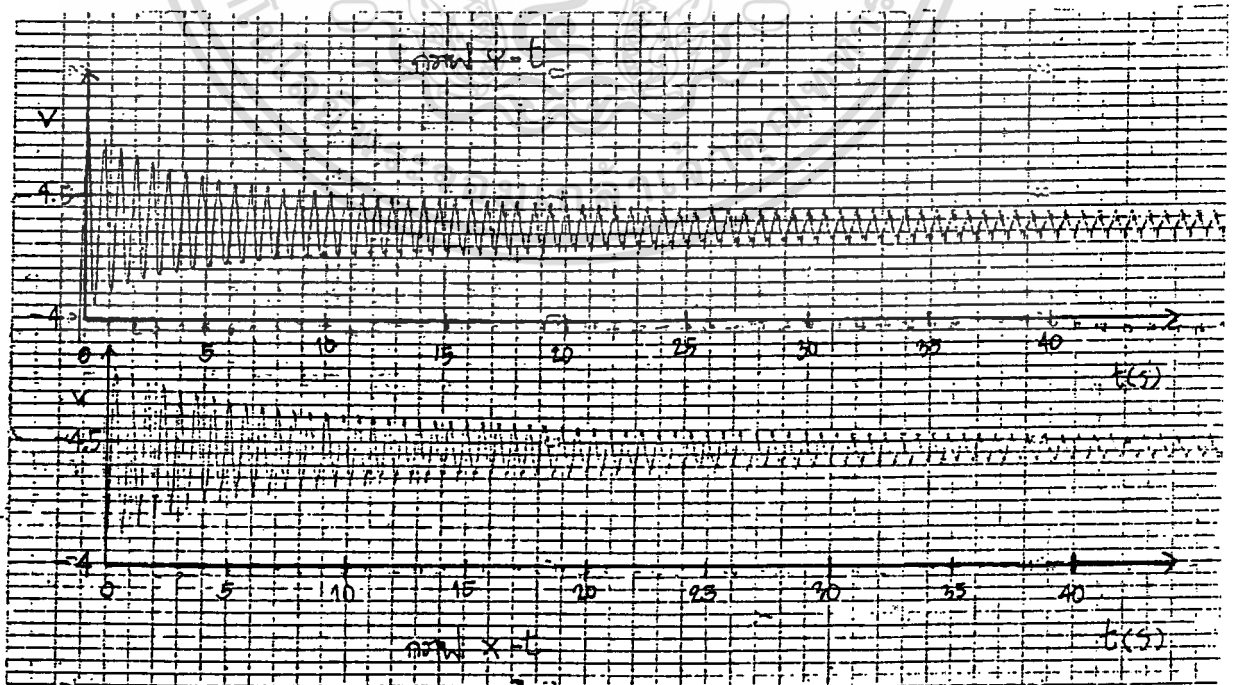
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $X(t)$ และ $Y(t)$

RENCE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

Speed = 189.3 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.00	-4.65	0.160	0.030
1	-4.87	-4.15	0.006	0.130
2	-4.18	-4.55	0.124	0.050
3	-4.70	-4.25	0.020	0.110
4	-4.25	-4.40	0.110	0.080
5	-4.65	-4.30	0.030	0.100
6	-4.35	-4.40	0.090	0.080
7	-4.64	-4.35	0.032	0.090
8	-4.30	-4.36	0.100	0.088
9	-4.60	-4.33	0.040	0.094
10	-4.40	-4.36	0.080	0.088
11	-4.60	-4.34	0.040	0.092
12	-4.33	-4.35	0.094	0.090
13	-4.60	-4.33	0.040	0.094
14	-4.34	-4.40	0.092	0.080
15	-4.59	-4.28	0.042	0.104
16	-4.35	-4.41	0.070	0.078
17	-4.55	-4.30	0.050	0.100
18	-4.45	-4.48	0.070	0.062
19	-4.50	-4.30	0.060	0.100
20	-4.40	-4.47	0.080	0.066
21	-4.50	-4.31	0.060	0.098
22	-4.40	-4.46	0.080	0.068

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

Speed = 189.3 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.50	-4.32	0.060	0.096
24	-4.40	-4.46	0.080	0.068
25	-4.50	-4.32	0.060	0.096
26	-4.40	-4.45	0.080	0.070
27	-4.50	-4.32	0.060	0.096
28	-4.40	-4.45	0.080	0.070
29	-4.50	-4.30	0.060	0.100
30	-4.40	-4.45	0.080	0.070
31	-4.45	-4.30	0.070	0.100
32	-4.40	-4.45	0.080	0.070
33	-4.45	-4.30	0.070	0.100
34	-4.43	-4.42	0.074	0.076
35	-4.45	-4.36	0.070	0.088
36	-4.51	-4.42	0.058	0.074
37	-4.45	-4.36	0.070	0.088
38	-4.52	-4.37	0.056	0.086
39	-4.45	-4.36	0.070	0.088
40	-4.45	-4.37	0.070	0.086
41	-4.45	-4.36	0.070	0.088
42	-4.50	-4.41	0.060	0.078
43	-4.45	-4.36	0.070	0.078
44	-4.45	-4.41	0.070	0.078
45	-4.46	-4.36	0.068	0.088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

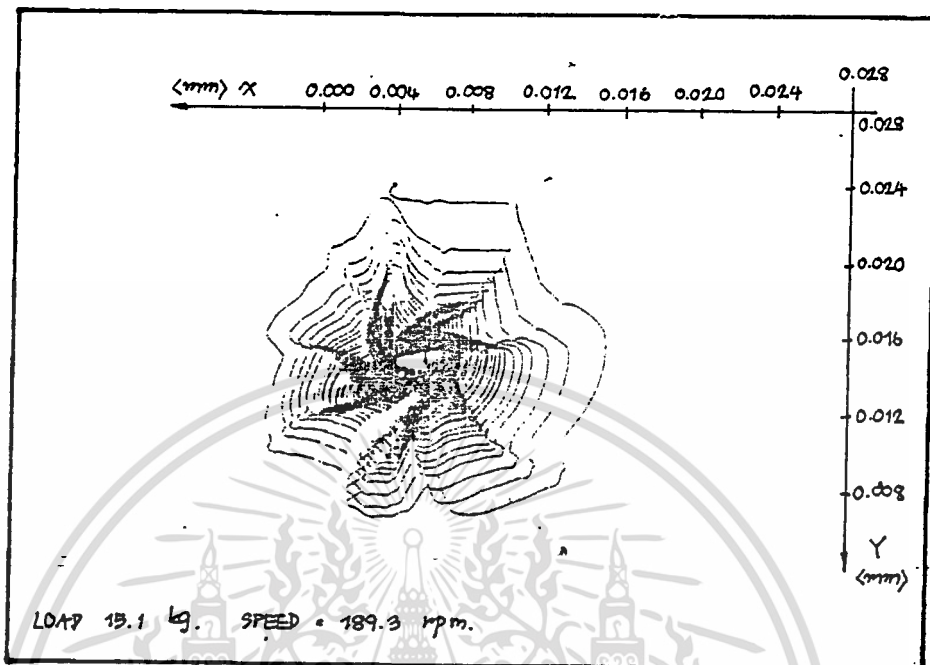
Load = 10.1 Kg.

Speed = 189.3 rpm.

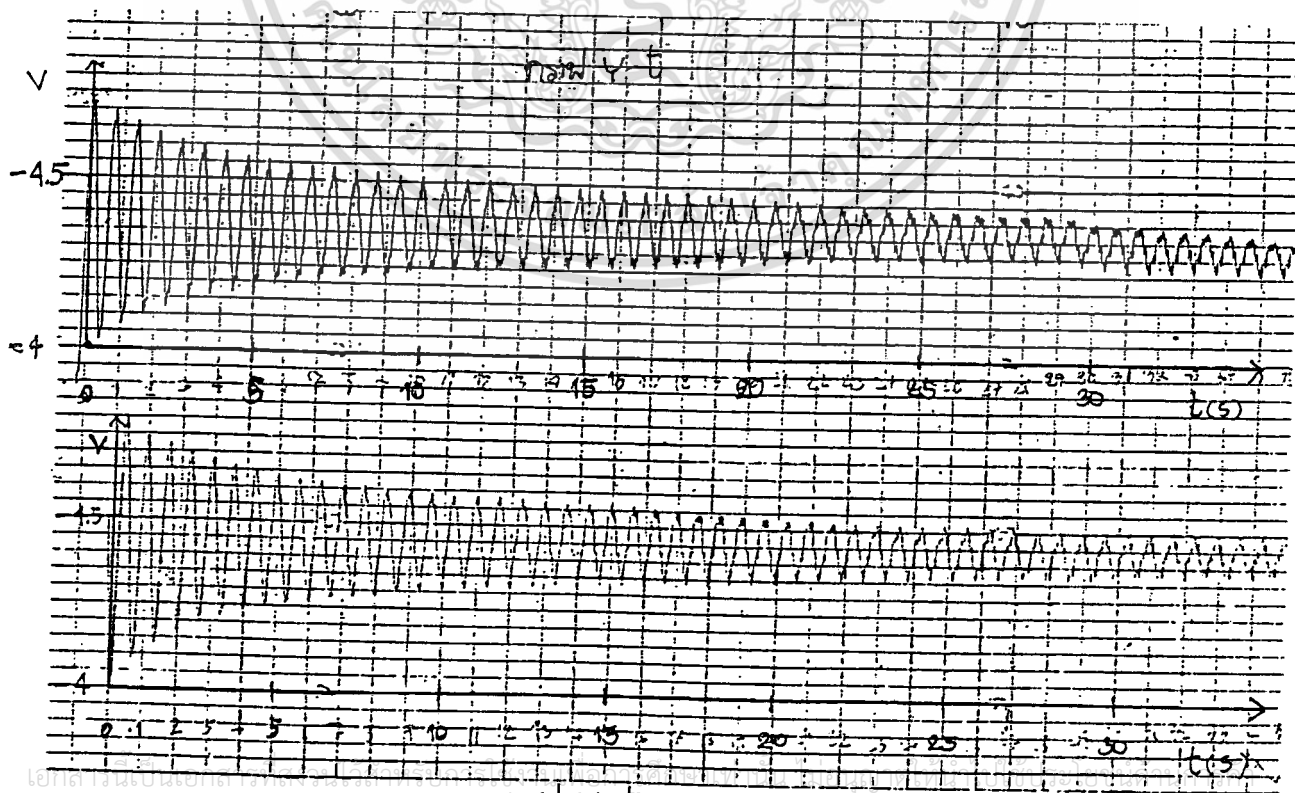
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
46	-4.50	-4.41	0.060	0.078
47	-4.46	-4.36	0.068	0.088
48	-4.50	-4.37	0.060	0.086
49	-4.45	-4.36	0.070	0.088
50	-4.50	-4.37	0.060	0.086
51	-4.45	-4.37	0.070	0.086
52	-4.50	-4.34	0.060	0.092
53	-4.45	-4.37	0.070	0.086
54	-4.50	-4.34	0.060	0.092
55	-4.42	-4.41	0.076	0.078
56	-4.50	-4.35	0.060	0.090
57	-4.45	-4.41	0.070	0.078
58	-4.50	-4.37	0.060	0.086
59	-4.45	-4.41	0.070	0.078
60	-4.48	-4.37	0.064	0.086
61	-4.43	-4.40	0.074	0.080
62	-4.47	-4.37	0.066	0.086
63	-4.46	-4.40	0.068	0.080
64	-4.50	-4.37	0.060	0.086
65	-4.43	-4.40	0.074	0.080
66	-4.47	-4.37	0.066	0.086
67	-4.45	-4.40	0.070	0.080
68	-4.45	-4.37	0.070	0.086

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 15.1 Kg.

Speed = 189.3 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.00	-4.74	0.160	0.012
1	-4.78	-4.10	0.004	0.140
2	-4.20	-4.45	0.012	0.070
3	-4.71	-4.30	0.018	0.100
4	-4.25	-4.40	0.110	0.080
5	-4.67	-4.30	0.026	0.100
6	-4.28	-4.40	0.104	0.080
7	-4.65	-4.30	0.026	0.100
8	-4.30	-4.45	0.100	0.070
9	-4.62	-4.30	0.036	0.100
10	-4.31	-4.42	0.098	0.076
11	-4.60	-4.30	0.040	0.100
12	-4.33	-4.42	0.094	0.076
13	-4.6	-4.28	0.040	0.104
14	-4.36	-4.41	0.088	0.078
15	-4.60	-4.28	0.040	0.104
16	-4.36	-4.50	0.088	0.060
17	-4.59	-4.30	0.042	0.100
18	-4.37	-4.49	0.086	0.062
19	-4.58	-4.31	0.044	0.098
20	-4.37	-4.48	0.086	0.064
21	-4.57	-4.32	0.046	0.096
22	-4.38	-4.47	0.084	0.066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 15.1 Kg.

Speed = 189.3 rpm.

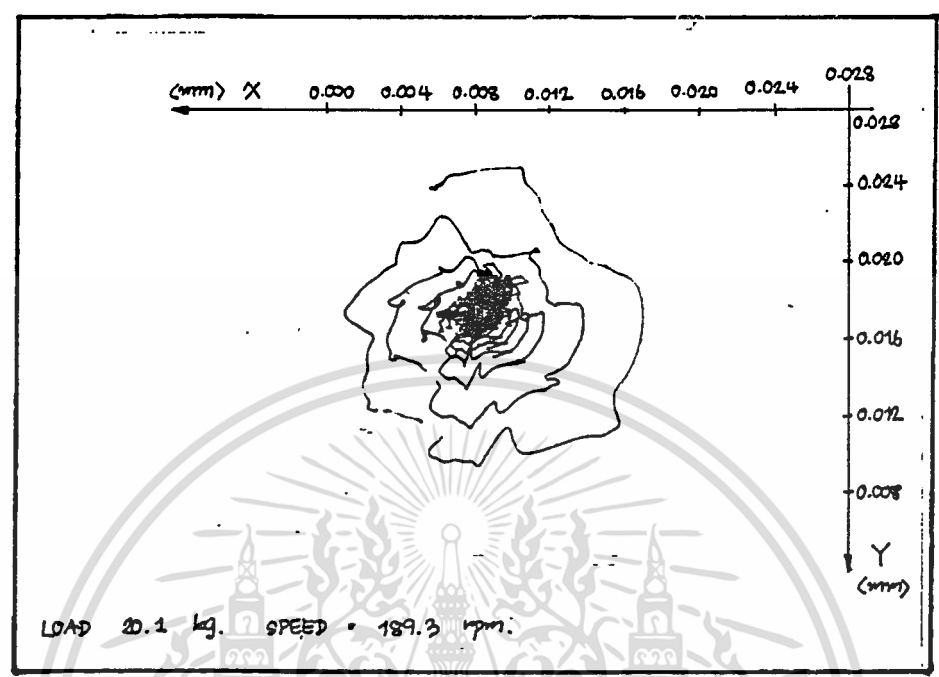
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.56	-4.32	0.048	0.096
24	-4.38	-4.46	0.084	0.068
25	-4.53	-4.28	0.054	0.104
26	-4.39	-4.45	0.082	0.070
27	-4.53	-4.29	0.054	0.100
28	-4.40	-4.45	0.080	0.070
29	-4.53	-4.30	0.054	0.100
30	-4.40	-4.45	0.080	0.070
31	-4.50	-4.30	0.060	0.100
32	-4.42	-4.44	0.076	0.072
33	-4.48	-4.30	0.064	0.074
34	-4.48	-4.30	0.064	0.100
35	-4.47	-4.35	0.062	0.090
36	-4.50	-4.43	0.060	0.074
37	-4.48	-4.35	0.064	0.090
38	-4.50	-4.42	0.060	0.076
39	-4.48	-4.35	0.064	0.090
40	-4.48	-4.42	0.064	0.076
41	-4.48	-4.35	0.064	0.090
42	-4.47	-4.41	0.066	0.078
43	-4.48	-4.35	0.064	0.090
44	-4.48	-4.39	0.064	0.082
45	-4.48	-4.35	0.064	0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในหน่วยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

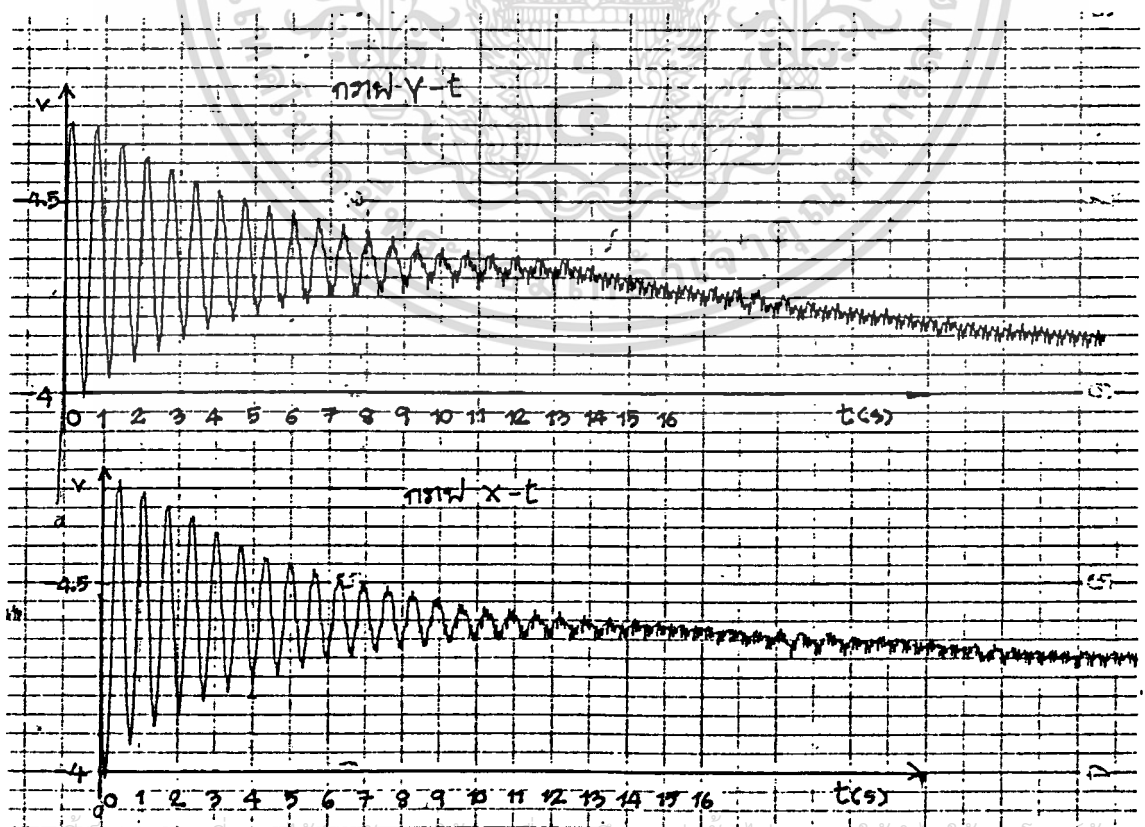
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 20.1 Kg.

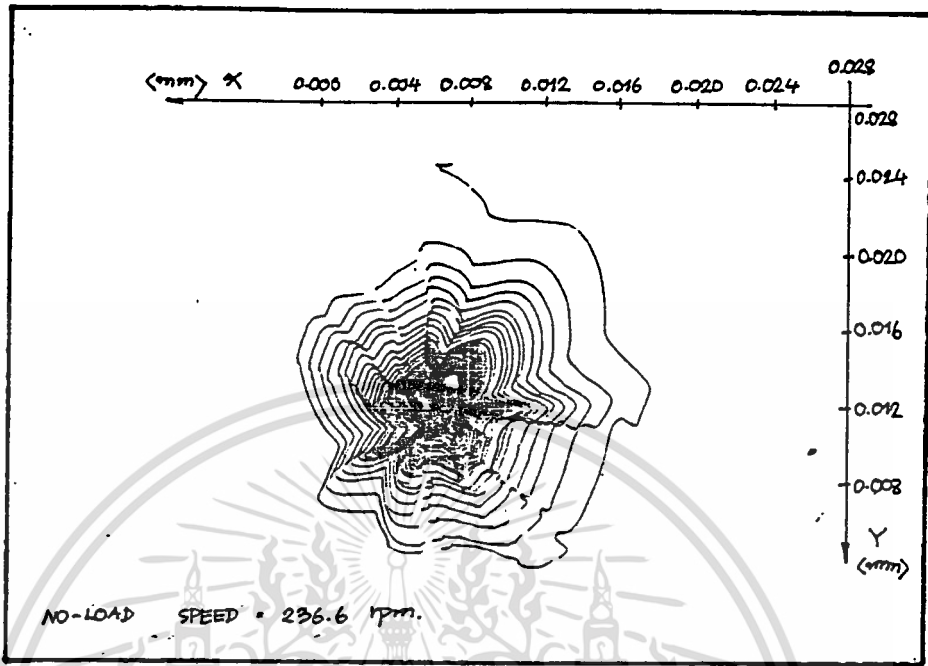
Speed = 189.3 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.00	-4.70	0.160	0.020
1	-4.60	-4.30	0.040	0.100
2	-4.15	-4.40	0.130	0.080
3	-4.63	-4.25	0.034	0.110
4	-4.24	-4.42	0.112	0.076
5	-4.55	-4.24	0.050	0.112
6	-4.30	-4.40	0.100	0.080
7	-4.48	-4.28	0.064	0.104
8	-4.33	-4.42	0.094	0.076
9	-4.44	-4.26	0.072	0.108
10	-4.35	-4.36	0.070	0.088
11	-4.40	-4.28	0.080	0.104
12	-4.37	-4.35	0.086	0.090
13	-4.38	-4.28	0.084	0.104
14	-4.36	-4.33	0.068	0.094
15	-4.36	-4.30	0.068	0.100
-	-----	-----	-----	-----

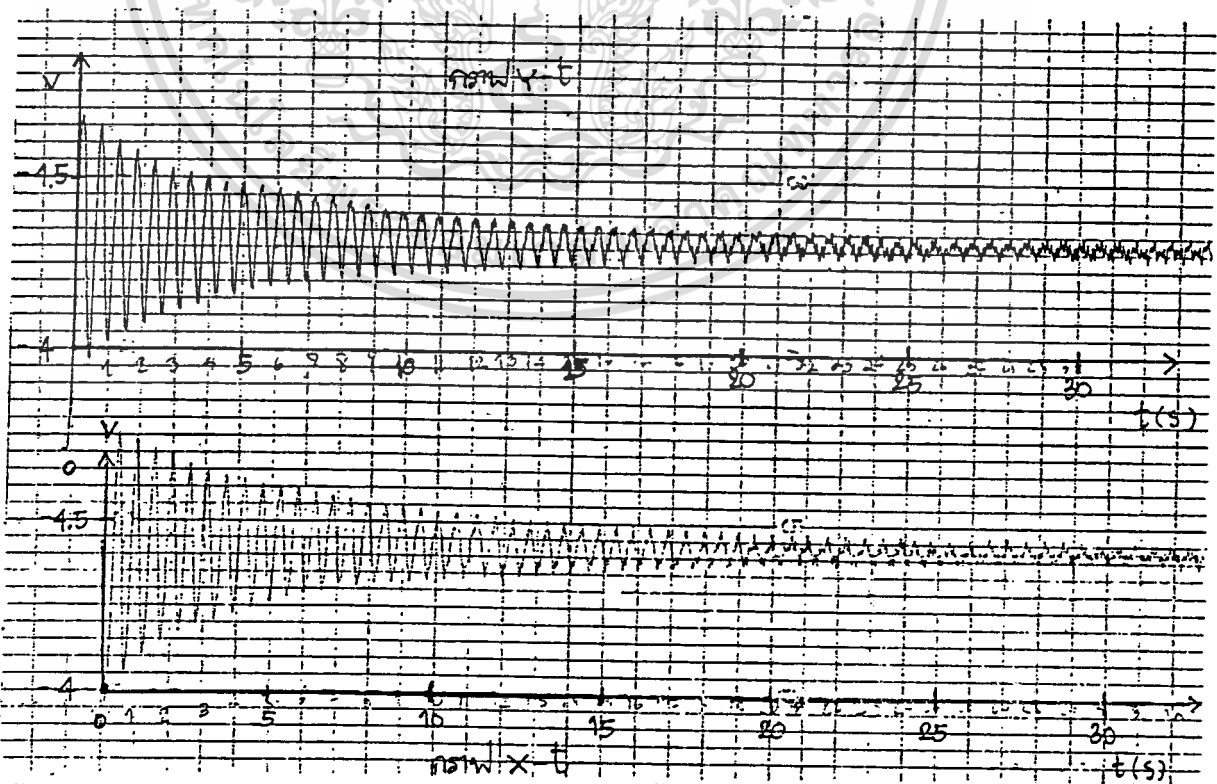
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(L) และ Y(L)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X,Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 0 Kg.

Speed = 236.6 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-3.98	-4.67	0.164	0.026
1	-4.70	-4.03	0.020	0.154
2	-4.70	-4.08	0.020	0.144
3	-4.60	-4.25	0.040	0.110
4	-4.29	-4.45	0.102	0.070
5	-4.26	-4.48	0.108	0.064
6	-4.29	-4.45	0.102	0.070
7	-4.30	-4.30	0.010	0.010
8	-4.50	-4.21	0.060	0.118
9	-4.55	-4.22	0.050	0.116
10	-4.54	-4.33	0.052	0.094
11	-4.45	-4.39	0.070	0.082
12	-4.35	-4.38	0.090	0.084
13	-4.35	-4.37	0.090	0.086
14	-4.35	-4.30	0.090	0.100
15	-4.36	-4.30	0.088	0.100
16	-4.37	-4.31	0.086	0.098
17	-4.37	-4.32	0.086	0.096
18	-4.44	-4.26	0.072	0.108
19	-4.45	-4.27	0.070	0.106
20	-4.47	-4.28	0.066	0.104
21	-4.47	-4.30	0.066	0.100
22	-4.39	-4.34	0.082	0.092

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

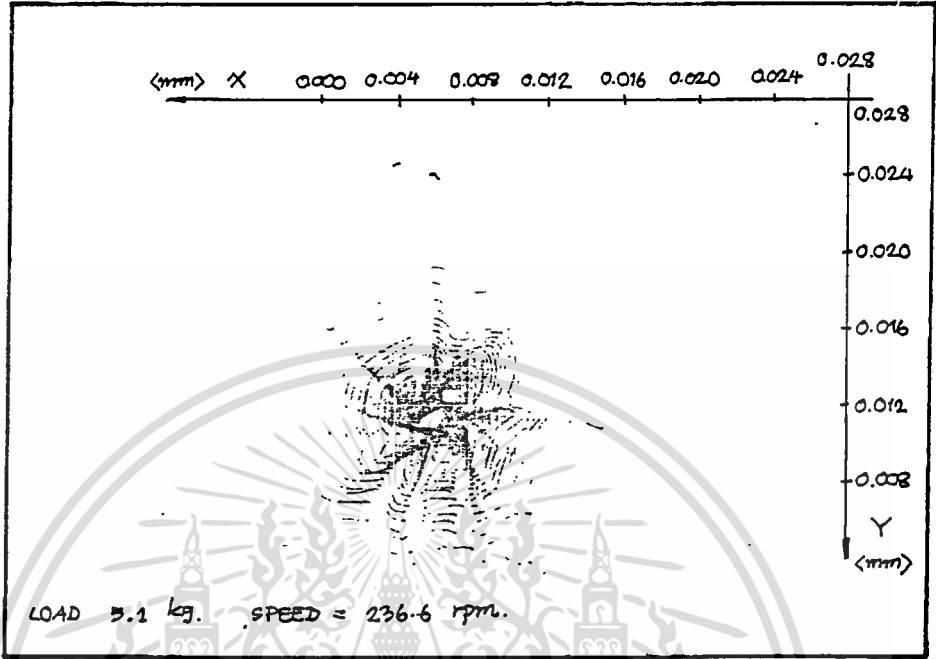
Load = 0 Kg.

Speed = 236.6 rpm.

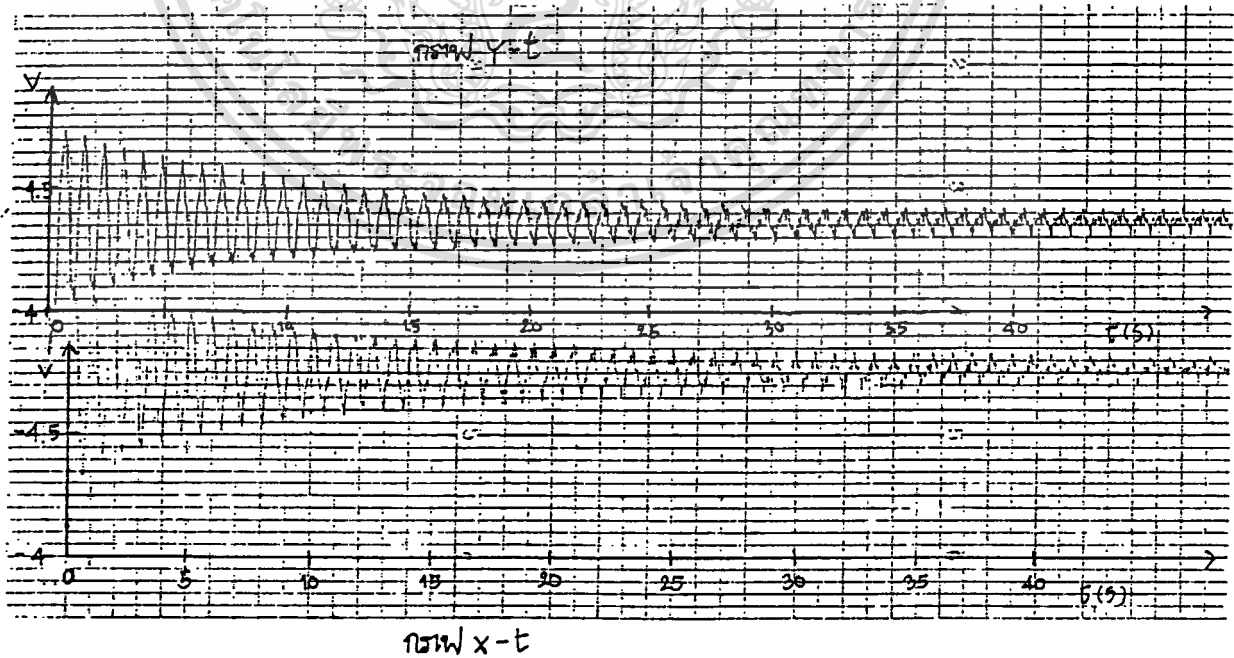
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.40	-4.30	0.080	0.100
24	-4.45	-4.32	0.070	0.096
25	-4.40	-4.32	0.080	0.096
26	-4.44	-4.28	0.068	0.104
27	-4.47	-4.32	0.066	0.096
28	-4.43	-4.35	0.074	0.090
29	-4.43	-4.33	0.074	0.094
30	-4.43	-4.35	0.074	0.090
-	-	-	-	-

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENCE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

Speed = 236.6 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.00	-4.69	0.160	0.022
1	-4.15	-4.35	0.130	0.090
2	-4.50	-4.10	0.060	0.140
3	-4.70	-4.13	0.020	0.134
4	-4.66	-4.30	0.028	0.100
5	-4.60	-4.47	0.040	0.066
6	-4.45	-4.48	0.070	0.064
7	-4.34	-4.47	0.082	0.066
8	-4.35	-4.36	0.090	0.088
9	-4.45	-4.35	0.070	0.090
10	-4.50	-4.23	0.060	0.090
11	-4.57	-4.25	0.046	0.110
12	-4.56	-4.25	0.048	0.110
13	-4.51	-4.32	0.058	0.096
14	-4.47	-4.40	0.066	0.080
15	-4.42	-4.40	0.076	0.080
16	-4.40	-4.40	0.080	0.080
17	-4.40	-4.38	0.080	0.084
18	-4.45	-4.34	0.070	0.092
19	-4.54	-4.27	0.052	0.106
20	-4.53	-4.28	0.054	0.104
21	-4.52	-4.34	0.053	0.092
22	-4.46	-4.39	0.068	0.082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

Speed = 236.6 rpm.

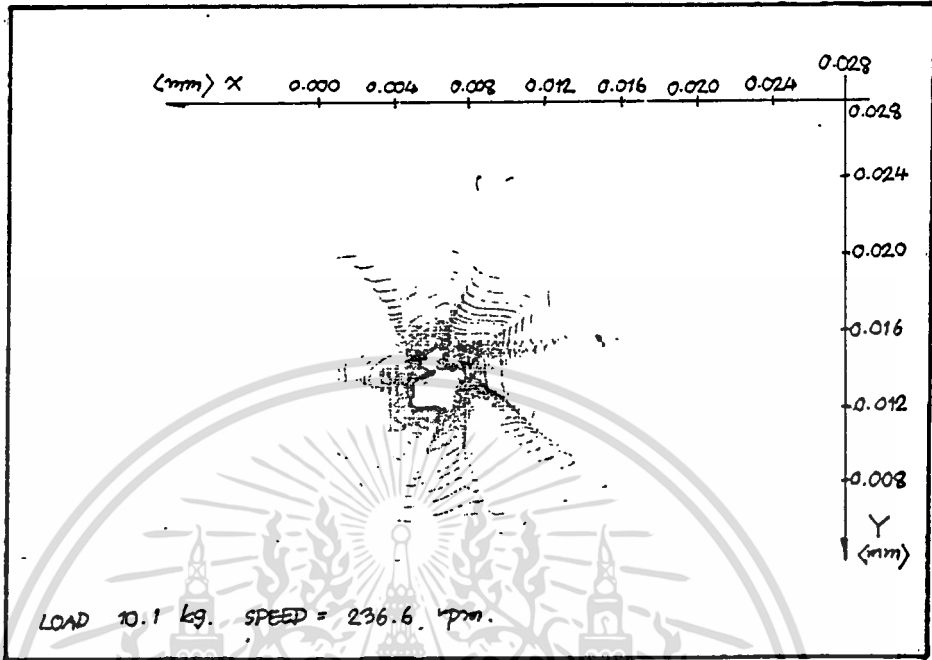
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.43	-4.39	0.074	0.082
24	-4.43	-4.36	0.074	0.088
25	-4.43	-4.35	0.074	0.090
26	-4.43	-4.33	0.074	0.094
27	-4.50	-4.30	0.060	0.100
28	-4.50	-4.30	0.060	0.100
29	-4.50	-4.35	0.060	0.090
30	-4.47	-4.37	0.066	0.086
31	-4.45	-4.37	0.070	0.086
32	-4.45	-4.35	0.070	0.090
33	-4.45	-4.35	0.070	0.090
34	-4.45	-4.34	0.070	0.092
35	-4.45	-4.34	0.070	0.092
36	-4.48	-4.31	0.064	0.098
37	-4.50	-4.31	0.060	0.098
38	-4.50	-4.34	0.060	0.092
39	-4.47	-4.36	0.066	0.088
40	-4.45	-4.36	0.070	0.088
-	-----	-----	-----	-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

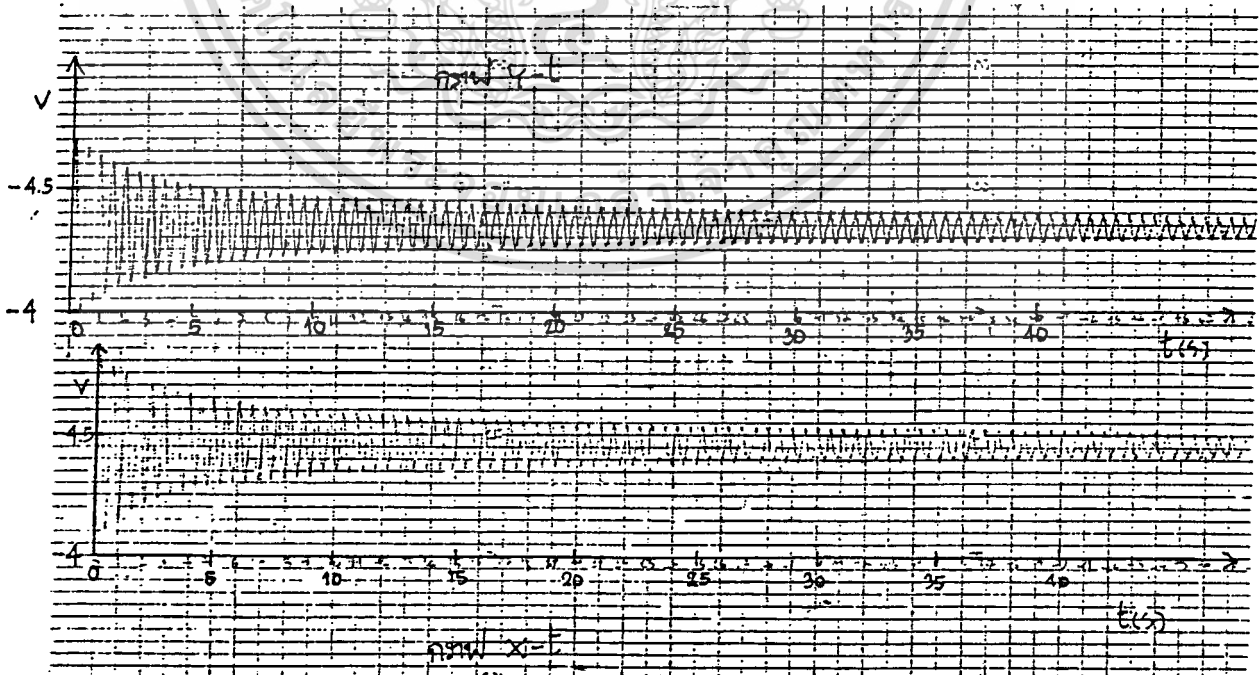
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(L) และ Y(L)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

Speed = 236.6 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.01	-4.70	0.158	0.020
1	-4.15	-4.64	0.130	0.032
2	-4.20	-4.35	0.120	0.090
3	-4.45	-4.20	0.070	0.102
4	-4.60	-4.16	0.040	0.128
5	-4.65	-4.25	0.030	0.110
6	-4.63	-4.40	0.034	0.080
7	-4.50	-4.45	0.060	0.070
8	-4.38	-4.48	0.084	0.064
9	-4.34	-4.47	0.092	0.066
10	-4.40	-4.35	0.080	0.090
11	-4.56	-4.30	0.048	0.100
12	-4.56	-4.26	0.048	0.108
13	-4.56	-4.25	0.048	0.110
14	-4.55	-4.35	0.050	0.090
15	-4.40	-4.40	0.080	0.080
16	-4.40	-4.45	0.080	0.070
17	-4.36	-4.44	0.088	0.072
18	-4.36	-4.39	0.088	0.082
19	-4.40	-4.35	0.080	0.090
20	-4.45	-4.27	0.070	0.106
21	-4.55	-4.26	0.050	0.108
22	-4.55	-4.35	0.050	0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

Speed = 236.6 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.52	-4.38	0.056	0.084
24	-4.40	-4.42	0.080	0.076
25	-4.40	-4.41	0.080	0.078
26	-4.38	-4.41	0.084	0.078
27	-4.43	-4.35	0.074	0.090
28	-4.50	-4.30	0.060	0.100
29	-4.53	-4.30	0.054	0.100
30	-4.53	-4.28	0.054	0.106
31	-4.45	-4.35	0.070	0.090
32	-4.45	-4.41	0.070	0.078
33	-4.43	-4.41	0.074	0.078
34	-4.40	-4.41	0.080	0.078
35	-4.40	-4.36	0.080	0.088
36	-4.42	-4.35	0.076	0.090
37	-4.45	-4.28	0.056	0.104
38	-4.52	-4.28	0.056	0.106
39	-4.52	-4.29	0.056	0.104
40	-4.45	-4.37	0.070	0.086
41	-4.40	-4.40	0.080	0.080
42	-4.40	-4.40	0.080	0.080
43	-4.44	-4.35	0.072	0.090
44	-4.45	-4.30	0.070	0.100
45	-4.50	-4.30	0.060	0.100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกำไร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

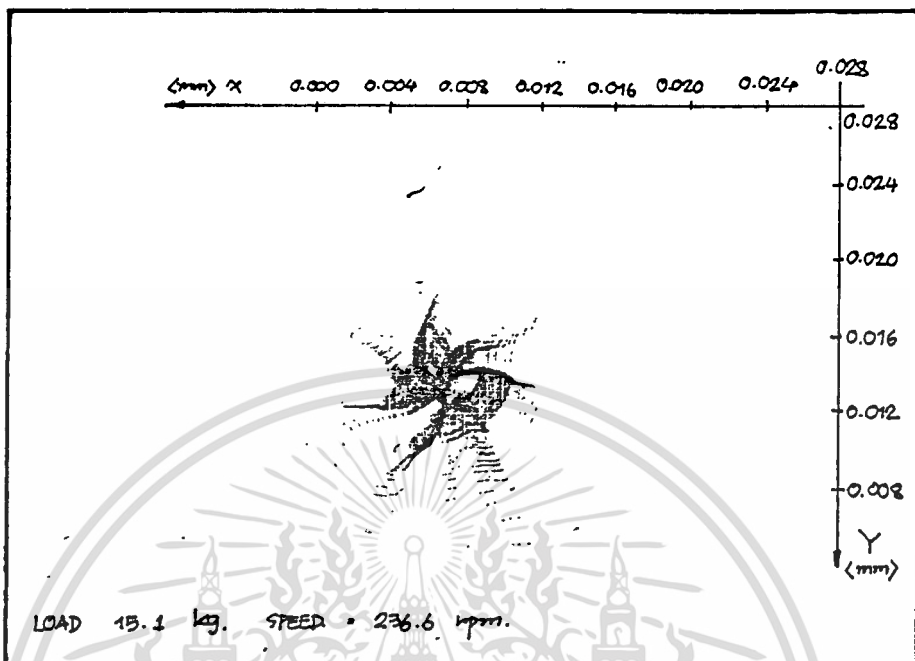
Speed = 236.6 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
46	-4.50	-4.33	0.060	0.094
47	-4.50	-4.33	0.060	0.094
48	-4.43	-4.36	0.074	0.088
49	-4.43	-4.38	0.074	0.084
50	-4.42	-4.38	0.076	0.084
51	-4.44	-4.34	0.072	0.092
52	-4.45	-4.33	0.070	0.094
53	-4.45	-4.32	0.070	0.096
54	-4.45	-4.30	0.070	0.100
55	-4.50	-4.30	0.060	0.100
56	-4.50	-4.30	0.060	0.100
57	-4.44	-4.35	0.072	0.090
58	-4.43	-4.37	0.074	0.086
59	-4.43	-4.37	0.074	0.086
60	-4.43	-4.34	0.074	0.092
-	-----	-----	-----	-----

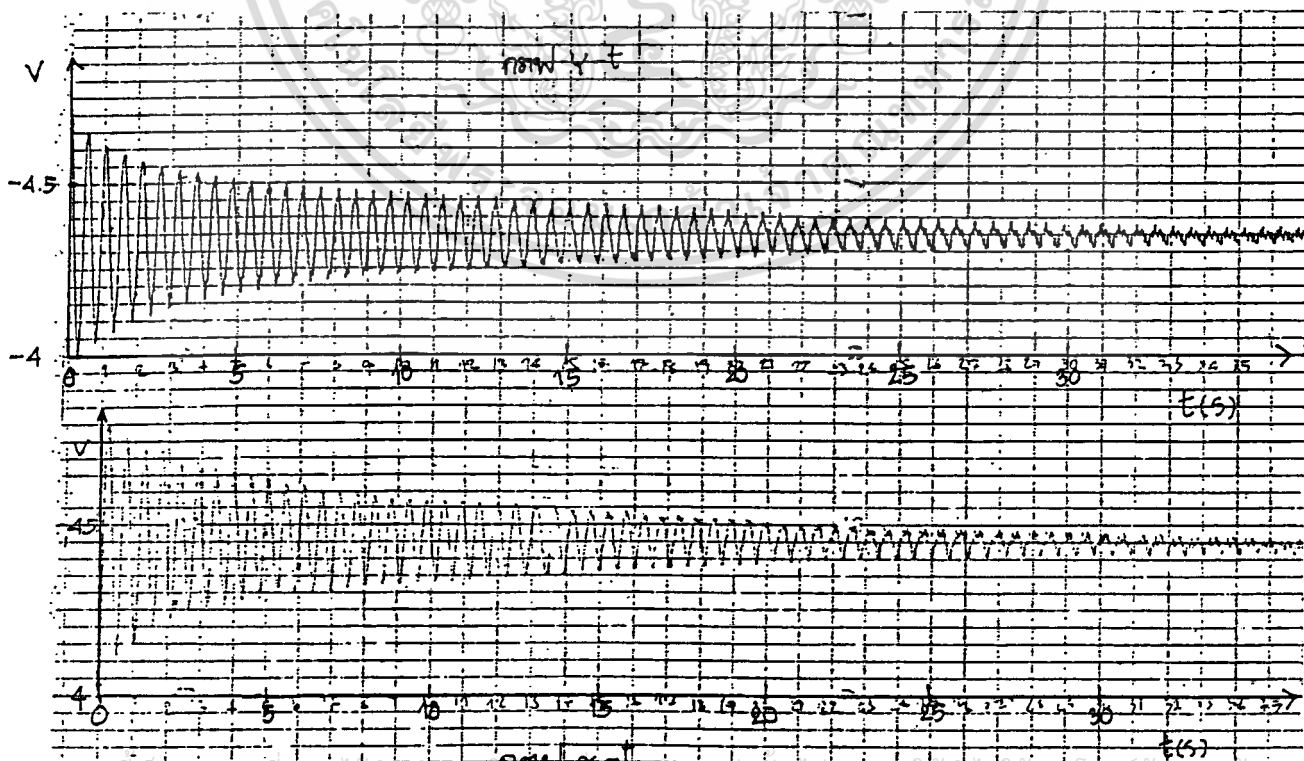
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(L) และ Y(L)

RENCE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่... ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 15.1 Kg.

Speed = 236.6 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.03	-4.70	0.154	0.020
1	-4.15	-4.60	0.130	0.040
2	-4.40	-4.30	0.080	0.100
3	-4.55	-4.20	0.050	0.120
4	-4.65	-4.16	0.030	0.112
5	-4.64	-4.30	0.032	0.100
6	-4.45	-4.45	0.070	0.070
7	-4.30	-4.50	0.100	0.060
8	-4.32	-4.40	0.096	0.080
9	-4.33	-4.30	0.094	0.100
10	-4.50	-4.25	0.060	0.110
11	-4.54	-4.25	0.052	0.110
12	-4.56	-4.25	0.048	0.110
13	-4.55	-4.35	0.050	0.090
14	-4.35	-4.40	0.090	0.080
15	-4.36	-4.45	0.088	0.070
16	-4.37	-4.40	0.086	0.080
17	-4.38	-4.38	0.084	0.084
18	-4.44	-4.27	0.072	0.106
19	-4.50	-4.28	0.060	0.104
20	-4.50	-4.29	0.060	0.102
21	-4.40	-4.30	0.080	0.100
22	-4.40	-4.35	0.080	0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 15.1 Kg.

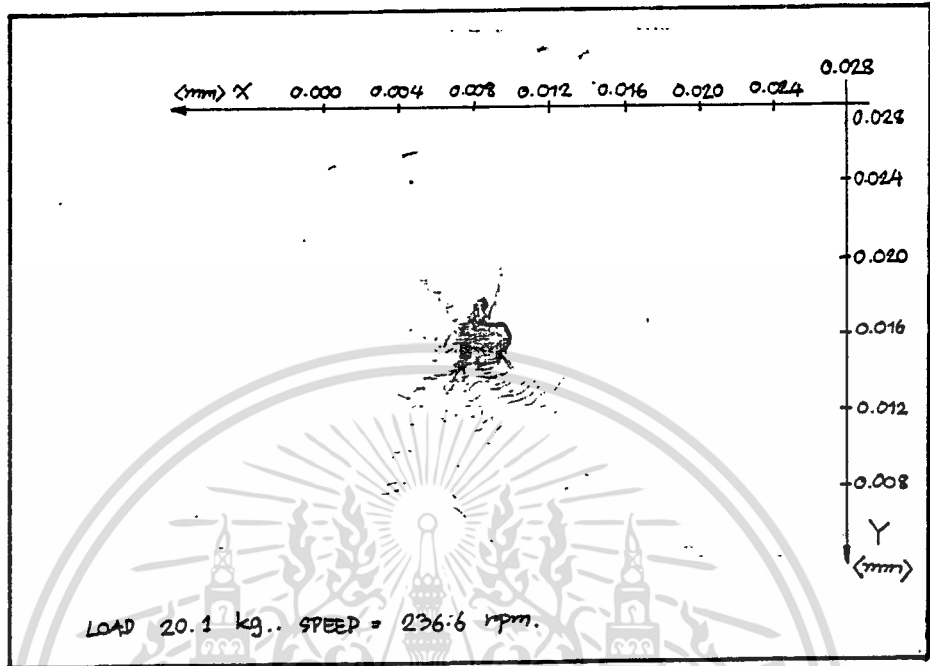
Speed = 236.6 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.45	-4.35	0.070	0.090
24	-4.45	-4.40	0.070	0.080
25	-4.40	-4.37	0.080	0.086
26	-4.45	-4.36	0.070	0.088
27	-4.48	-4.30	0.064	0.100
28	-4.48	-4.33	0.064	0.094
29	-4.48	-4.33	0.064	0.094
30	-4.46	-4.35	0.068	0.090
-	-	-	-	-

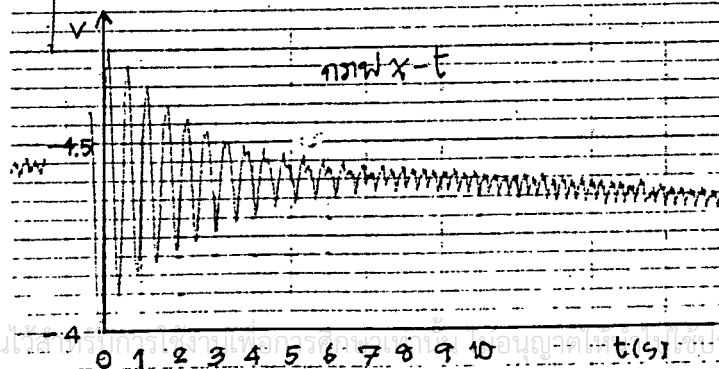
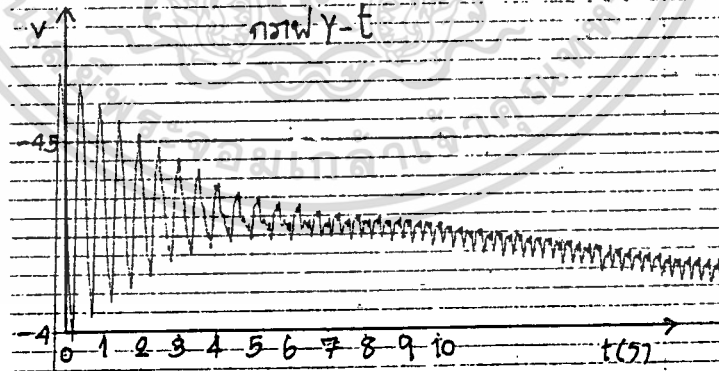
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(L)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง เลียนแบบ และต้องแจ้งชื่อหน่วยงานเจ้าของลิขสิทธิ์ที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 20.1 Kg.

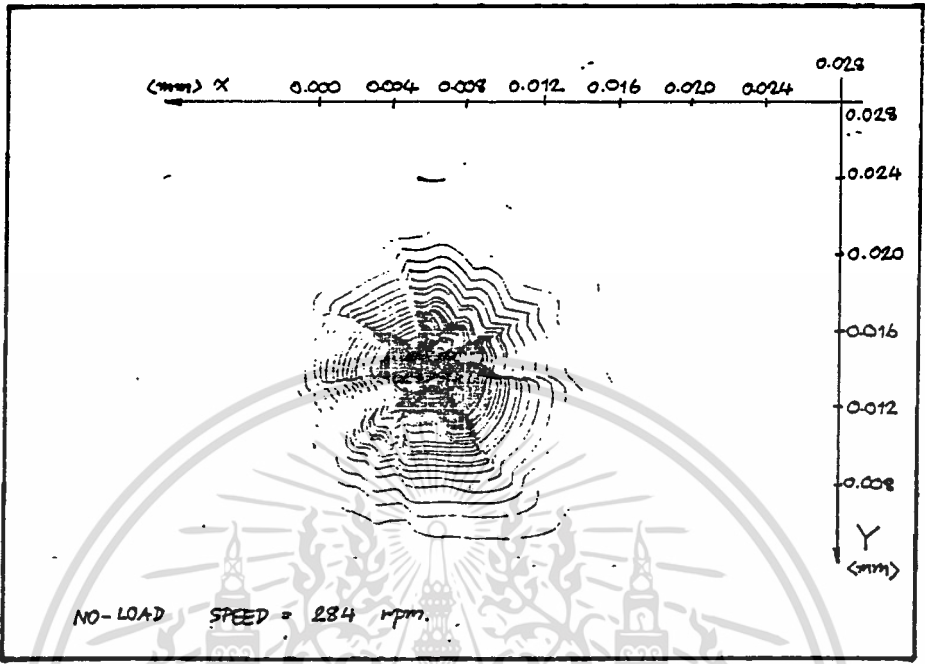
Speed = 236.6 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.00	-4.77	0.160	0.006
1	-4.15	-4.60	0.130	0.040
2	-4.22	-4.52	0.116	0.056
3	-4.27	-4.45	0.106	0.070
4	-4.30	-4.38	0.100	0.084
5	-4.40	-4.25	0.080	0.110
6	-4.42	-4.27	0.076	0.106
7	-4.40	-4.27	0.080	0.106
8	-4.42	-4.28	0.076	0.104
9	-4.40	-4.24	0.080	0.112
10	-4.35	-4.27	0.090	0.106
-	-----	-----	-----	-----

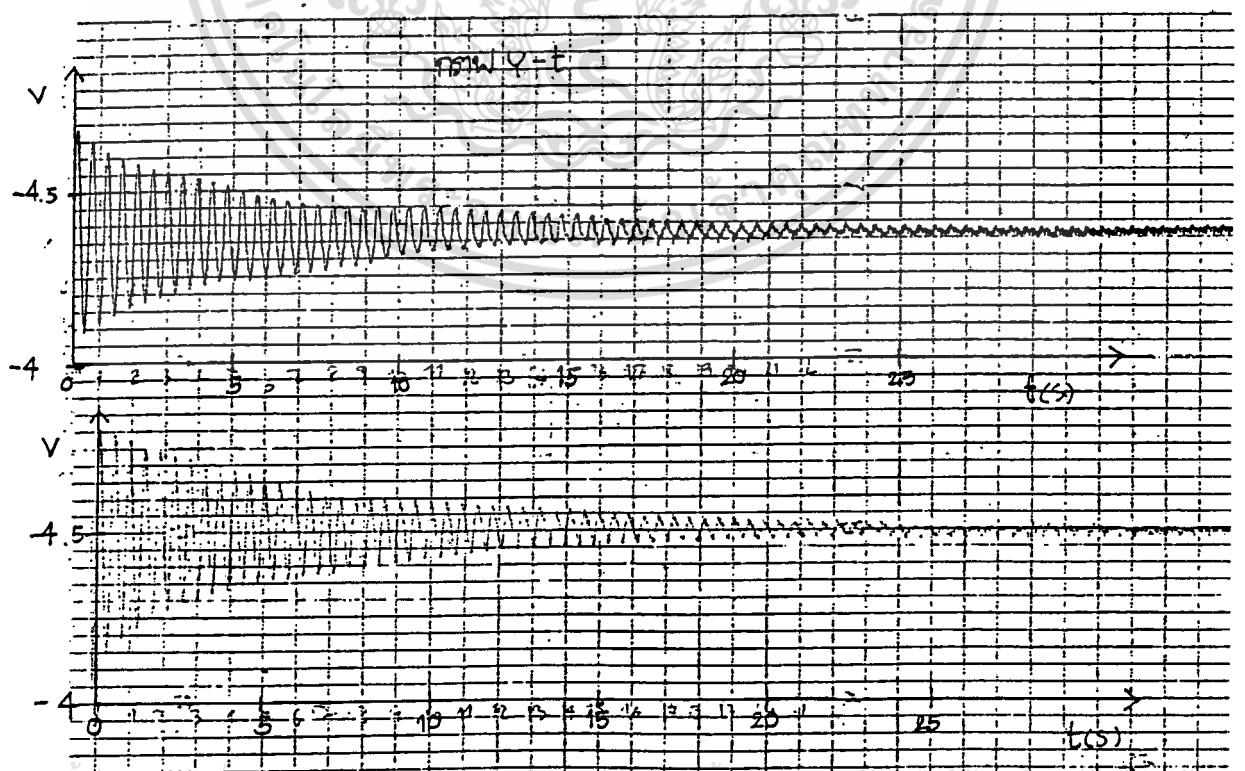
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับภาควิชาฟิสิกส์ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 0 Kg.

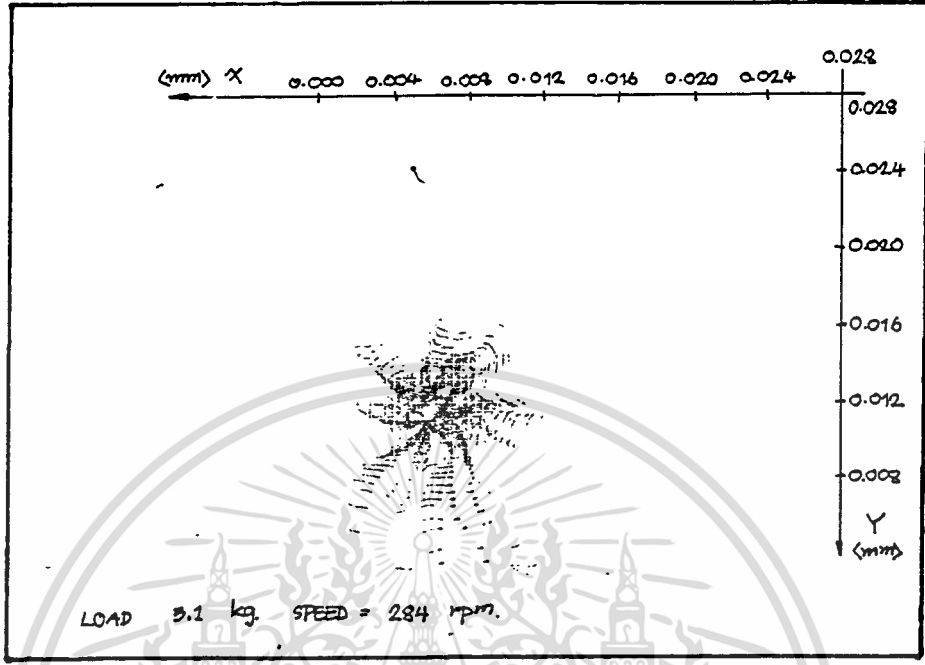
Speed = 284.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.05	-4.73	0.150	0.014
1	-4.77	-4.12	0.006	0.136
2	-4.40	-4.23	0.080	0.114
3	-4.30	-4.55	0.100	0.050
4	-4.40	-4.47	0.080	0.066
5	-4.66	-4.30	0.028	0.100
6	-4.60	-4.25	0.040	0.110
7	-4.50	-4.33	0.060	0.094
8	-4.40	-4.45	0.080	0.070
9	-4.45	-4.40	0.070	0.080
10	-4.60	-4.35	0.040	0.090
11	-4.55	-4.33	0.050	0.094
12	-4.47	-4.35	0.066	0.090
13	-4.45	-4.43	0.070	0.074
14	-4.50	-4.40	0.060	0.080
15	-4.55	-4.35	0.050	0.090
16	-4.50	-4.35	0.060	0.090
17	-4.47	-4.40	0.066	0.080
18	-4.50	-4.40	0.060	0.090
19	-4.53	-4.36	0.054	0.088
20	-4.50	-4.36	0.060	0.080
21	-4.49	-4.38	0.062	0.088
22	-4.48	-4.38	0.064	0.088

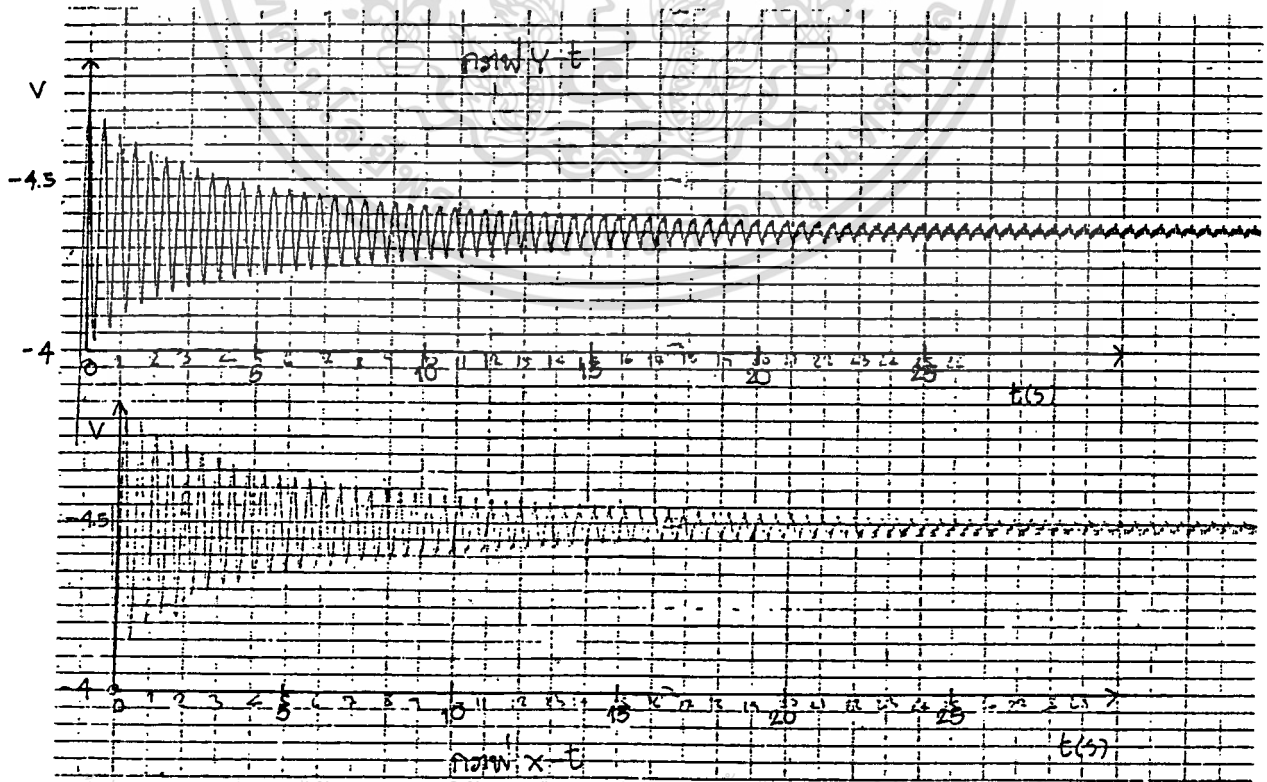
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

Speed = 284.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.05	-4.70	0.150	0.020
1	-4.40	-4.45	0.080	0.070
2	-4.72	-4.25	0.016	0.110
3	-4.65	-4.19	0.030	0.122
4	-4.40	-4.30	0.080	0.100
5	-4.35	-4.48	0.090	0.064
6	-4.50	-4.40	0.060	0.080
7	-4.60	-4.25	0.040	0.110
8	-4.50	-4.30	0.060	0.100
9	-4.40	-4.43	0.080	0.074
10	-4.45	-4.42	0.070	0.076
11	-4.50	-4.34	0.060	0.092
12	-4.57	-4.28	0.046	0.104
13	-4.43	-4.35	0.074	0.090
14	-4.45	-4.40	0.070	0.080
15	-4.50	-4.40	0.070	0.080
16	-4.55	-4.30	0.050	0.100
17	-4.50	-4.35	0.060	0.090
18	-4.45	-4.38	0.070	0.084
19	-4.48	-4.39	0.064	0.082
20	-4.50	-4.35	0.060	0.090
21	-4.53	-4.32	0.054	0.096
22	-4.50	-4.34	0.060	0.092

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

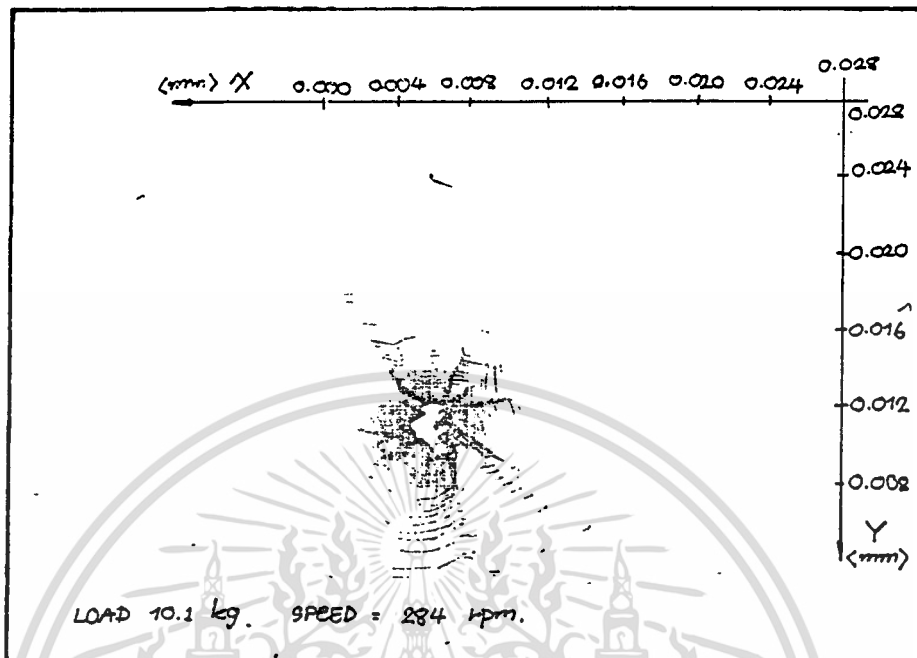
Speed = 284.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.46	-4.37	0.068	0.086
24	-4.48	-4.38	0.064	0.084
25	-4.51	-4.34	0.058	0.092
26	-4.50	-4.35	0.060	0.090
-	-----	-----	-----	-----

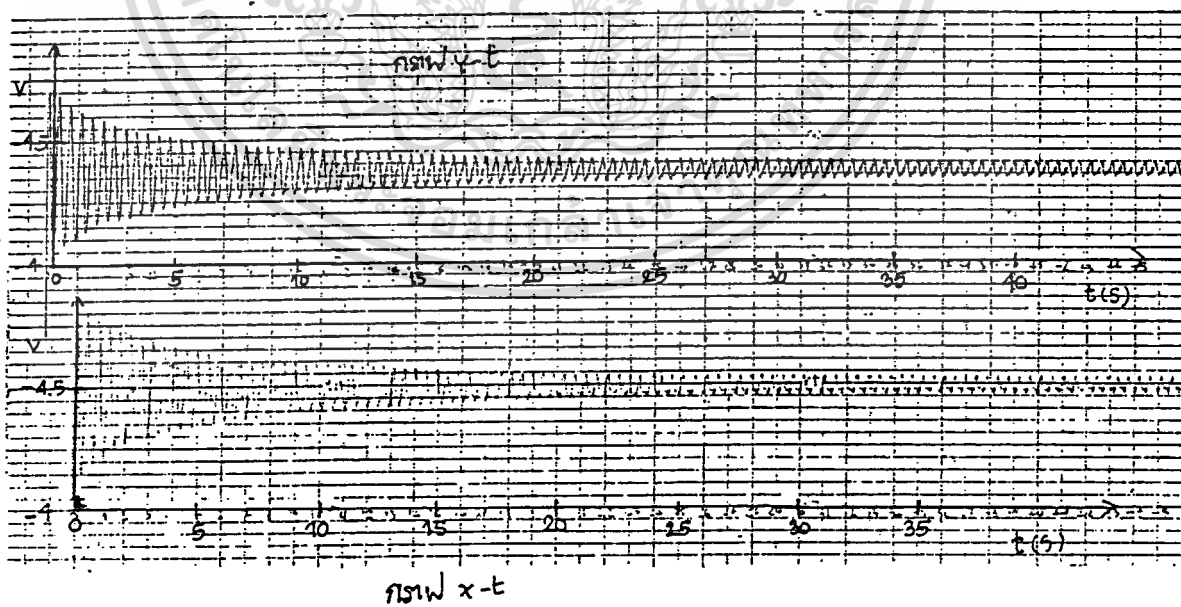
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RANGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

Speed = 284.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.05	-4.70	0.150	0.020
1	-4.70	-4.10	0.020	0.140
2	-4.28	-4.58	0.104	0.044
3	-4.40	-4.55	0.080	0.050
4	-4.55	-4.21	0.050	0.118
5	-4.64	-4.24	0.032	0.112
6	-4.50	-4.35	0.060	0.100
7	-4.37	-4.49	0.086	0.062
8	-4.50	-4.40	0.060	0.080
9	-4.60	-4.27	0.040	0.106
10	-4.45	-4.35	0.070	0.090
11	-4.40	-4.45	0.060	0.070
12	-4.40	-4.45	0.060	0.070
13	-4.47	-4.40	0.066	0.080
14	-4.56	-4.30	0.048	0.100
15	-4.50	-4.32	0.060	0.096
16	-4.45	-4.37	0.070	0.086
17	-4.44	-4.43	0.072	0.074
18	-4.48	-4.40	0.064	0.080
19	-4.55	-4.32	0.050	0.096
20	-4.46	-4.34	0.068	0.092
21	-4.45	-4.42	0.070	0.076
22	-4.50	-4.39	0.060	0.082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

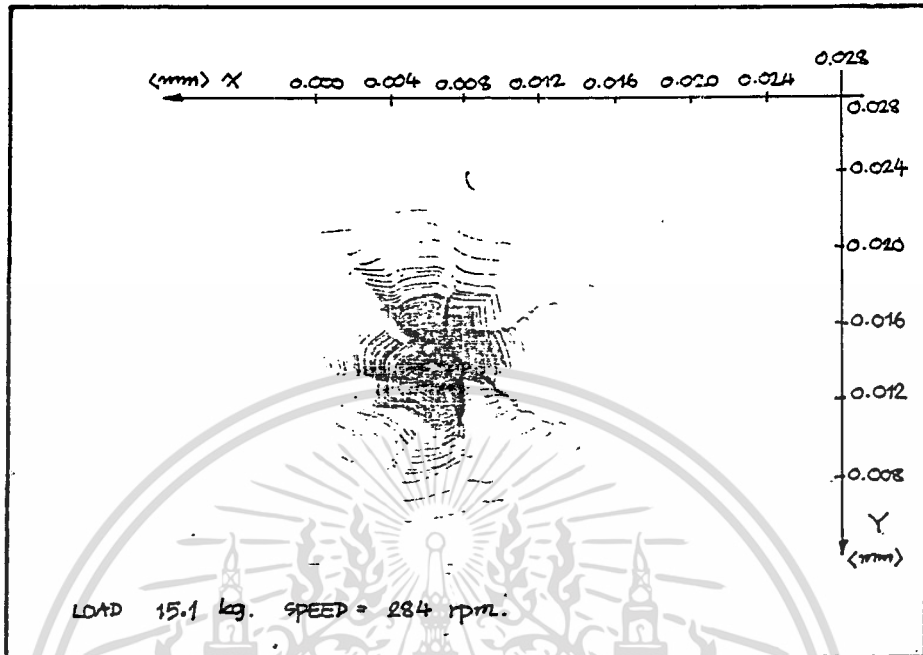
Speed = 284.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.54	-4.34	0.052	0.092
24	-4.46	-4.37	0.068	0.086
25	-4.45	-4.40	0.070	0.080
26	-4.45	-4.39	0.070	0.082
27	-4.53	-4.33	0.054	0.094
28	-4.47	-4.35	0.066	0.100
29	-4.45	-4.40	0.070	0.080
30	-4.45	-4.40	0.070	0.080
31	-4.50	-4.33	0.060	0.094
32	-4.53	-4.33	0.054	0.094
33	-4.47	-4.36	0.066	0.090
34	-4.47	-4.36	0.066	0.088
35	-4.46	-4.40	0.068	0.080
36	-4.46	-4.38	0.068	0.084
37	-4.52	-4.34	0.056	0.092
38	-4.48	-4.35	0.064	0.090
39	-4.45	-4.40	0.070	0.080
40	-4.45	-4.38	0.070	0.084
41	-4.52	-4.34	0.056	0.092
42	-4.52	-4.35	0.056	0.090
43	-4.47	-4.36	0.066	0.088
44	-4.46	-4.40	0.068	0.080
45	-4.47	-4.38	0.066	0.084

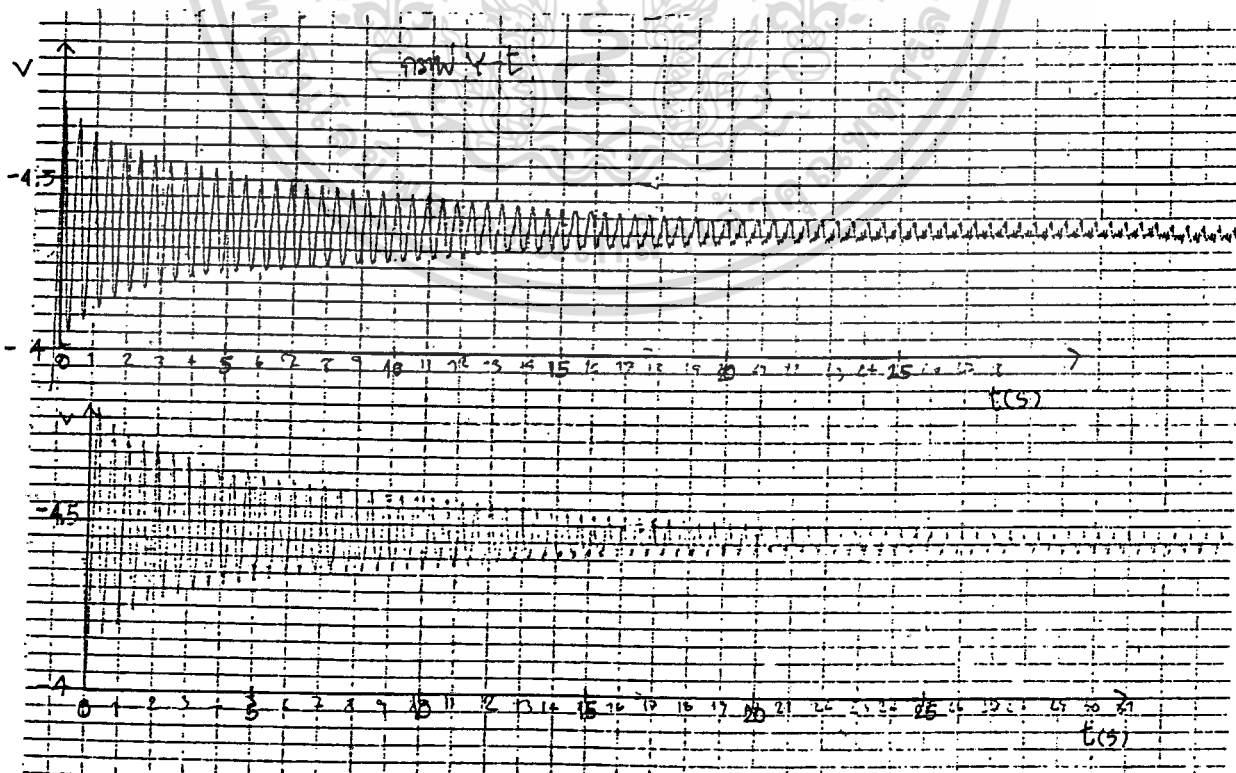
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

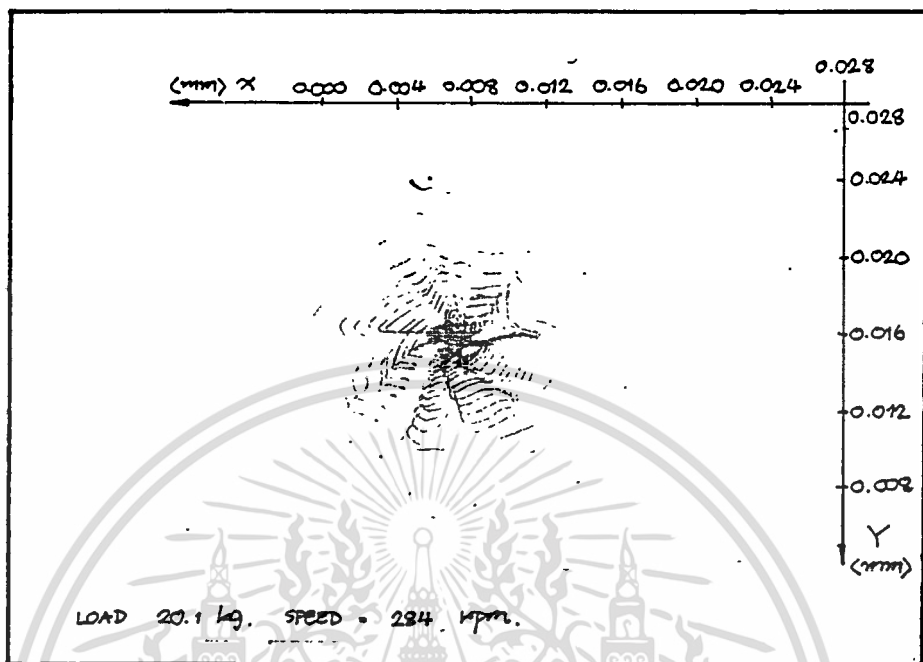
Load = 15.1 Kg.

Speed = 284.0 rpm.

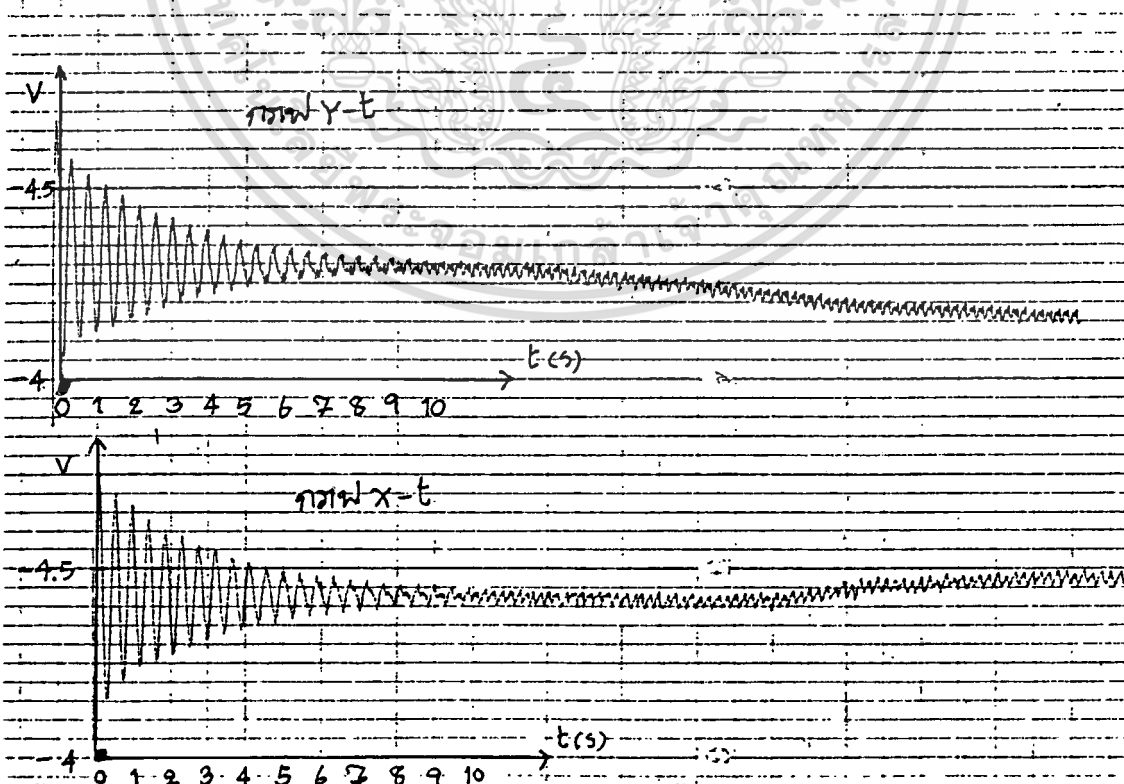
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.05	-4.72	0.150	0.016
1	-4.20	-4.63	0.120	0.034
2	-4.72	-4.35	0.016	0.090
3	-4.65	-4.20	0.030	0.120
4	-4.50	-4.25	0.060	0.110
5	-4.33	-4.45	0.094	0.070
6	-4.40	-4.50	0.080	0.060
7	-4.50	-4.40	0.060	0.080
8	-4.60	-4.25	0.040	0.110
9	-4.45	-4.35	0.070	0.090
10	-4.37	-4.46	0.086	0.068
11	-4.40	-4.40	0.080	0.080
12	-4.56	-4.29	0.048	0.102
13	-4.50	-4.30	0.060	0.100
14	-4.45	-4.35	0.070	0.090
15	-4.42	-4.38	0.076	0.084
16	-4.50	-4.35	0.060	0.090
17	-4.50	-4.32	0.060	0.096
18	-4.42	-4.35	0.076	0.090
19	-4.43	-4.40	0.074	0.080
20	-4.48	-4.40	0.074	0.080
21	-4.50	-4.34	0.060	0.092
22	-4.48	-4.34	0.064	0.092

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $X(t)$ และ $Y(t)$

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 20.1 Kg.

Speed = 284.0 rpm.

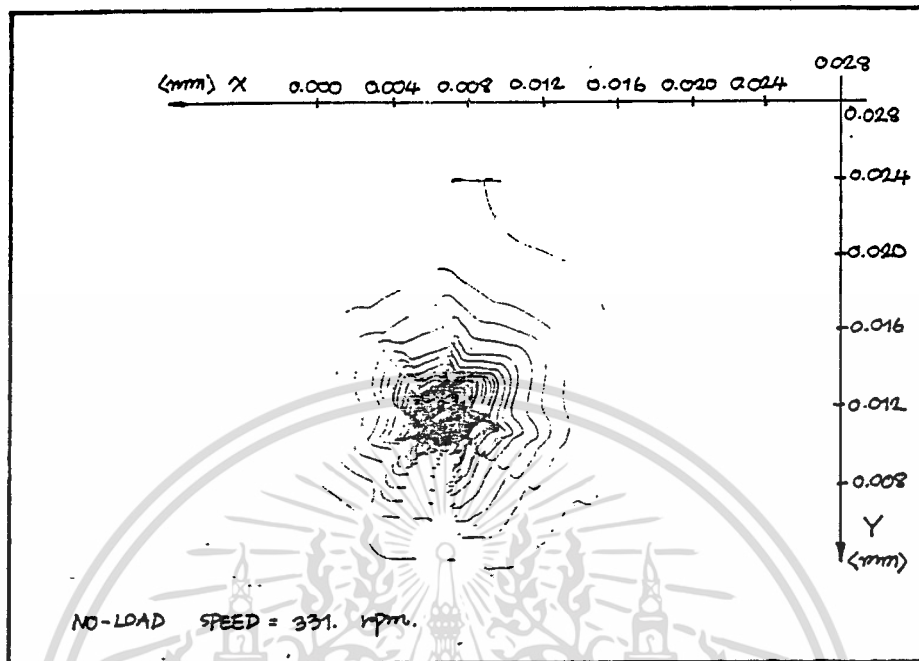
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.04	-4.68	0.152	0.024
1	-4.66	-4.13	0.028	0.134
2	-4.40	-4.16	0.080	0.128
3	-4.32	-4.42	0.096	0.076
4	-4.40	-4.39	0.080	0.082
5	-4.50	-4.25	0.060	0.110
6	-4.45	-4.25	0.060	0.110
7	-4.40	-4.33	0.080	0.094
8	-4.43	-4.32	0.074	0.096
9	-4.45	-4.29	0.070	0.102
10	-4.43	-4.30	0.074	0.100
-	-----	-----	-----	-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

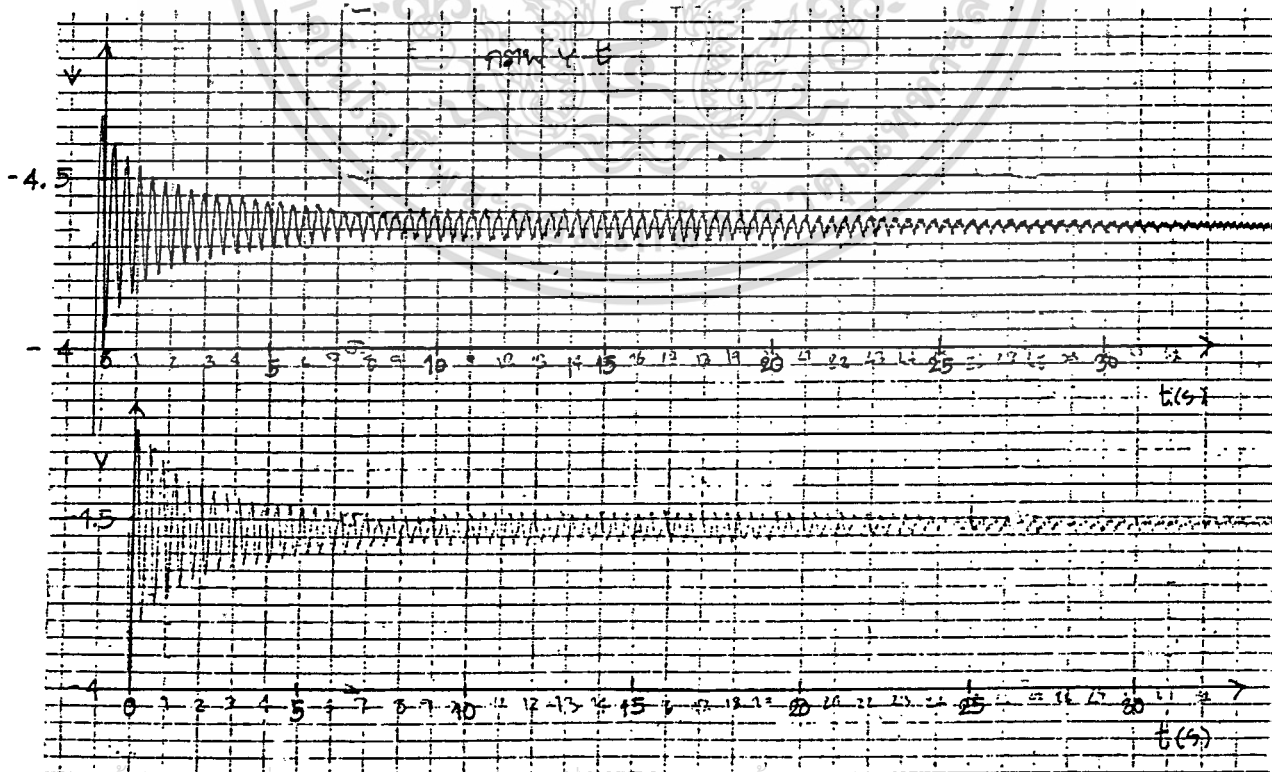
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(L)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการ
 ศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 0 Kg.

Speed = 331.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.05	-4.68	0.150	0.024
1	-4.27	-4.53	0.106	0.054
2	-4.60	-4.24	0.040	0.112
3	-4.42	-4.40	0.076	0.080
4	-4.43	-4.35	0.074	0.090
5	-4.54	-4.35	0.074	0.090
6	-4.41	-4.42	0.078	0.076
7	-4.52	-4.32	0.056	0.096
8	-4.46	-4.40	0.068	0.080
9	-4.47	-4.39	0.066	0.082
10	-4.47	-4.35	0.066	0.090
11	-4.43	-4.40	0.072	0.080
12	-4.52	-4.33	0.056	0.094
13	-4.44	-4.40	0.072	0.080
14	-4.52	-4.33	0.056	0.094
15	-4.46	-4.35	0.068	0.090
16	-4.48	-4.38	0.064	0.084
17	-4.52	-4.32	0.056	0.096
18	-4.47	-4.32	0.056	0.096
19	-4.44	-4.40	0.072	0.080
20	-4.51	-4.33	0.058	0.094
21	-4.47	-4.38	0.066	0.084
22	-4.47	-4.35	0.066	0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 0 Kg.

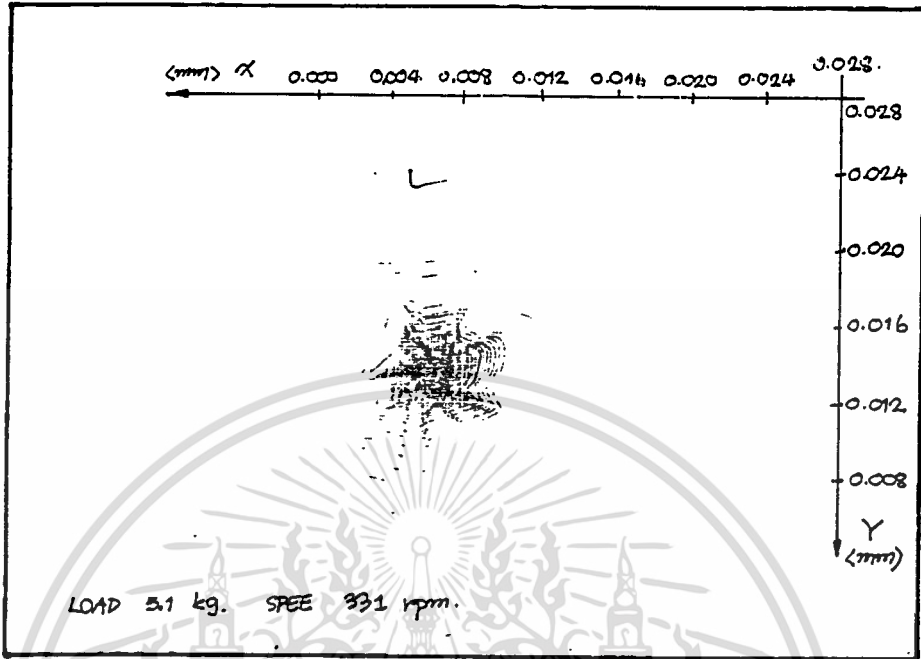
Speed = 331.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.50	-4.34	0.060	0.092
24	-4.46	-4.37	0.068	0.086
25	-4.48	-4.36	0.064	0.088
26	-4.48	-4.36	0.064	0.094
27	-4.45	-4.37	0.070	0.086
28	-4.48	-4.33	0.064	0.088
29	-4.46	-4.36	0.068	0.088
30	-4.50	-4.33	0.060	0.094
31	-4.48	-4.36	0.064	0.088
32	-4.48	-4.35	0.064	0.090
-	-----	-----	-----	-----

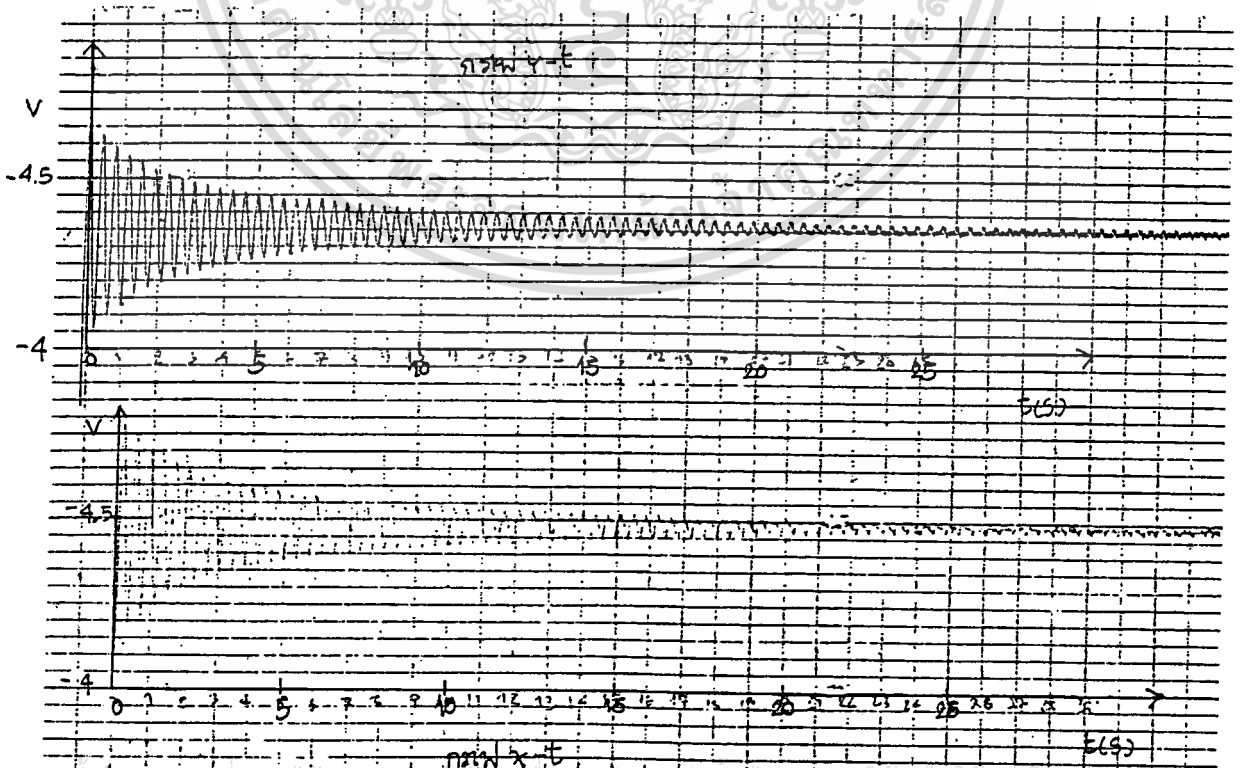
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

Speed = 331.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.05	-4.68	0.150	0.024
1	-4.60	-4.13	0.040	0.134
2	-4.45	-4.38	0.070	0.084
3	-4.44	-4.43	0.072	0.074
4	-4.60	-4.25	0.040	0.110
5	-4.38	-4.45	0.084	0.070
6	-4.55	-4.28	0.050	0.104
7	-4.47	-4.40	0.066	0.080
8	-4.45	-4.38	0.070	0.084
9	-4.54	-4.33	0.052	0.094
10	-4.43	-4.41	0.074	0.078
11	-4.49	-4.32	0.062	0.096
12	-4.50	-4.35	0.060	0.090
13	-4.46	-4.40	0.068	0.080
14	-4.52	-4.33	0.056	0.094
15	-4.47	-4.39	0.066	0.082
16	-4.49	-4.35	0.062	0.090
17	-4.51	-4.34	0.058	0.092
18	-4.45	-4.39	0.070	0.082
19	-4.48	-4.34	0.064	0.092
20	-4.50	-4.35	0.060	0.090
21	-4.46	-4.38	0.068	0.084
22	-4.48	-4.35	0.064	0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 5.1 Kg.

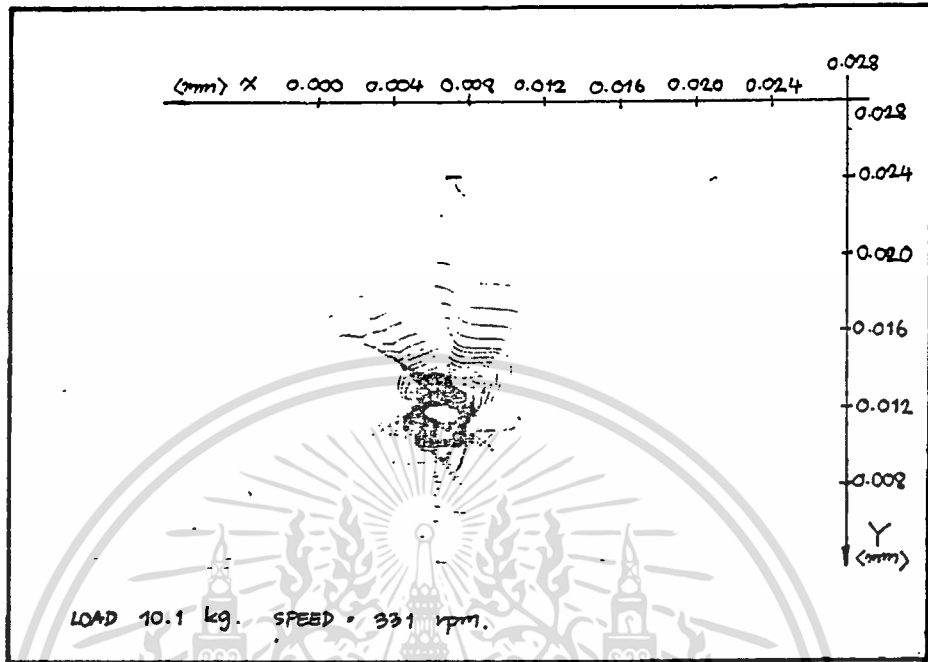
Speed = 331.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.50	-4.35	0.060	0.090
24	-4.47	-4.37	0.066	0.086
25	-4.49	-4.35	0.062	0.090
26	-4.47	-4.37	0.066	0.086
27	-4.49	-4.35	0.062	0.090
28	-4.47	-4.35	0.066	0.090
29	-4.48	-4.35	0.064	0.090
-	-----	-----	-----	-----

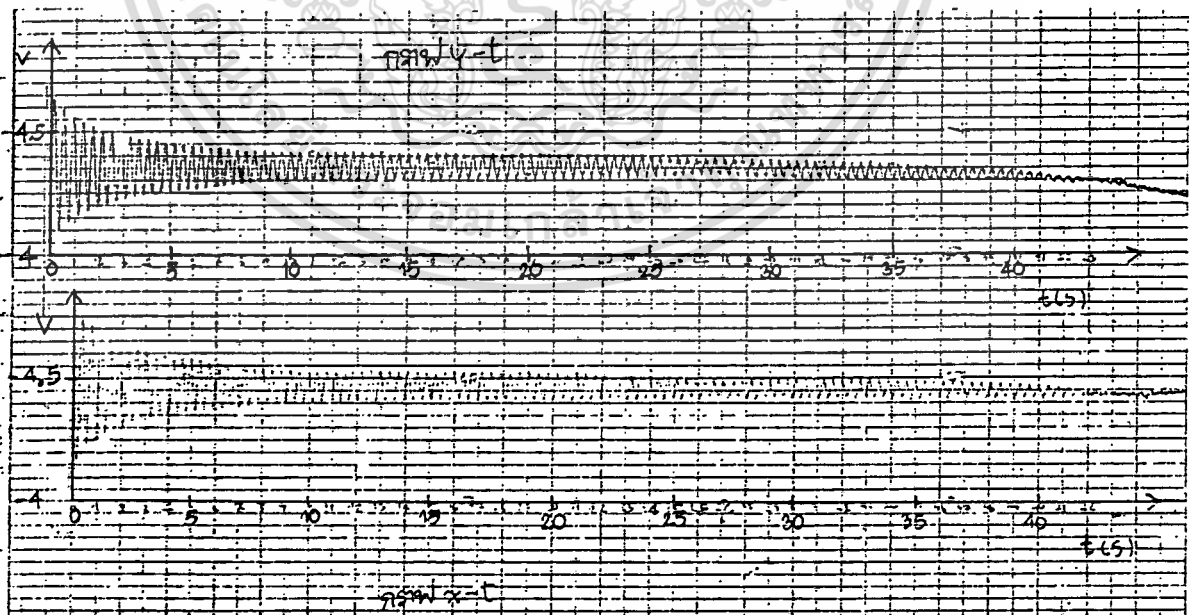
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X(t) และ Y(t)

RENGE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 10.1 Kg.

Speed = 331.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.06	-4.69	0.148	0.022
1	-4.25	-4.55	0.110	0.050
2	-4.30	-4.20	0.100	0.120
3	-4.60	-4.48	0.040	0.064
4	-4.35	-4.35	0.090	0.090
5	-4.57	-4.40	0.046	0.080
6	-4.45	-4.44	0.070	0.072
7	-4.38	-4.28	0.084	0.104
8	-4.54	-4.40	0.052	0.080
9	-4.40	-4.35	0.080	0.090
10	-4.50	-4.30	0.060	0.100
11	-4.45	-4.42	0.070	0.076
12	-4.40	-4.32	0.060	0.096
13	-4.52	-4.35	0.056	0.090
14	-4.48	-4.42	0.064	0.076
15	-4.43	-4.30	0.074	0.100
16	-4.52	-4.38	0.056	0.184
17	-4.43	-4.40	0.074	0.080
18	-4.45	-4.30	0.070	0.100
19	-4.52	-4.38	0.056	0.084
20	-4.41	-4.33	0.078	0.094
21	-4.50	-4.35	0.060	0.090
22	-4.45	-4.44	0.070	0.080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูในโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

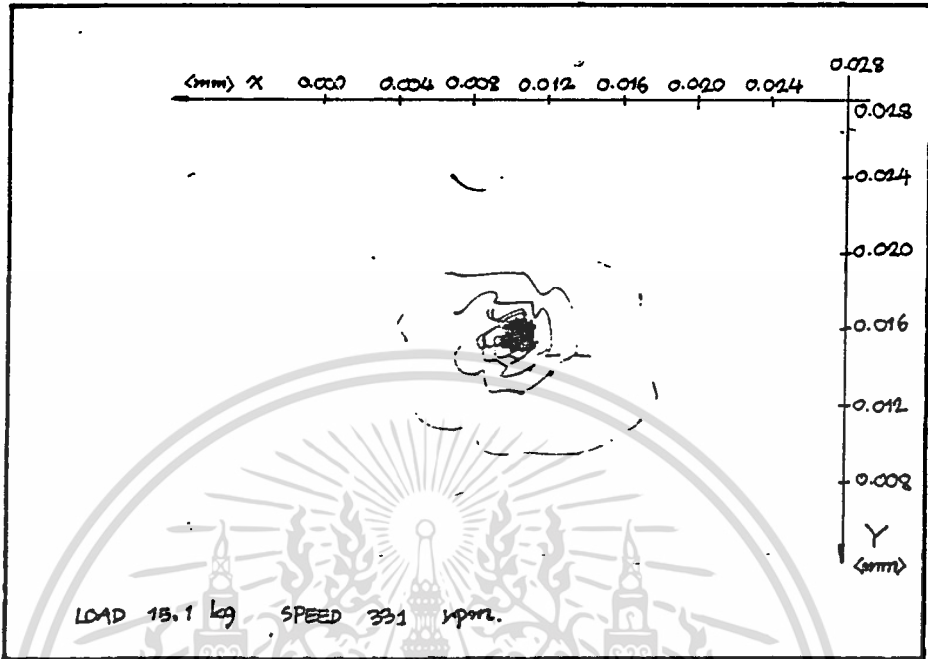
Load = 10.1 Kg.

Speed = 331.0 rpm.

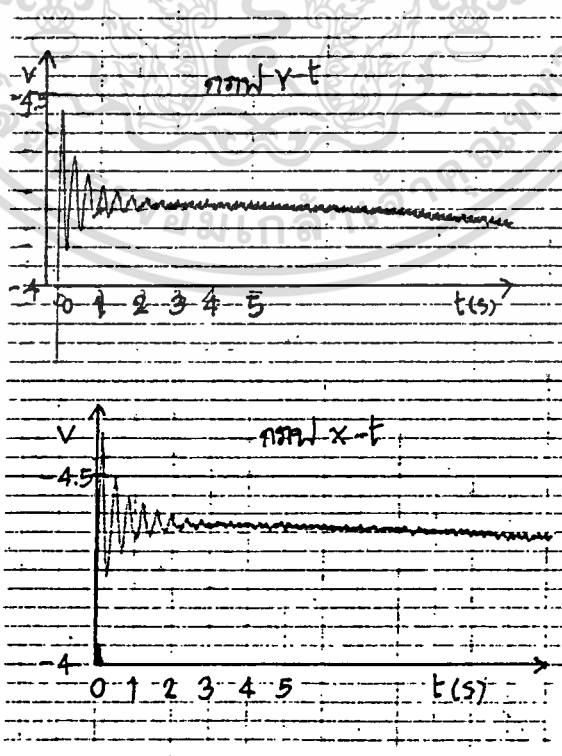
Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
23	-4.42	-4.30	0.076	0.100
24	-4.50	-4.34	0.060	0.092
25	-4.44	-4.40	0.072	0.080
26	-4.43	-4.33	0.074	0.094
27	-4.49	-4.38	0.062	0.084
28	-4.43	-4.35	0.074	0.090
29	-4.49	-4.35	0.062	0.090
30	-4.45	-4.38	0.070	0.084
31	-4.43	-4.32	0.074	0.096
32	-4.49	-4.37	0.062	0.086
33	-4.45	-4.35	0.070	0.090
34	-4.44	-4.30	0.072	0.100
35	-4.48	-4.37	0.064	0.086
36	-4.43	-4.33	0.074	0.094
37	-4.49	-4.30	0.062	0.100
38	-4.47	-4.36	0.066	0.088
39	-4.42	-4.30	0.076	0.100
40	-4.47	-4.34	0.066	0.092
41	-4.42	-4.32	0.076	0.096
42	-4.43	-4.30	0.074	0.100
43	-4.43	-4.30	0.074	0.100
-	-----	-----	-----	-----

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $X(t)$ และ $Y(t)$

RENCE = 200 mv/cm.



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X, Y และ t



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Load = 15.1 Kg.

Speed = 331.0 rpm.

Time (sec)	X-axis Voltage (volts)	Y-axis Voltage (volts)	X-axis Gap (mm)	Y-axis Gap (mm)
0	-4.05	-4.46	0.150	0.068
1	-4.34	-4.26	0.092	0.108
2	-4.40	-4.20	0.080	0.120
3	-4.37	-4.22	0.086	0.116
4	-4.37	-4.22	0.086	0.116
5	-4.35	-4.22	0.090	0.116
-	-----	-----	-----	-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่ K_1, K_2, C_1, C_2 สามารถหาความสัมพันธ์จากค่าซอมเมอร์เฟลด์ นัมเบอร์ (Sommerfeld number) S ซึ่งมี สภาวะปฏิบัติการดังนี้ (oil, T_a, N, W, L, D, C)

$$\text{ซอมเมอร์เฟลด์ นัมเบอร์ } S = \frac{\mu_o \omega (r/c)^2}{P_a} \quad (1)$$

$$\text{โดยที่ค่า } P_a = W/LD \quad \text{และ} \quad (P_a)_{iso} = (P_a)_{Ti}$$

ค่าความหนืด สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\mu_{(T)} = \mu_o e^{\frac{b}{T+\theta}} \quad (2)$$

เมื่อค่า $\theta = 95^\circ \text{F}$

$\mu_o =$ ความหนืดสัมพัทธ์ (relative viscosity)

ค่า μ_o และ b อ่านได้จากตาราง

Table 1

Oil	μ (80°F) (Reyns (lb s/in. ²))	μ (140°F) Reyns	μ_o Reyns	b °F
SAE 10	1.18×10^{-5}	2.18×10^{-6}	1.58×10^{-8}	1157.5
SAE 20	1.95×10^{-5}	3.15×10^{-6}	1.36×10^{-8}	1271.6
SAE 30	3.35×10^{-5}	4.50×10^{-6}	1.41×10^{-8}	1360.9
SAE 40	5.50×10^{-5}	6.40×10^{-6}	1.21×10^{-8}	1474.4
SAE 50	9.50×10^{-5}	1.05×10^{-5}	1.70×10^{-8}	1509.6
SAE 60	1.42×10^{-4}	1.45×10^{-5}	1.87×10^{-8}	1564.0

Viscosity at any temperature T (°F) is given by

$$\mu(T) = \mu_o e^{\frac{b}{T+\theta}}$$

where $\theta = 95^\circ \text{F}$
 $\mu_o =$ lubricant "relative viscosity"

ตาราง 1

หรือหาได้จากการอ่านค่าจากกราฟ โดยการหาให้อยู่ในรูปของ เซโบลต์ ยูนิเวอร์แซล เซคันด์ (Saybolt Universal Second) (SUS) โดยดูค่า SAE-40 และอุณหภูมิ $T = 80 \text{ F}$ ได้จากกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

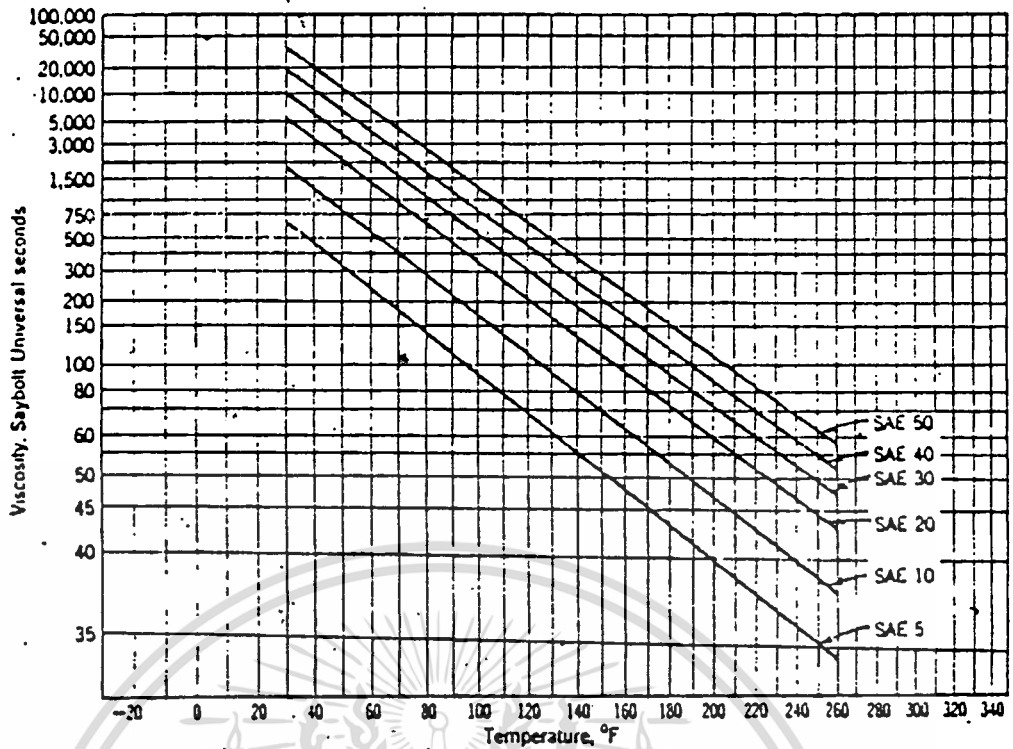


Fig. 26. Average viscosities for typical SAE motor oils plotted on ASTM viscosity-temperature chart.

ค่าที่ได้ = SUS = 1500 sec

ทำการเปลี่ยนหน่วยเป็น เซนติ สโตรก (centistokes)

$$\nu^* = 0.22t - 180/t \quad ; t = \text{SUS}$$

$$\nu^* = 329.88 \quad \text{เซนติ สโตรก}$$

หลังจากนั้นเปลี่ยนค่าเป็น เซนติพอยซ์

$$\nu = \nu^* \times (0.85) = 280.398 \quad \text{เซนติพอยซ์}$$

และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของหน่วย reyns

$$\mu = \nu \times 1.45 \times 10^{-7}$$

$$\mu_{(80)} = 4.066 \times 10^{-5} \quad \text{reyns}$$

ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเราเลือกใช้ค่าที่ได้จากกราฟคือ

$$\begin{aligned} \mu_{(T)} &= 4.066 \times 10^{-5} \quad \text{reyns} \\ &= 4.066 \times 10^{-5} / 1.45 \times 10^{-4} \\ &= 0.28 \quad \text{N/s/m}^2 \end{aligned}$$

ทำการแทนค่าสภาวะทั้งหมด ลงในสมการซอมเมอร์เฟลด์ เพื่อหาแนวโน้มของค่า

ซอมเมอร์เฟลด์ จะได้ค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = \frac{\mu_0 \omega (r/c)^2}{Pa}$$

P_a = ความดันเฉลี่ย

$$P_a = W/LD ; L = 149.15 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D = 50.8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$W = (\text{ภาวะ} + \text{นน.แบร์ริง} + \text{นน.ที่แขวนภาวะ}) \text{ kg.}$$

$$= (\text{ภาวะ} + 1.8 + 0.1) \text{ kg.}$$

$$= (\text{ภาวะ} + 1.9)10 \text{ N}$$

$$P_a = (\text{ภาวะ} + 1.9)10 / (149.15 \times 10^{-3})(50.8 \times 10^{-3})$$

$$C = \text{เคลือบแรนซ์} = 0.15 \text{ mm.}$$

$$r = 50.8/2 = 25.4 \text{ mm.}$$

N = ความเร็วรอบ (rps.)

$$\mu_0 = 0.28 \text{ N/s/m}^2.$$

แทนค่าตัวแปรทั้งหมด

$$S = 243.6302 \times \frac{N}{W}$$

เมื่อแทนค่า ความเร็วรอบและภาวะ จะได้ค่าตามตารางข้างล่างนี้

ตารางค่าชอมเมอร์เฟลด์นัมเบอร์

ความเร็วรอบ (rpm)	ภาวะ (kg)	ค่า ชอมเมอร์เฟลด์นัมเบอร์
142.0 (2.3667) rps	0.0	32.0333
	5.0	8.35651
	10.0	4.84538
	15.0	3.41183
	20.0	2.632875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ (rpm)	ภาระ (kg)	ค่า ซอมเมอร์เฟลด์นัมเบอร์
189.3 (3.155) rps	0.0	42.70296
	5.0	11.13990
	10.0	6.459270
	15.0	4.548240
	20.0	3.509800
236.6 (3.9433)	0.0	53.3726
	5.0	13.9230
	10.0	8.07320
	15.0	5.68466
	20.0	4.39679
284.0 (4.733) rps	0.0	64.06120
	5.0	16.71162
	10.0	9.689930
	15.0	6.823088
	20.0	5.265305
331.0 (5.5167) rps	0.0	74.66860
	5.0	19.47877
	10.0	11.29440
	15.0	7.952870
	20.0	6.137145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อดูจากแนวโน้มของ ค่าขอมเมอร์เฟลด์แล้ว พบว่ามีค่า > 1 เสมอ ดังนั้นพิจารณา

$$\text{ค่า } L/D = \frac{149.15}{50.95} = 2.927$$

และ $S = 2.633$; ที่ความเร็วรอบ = 142 และ ภาระ = 20.1 kg.

เมื่อนำไปเทียบค่าตามตารางภาคผนวก ใช้ค่า $0.5 < L/D < 1$ (ช่วงที่สูงสุด) และ $S > 1$ เลือกค่าตัวแปรได้ดังนี้

$$C_{11} = 26.424 - 25.646(L/D) - 11.235(S) - 0.044(S^2) \\ + 43.391 S(L/D) - 16.947 S(L/D)$$

$$C_{12} = 1.353 + 1.109(L/D) + 0.376(S) + 0.027(S^2) \\ + 1.341 S(L/D) + 0.510 S(L/D)$$

$$C_{21} = 4.059 - 2.013(L/D) - 0.231(S) - 0.004(S^2) \\ + 1.839 S(L/D) - 1.450 S(L/D)$$

$$C_{22} = 4.735 - 5.019(L/D) - 7.506(S) - 0.069(S^2) \\ + 26.089 S(L/D) - 2.897 S(L/D)$$

$$K_{11} = 2.3258 - 1.2120(L/D) - 0.3413(S) \\ + 0.3436 S(L/D)$$

$$K_{12} = 8.1511(L/D) - 1.1442 S - 0.4387 + 0.04717(L/D)$$

$$K_{21} = 12.2356 - 12.4891(L/D) + 1.2669(S) + 0.0756(S^2) \\ + 1.2224 S(L/D) - 10.9395 S(L/D)$$

$$K_{22} = 2.178(L/D) - 0.1386 S - 0.0376 + 0.0383(L/D)$$

แทนค่า L/D และ S ลงในสมการค่าคงที่ข้างบน จะได้ค่าดังนี้

$$C_{11} = -47.00192683$$

$$C_{12} = 4.574054373$$

$$C_{21} = -115.008$$

$$C_{22} = 121.592$$

$$K_{11} = 4.063152519$$

$$K_{12} = 172.4130615$$

$$K_{21} = -197.101$$

$$K_{22} = 2.017$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแบบเรียนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m = M + m_H \quad ; \quad m_H = \frac{\pi r^3 \rho L}{C} = 20.227 \text{ kg.}$$

$$; M = \text{มวลของแปรง} = 1.8 \text{ kg.}$$

$$; m_R = \text{มวลเพลลา} = 7.969 \text{ kg.}$$

$$\sim 8 \text{ kg.}$$

$$m = 28.227 \text{ kg.}$$

แทนค่าที่ได้ทั้งหมดลงในสมการ (49) จะได้สมการดังนี้

$$(796.76)\lambda^4 - (-162.009268)\lambda^3 + (512.8866992)\lambda^2 + (29770.10476)\lambda - 453.0942796 = 0$$

ทำการแก้สมการหาค่า λ ซึ่งจะต้องมีทั้งหมด 4 ค่า

$$\lambda_1 = 0.015216$$

$$\lambda_2 = -3.219193$$

$$\lambda_3 = 1.703656 + 2.950797i$$

$$\lambda_4 = 1.703656 - 2.950797i$$

ดังนั้นเราจะได้สมการ x_h และ y_h ดังนี้

$$x_h = X_0 [e^{(-3.21913)t} + e^{(0.015216)t} + e^{(1.703656)t} (\cos 2.950797t + \sin 2.950797t)]$$

$$y_h = Y_0 [e^{(-3.21913)t} + e^{(0.015216)t} + e^{(1.703656)t} (\cos 2.950797t + \sin 2.950797t)]$$

หาค่า X_0 และ Y_0 โดยการแทนค่า x และ y ที่ เวลา = 0 ดังนั้น

เราจะได้ค่า $X_0 = -0.19$ และ $Y_0 = -0.045$ แทนค่าลงในสมการ x_h และ y_h

ทำการหาสมการ นอน-โฮมจีเนียส

$$\text{ทำการหาค่าด้านขวาของสมการ} = \omega^2 m e \cos \theta$$

$$= \omega^2 m e \sin \theta$$

โดยที่ $m = \text{มวลเพลลา} = 8 \text{ kg.}$

$\omega = \text{ความเร็วรอบ (rpm.)}$

ทำการหาค่า e จากสมการที่ (39)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|La/e|_M = \frac{\omega}{2\beta F} \quad ; \text{ที่ critical damp } F \text{ เข้าใกล้ } 0$$

$$e = \frac{a(2m_H F)}{4\omega M} \quad ; \beta = m_H/4M$$

$$e = \frac{0.2005 a}{\omega M}$$

แทนค่า e ลงในสมการ (39) จะได้ว่า

$$|\omega^2 m e \cos\theta = 0.2005 \omega a$$

$$|\omega^2 m e \sin\theta = 0.2005 \omega a$$

กำหนดให้ $x_p = A \cos\theta + B \sin\theta$

$$y_p = C \cos\theta + D \sin\theta$$

แทนค่า ลิมิตี, x_p และ y_p ลงในสมการข้างล่างนี้

$$28.227\ddot{x} - 47.0019\dot{x} + 4.0632x + 4.5741\dot{y} + 172.4131y = 0.2005\omega a$$

$$28.227\ddot{y} - 115.008\dot{y} - 197.101 + 121.592 + 2.017x = 0.2005\omega a + Mg$$

ทำการแก้สมการหาค่า A, B, C, D จะได้ค่าดังนี้

$$A = -2.6065 \times 10^{-4} \omega a - 0.004 Mg$$

$$B = 2.6065 \times 10^{-4} \omega a - 0.005 Mg$$

$$C = 1.4035 \times 10^{-3} \omega a - 0.002 Mg$$

$$D = -3.4735 \times 10^{-4} \omega a - 0.002 Mg$$

ดังนั้นเราจะได้อ่า x_p และ y_p ดังนี้

$$x_p = (-2.6065 \times 10^{-4} \omega a - 0.004 Mg) \cos\theta + (2.6065 \times 10^{-4} \omega a - 0.005 Mg) \sin\theta$$

$$y_p = (1.4035 \times 10^{-3} \omega a - 0.002 Mg) \cos\theta + (-3.4735 \times 10^{-4} \omega a - 0.002 Mg) \sin\theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราจะได้สมการการเคลื่อนที่ที่เวลาใดดังนี้

$$X(t) = (-0.19) [e^{(-3.219193)t} + e^{(0.015216)t} + e^{(1.703656)t} (\cos 2.950797t + \sin 2.950797t) + (-2.6065 \times 10^{-4} \omega_a - 0.004 Mg) \cos \theta + (2.6065 \times 10^{-4} \omega_a - 0.005 Mg) \sin \theta]$$

$$Y(t) = (-0.045) [e^{(-3.219193)t} + e^{(0.015216)t} + e^{(1.703656)t} (\cos 2.950797t + \sin 2.950797t) + (1.4035 \times 10^{-3} \omega_a - 0.002 Mg) \cos \theta + (-3.4735 \times 10^{-4} \omega_a - 0.002 Mg) \sin \theta]$$

เราสามารถหาค่า ความหนาฟิล์มที่บางที่สุด และ อัตราส่วนความเยื้องศูนย์กลาง ได้โดยการเทียบ ค่า L/D และ S จากตารางภาคผนวก โดยเลือก ค่าที่ $0.5 < L/D < 1$ และ $S > 1$ จะได้สมการดังนี้

$$h_0/c = 0.89574(L/D)(0.3895)_S(0.3076 - 0.2537)(L/D)$$

จากตารางขอมเมอร์เฟลด์คิมเบอร์ แทนค่า S และ L/D = 2.927

ความเร็วรอบ = 142.0 rpm.			ความเร็วรอบ = 189.3 rpm.		
ภาวะ	ϵ	h_0	ภาวะ	ϵ	h_0
0.0	0.699	0.045	0.0	0.734	0.040
5.1	0.460	0.081	5.1	0.523	0.072
10.1	0.315	0.103	10.1	0.395	0.091
15.1	0.202	0.120	15.1	0.296	0.106
20.1	0.107	0.134	20.1	0.212	0.118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ = 236.6 rpm.			ความเร็วรอบ = 284.0 rpm.		
ภาวะ	ϵ	h_0	ภาวะ	ϵ	h_0
0.0	0.759	0.036	0.0	0.777	0.033
5.1	0.567	0.065	5.1	0.600	0.060
10.1	0.451	0.082	10.1	0.493	0.076
15.1	0.361	0.096	15.1	0.410	0.089
20.1	0.285	0.107	20.1	0.339	0.099

ความเร็วรอบ = 331.0 rpm.		
ภาวะ	ϵ	h_0
0.0	0.792	0.031
5.1	0.626	0.056
10.1	0.526	0.071
15.1	0.448	0.083
20.1	0.328	0.093

เมื่อได้ค่า ϵ แล้วนำมาหาค่าความสามารถในการรับภาระ (Load Capacity) สมการที่ (11) และ (12) และ ประสิทธิภาพของแบร์ริง ที่ความเร็วรอบใดๆ

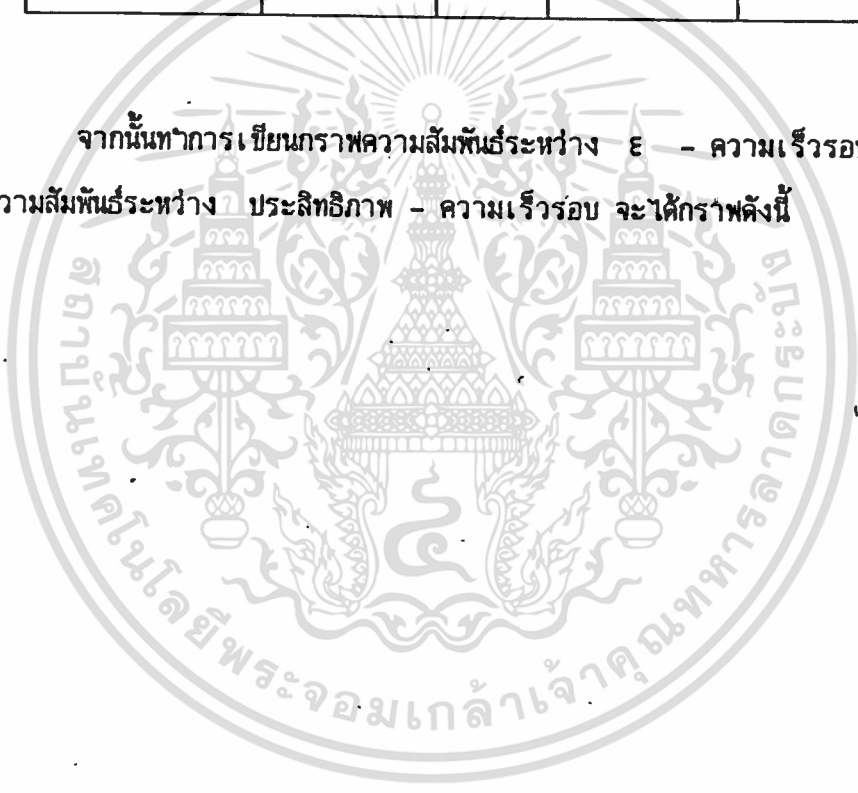
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ	ภาระ	K_p	W	eff.
142.0	0.0	7.2	1528.542	1.178
	5.1	3.7	785.501	8.784
	10.1	2.4	509.514	23.356
	15.1	1.5	318.446	53.070
	20.1	0.7	148.608	147.37
189.3	0.0	8.3	2349.012	0.773
	5.1	4.4	1245.260	5.541
	10.1	3.1	877.342	13.564
	15.1	2.2	622.630	27.143
	20.1	1.6	452.822	48.363
236.6	0.0	9.2	3254.312	0.553
	5.1	4.9	1733.275	3.981
	10.1	3.5	1238.053	9.612
	15.1	2.8	990.443	17.063
	20.1	2.1	742.832	29.482
284.0	0.0	9.2	3906.275	0.461
	5.1	5.4	2292.813	3.009
	10.1	4.1	1740.840	6.836
	15.1	3.2	1358.700	12.438
	20.1	2.6	1103.950	19.838

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้วงไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

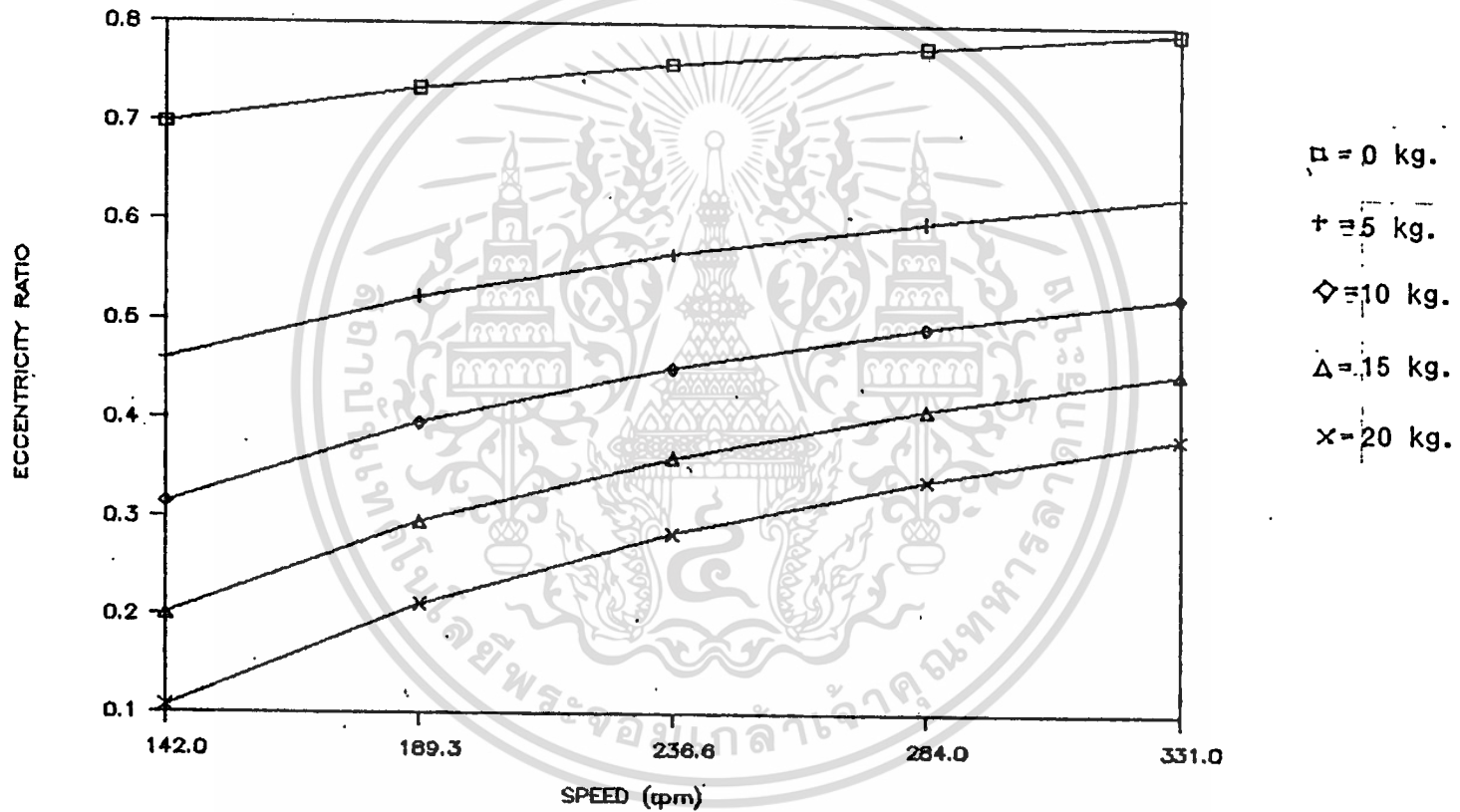
ความเร็วรอบ	ภาระ	K_p	W	eff.
331.0	0.0	10.5	5196.057	0.364
	5.1	5.7	2820.720	2.446
	10.1	4.6	2276.370	5.228
	15.1	3.5	1732.019	9.757
	20.1	3.0	1484.590	14.752

จากนั้นทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ - ความเร็วรอบ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพ - ความเร็วรอบ จะได้กราฟดังนี้



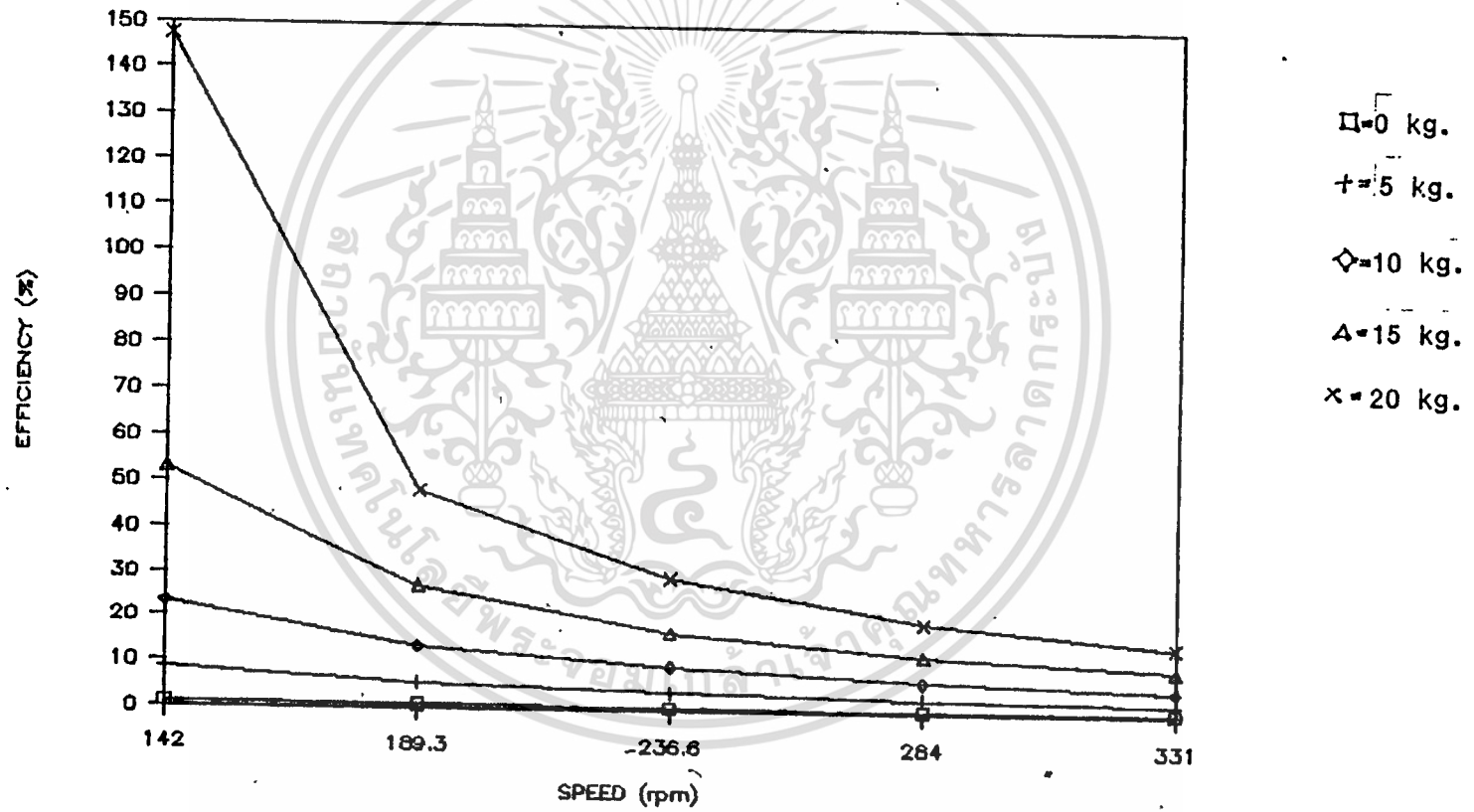
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IDEAL-DATA



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนความเยื้องศูนย์กลาง - ความเร็วรอบ

IDEAL-DATA



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพ - ความเร็วรอบ

เราจะทำการหาค่าความหนาที่สัมพันธ์ที่บางที่สุด อีกวิธีหนึ่งดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยการนำค่า ที่ได้จากการทดลองไปแทนในสมการที่ (67), (68), (69) และ (70) จะได้ค่า a , ϵ , และ ความหนาที่สัมพันธ์ที่บางที่สุด ดังตารางข้างล่างนี้

ความเร็วรอบ = 142.0 rpm

X(t)	Y(t)	h	k	a	ϵ	h_0
0.063	0.085	-0.034	-0.012	0.0365	0.240	0.1140
0.070	0.084	-0.019	-0.005	0.0200	0.131	0.1300
0.064	0.080	-0.027	-0.011	0.0290	0.194	0.1210
0.074	0.100	-0.027	-0.001	0.0270	0.180	0.1230
0.084	0.134	-0.041	-0.009	0.0420	0.280	0.1080

ความเร็วรอบ = 189.3 rpm

X(t)	Y(t)	h	k	a	ϵ	h_0
0.052	0.086	-0.057	-0.023	0.0610	0.410	0.0890
0.054	0.096	-0.063	-0.021	0.0660	0.443	0.0840
0.066	0.088	-0.031	-0.009	0.0320	0.215	0.1180
0.070	0.100	-0.035	-0.005	0.0350	0.236	0.1150
0.084	0.094	-0.001	-0.009	0.0090	0.060	0.1410

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ = 236.6 rpm

X(t)	Y(t)	h	k	a	ε	h ₀
0.074	0.094	-0.021	-0.001	0.0210	0.140	0.1290
0.060	0.092	-0.047	-0.015	0.0490	0.329	0.1010
0.070	0.092	-0.027	-0.005	0.0270	0.183	0.1230
0.070	0.090	-0.025	-0.005	0.0253	0.170	0.1250
0.088	0.106	-0.005	0.013	0.0140	0.093	0.1360

ความเร็วรอบ = 284.0 rpm

X(t)	Y(t)	h	k	a	ε	h ₀
0.074	0.086	-0.013	-0.001	0.0130	0.087	0.1370
0.062	0.088	-0.039	-0.013	0.0410	0.274	0.1090
0.060	0.086	-0.041	-0.015	0.0448	0.291	0.1060
0.070	0.090	-0.025	-0.005	0.0250	0.170	0.1250
0.076	0.104	-0.027	0.000985	0.0270	0.180	0.1230

ความเร็วรอบ = 331.0 rpm

X(t)	Y(t)	h	k	a	ε	h ₀
0.062	0.090	-0.041	-0.013	0.043	0.287	0.1070
0.062	0.090	-0.041	-0.013	0.043	0.287	0.1070
0.070	0.094	-0.029	-0.005	0.029	0.196	0.1210
0.066	0.116	-0.059	-0.009	0.060	0.398	0.0900

จากนั้นทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ความรั่วไหล η และค่า K_p ที่จะนำไปใช้หาค่า ประสิทธิภาพในการรับภาระ และหาประสิทธิภาพของแบร์ริง

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความรั่วไหลโดยการนำค่า ϵ และ L/D ไปหาค่าในกราฟ จะได้อ่านค่าสัมประสิทธิ์ความรั่วไหล เมื่อทำการเฉลี่ยแล้วจะมีค่า = 0,78

จากนั้นนำค่า ϵ และ β (มุม partial bearing) ในที่นี้ให้ใช้ค่า $\beta = 90$ เพราะ ถือว่าค่าที่สูงกว่า 90 จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากดังนั้นเราจะใช้ค่า K_p ดังนี้

ความเร็วรอบ	ภาระ				
	0 kg.	5.1 kg.	10.1 kg.	15.1 kg.	20.1 kg.
142.0	1.9	0.9	1.4	1.3	2.0
189.3	3.2	3.5	1.6	1.7	0.5
236.6	1.0	2.7	1.5	1.3	0.8
284.0	0.7	2.1	2.2	1.2	1.3
331.0	2.2	2.2	1.5	3.2	---

เมื่อเราได้ค่า K_p แล้วเราจะนำค่าที่ได้ไปแทนในสมการที่ใช้หาค่า ความสามารถในการรับภาระ (W) ในสมการที่ (11) และ ประสิทธิภาพของแบร์ริง ดังตารางข้างล่างนี้

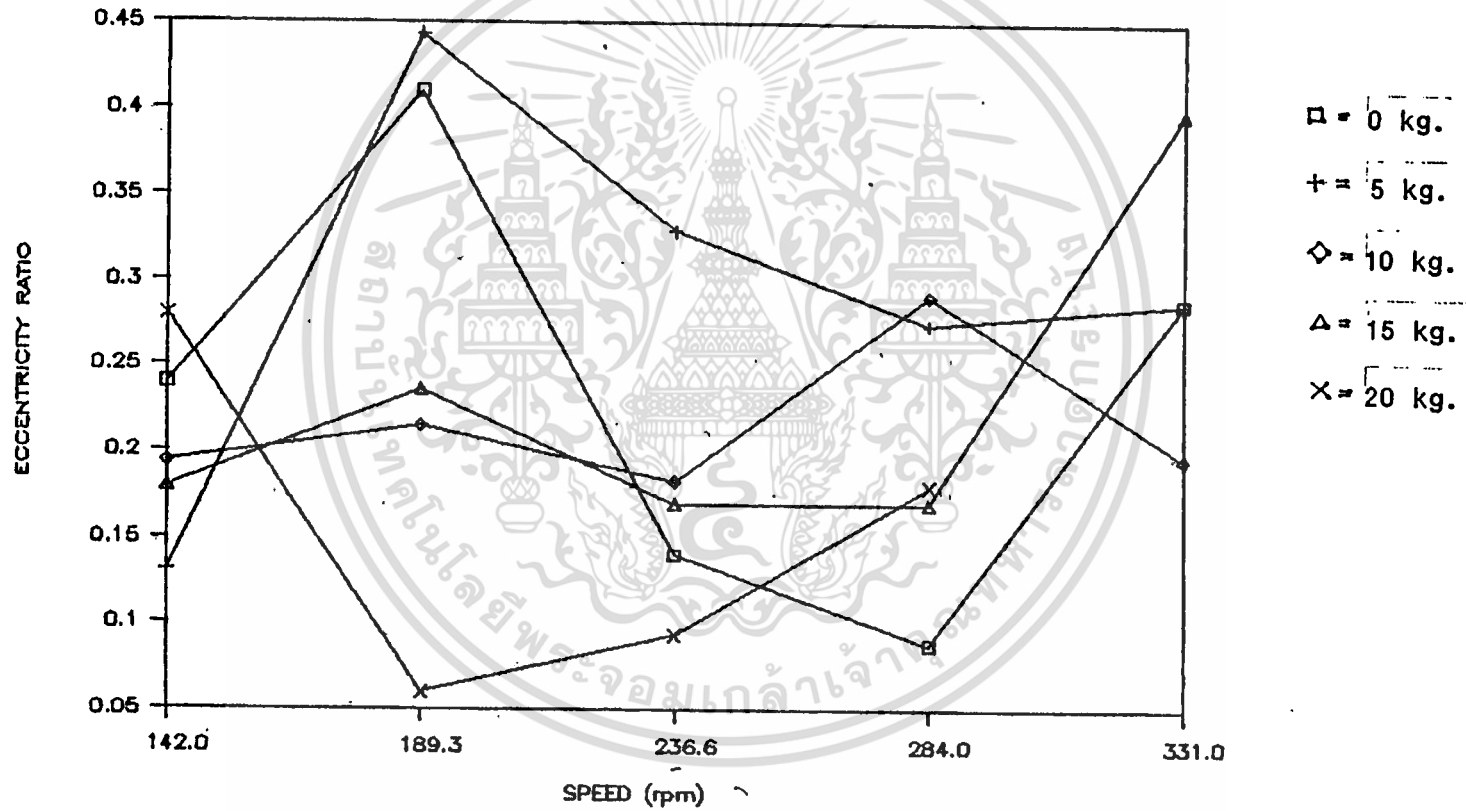
ความเร็วรอบ	ภาระ	K_p	W	eff.
142.0	0.0	1.90	403.365	4.46200
	5.1	0.90	191.068	36.1128
	10.1	1.40	297.217	40.0380
	15.1	1.30	275.987	61.2350
	20.1	2.00	424.595	51.5790

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ	ภาระ	K_p	W	eff.
189.3	0.0	3.20	905.640	1.98750
	5.1	3.50	990.547	6.96580
	10.1	1.60	452.820	26.2790
	15.1	1.70	481.123	35.1260
	20.1	0.50	141.506	154.764
236.6	0.0	1.00	353.730	5.08800
	5.1	2.70	955.069	7.22500
	10.1	1.50	530.594	22.4280
	15.1	1.30	517.329	32.6678
	20.1	0.80	275.909	79.3749
284.0	0.0	0.70	289.786	6.20000
	5.1	2.10	869.358	7.93700
	10.1	2.20	910.756	13.0660
	15.1	1.20	496.776	34.0190
	20.1	1.30	538.174	40.6900
331.0	0.0	2.20	1061.48	1.69570
	5.1	2.20	1061.48	1.69570
	10.1	1.50	723.737	16.4420
	15.1	3.20	1543.96	10.9457
	20.1	----	-----	-----

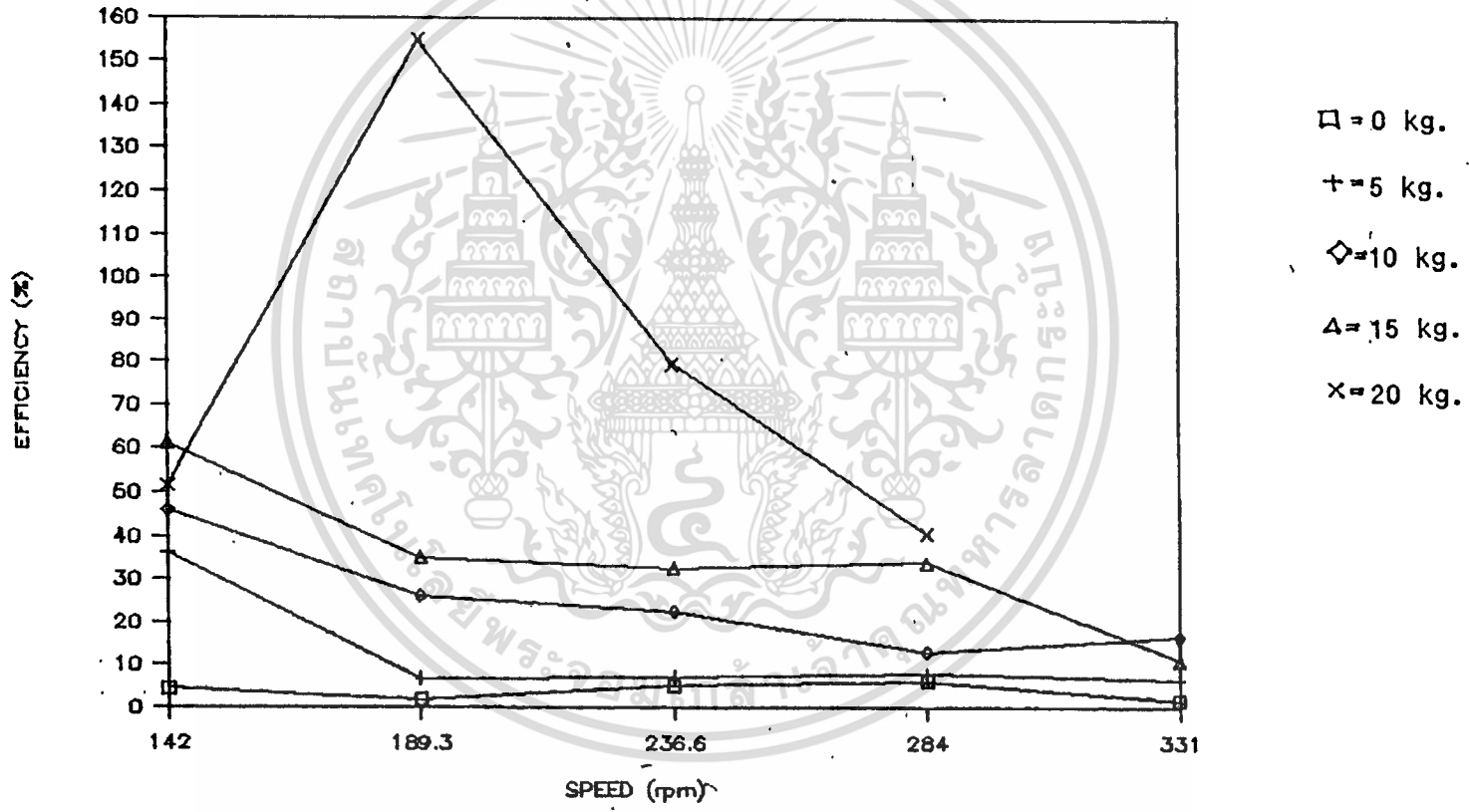
จากนั้นทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ - ความเร็วรอบ และเขียน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพ - ความเร็วรอบ จะได้กราฟดังนี้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENT-DATA



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนความเยื้องศูนย์กลาง - ความเร็วรอบ

EXPERIMENT-DATA



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพ - ความเร็วรอบ

บทที่ 4

สรุปผลและวิจารณ์

จากการทดลอง ทำให้เราเข้าใจถึงการทำงานของแบร์ริงที่สภาวะต่างๆกัน โดยการเปรียบเทียบค่าทางทฤษฎีกับค่าที่ได้จากการทดลอง สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของแบร์ริง (โดยการเทียบจากภาวะทางทฤษฎีกับภาวะจริง) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าเพิ่มภาระมากขึ้นที่ความเร็วรอบเดียวกัน แต่ประสิทธิภาพจะลดลงในกรณีที่เพิ่มความเร็ว จะเห็นได้จากกราฟ ซึ่งจะเหมือนกันทั้งทางทฤษฎีและจากการผลทดลอง แต่ที่แตกต่างกันก็คือ ในทางทฤษฎี ค่าความหนาของฟิล์มที่บางที่สุด จะมีค่ามากขึ้นถ้าภาระมากขึ้น แต่จากการทดลองพบว่า ค่าความหนาของฟิล์มที่บางที่สุด จะลดลงเมื่อเพิ่มภาระเข้าไป

จากการที่เรามีแบร์ริงที่มีขนาดยาวมาก จะทำให้เกิดการกระจายความดันไม่สม่ำเสมอตลอดแนวเพลลา คือการกระจายจะเกิดในรูปของอานม้า ทำให้ความสามารถในการรับภาระลดลง จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบสูงๆหรือที่ภาระมากๆ

จากการที่ไม่สามารถตั้งศูนย์ได้เที่ยงตรงจริงๆทำให้เกิดการสั่นในเพลลา ทำให้ความหนาของฟิล์มน้ำมันแปรเปลี่ยนตลอดเวลา แบร์ริงไม่สามารถเข้าสู่จุดเสถียรได้

ความดันน้ำมันไม่เพียงพอไม่สามารถยกแบร์ริงให้ลอยที่ความเร็วรอบสูงๆหรือภาระมากๆได้

เสนอแนะให้ทำการเพิ่มแรงดันน้ำมัน เพื่อที่จะสามารถทดลองที่ความเร็วรอบสูงๆหรือที่ภาระมากๆได้ และ แบร์ริงควรมีขนาดอัตราส่วน $L/D \leq 1$ และมีเคลือบชั้นน้อยเพื่อเกิดการรั่วไหลทางด้านข้างน้อย และสำหรับมอเตอร์ควรจะสามารถเปลี่ยนความเร็วรอบได้สะดวก ทำให้ง่ายต่อการเก็บข้อมูลที่ความเร็วรอบต่างกัน โดยไม่ต้องทำการตั้งศูนย์ให้ตรงใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S ≤ 0.15

h0/C = 2.7258 (L/D)^.83621 S^-.75101 + .08113 (L/D)

h0/c = 1.7176 (L/D)^1.0478 S^-.4999 - .1866 (L/D)

phi = 110.9067 (L/D)^.50727 S^-.28156 + .07485 (L/D)

R/C f = 9.9533 (L/D)^-.4758 S^-.6705 - .1124 (L/D)

Q/RNCL = 4.1036 (L/D)^-.30624 S^-.024799 - .07982 (L/D)

J7cDelta/P = 42.0097 (L/D)^-.6146 S^-.6619 - .1829 (L/D)

P/Pmax = 0.79567 (L/D)^.53651 S^-.25659 + .04321 (L/D)

S ≥ 0.15

h0/C = 0.91437 (L/D)^.4538 S^-.6119 - .2890 (L/D) S ≤ 1

h0/c = 0.89574 (L/D)^.3395 S^-.3076 - .2537 (L/D) S ≥ 1

phi = 74.0025 (L/D)^.2395 S^-.3131 - .2172 (L/D)

Q/RNCL = 3.5251 (L/D)^-.2333 S^-.1926 + .1149 (L/D)

R/C f = 20.4422 (L/D)^-.1125 S^-.8551 + .1014 (L/D)

J7cDelta/P = 84.2989 (L/D)^-.08167 S^-.85540 + .05787 (L/D)

P/Pmax = 0.52529 (L/D)^.2486 S^-.2335 - .1870 (L/D)

A.2:1/4 ≤ L/D <= 1/2

S ≤ 0.15

hu/C = 9.2341 (L/D)^2.0873 S^-.4236 + .9247 (L/D)

h0/C = 1.1545 (L/D)^.4437 S^-.7831 - .3788 (L/D)

phi = 112.7756 (L/D)^.4332 S^-.2992 + .1336 (L/D)

R/C f = 9.4896 (L/D)^-.5446 S^-.7290 - .2293 (L/D)

Q/RNCL = 4.5607 (L/D)^-.15364 S^-.005371 - .048818 (L/D)

J7cDelta/P = 38.7604 (L/D)^-.5307 S^-.7322 - .2305 (L/D)

P/Pmax = 0.78635 (L/D)^.57953 S^-.23620 - .0840 (L/D)

S ≥ 0.15

S ≤ .04

S ≥ .04

S ≤ .04

S ≥ .04

S ≤ .04

S ≥ .04

S ≤ 0.04

S ≥ 0.04

h0/C = 1.1674 (L/D)^.83621 S^-.75101 - .02443 (L/D) S ≤ 1

h0/c = 1.1263 (L/D)^.7279 S^-.3117 - .6381 (L/D) S ≥ 1

phi = 93.6908 (L/D)^.5313 S^-.3139 - .2923 (L/D)

R/C f = 17.1809 (L/D)^-.3123 S^-.7993 + .2857 (L/D)

Q/RNCL = 3.4980 (L/D)^-.22973 S^-.11107 - .04103 (L/D)

J7cDelta/P = 69.4242 (L/D)^-.3075 S^-.8003 + .2783 (L/D)

P/Pmax = 0.64927 (L/D)^.5037 S^-.2783 - .3534 (L/D)

Dynamic Properties of the Fluid Film. Mathematical expressions for the dynamic properties of a 360 deg journal bearing are given as follows. The expressions are obtained by the process of approximate curve-fitting from the design data published by M.T.I. [10] and by Holmes [11].

B.1 Stiffness Coefficients

0.5 ≤ L/D ≤ 1

S ≤ 0.15

K'xx = 0.5979 (L/D)^-1.0131 S^-.08843 + .1927 (L/D)

K'yy = 2.0501 (L/D)^-0.2127 S^-.03713 + 0.1476 (L/D)

K'xz = -0.4816 + 1.7006 (L/D)^-.9335 S + 11.6940 S^2

-16.3368 S (L/D) + 2.2198 S (L/D)

K'yz = 2.5181 (L/D)^-0.3226 S^0.4954 - 0.4077 (L/D)

0.15 ≤ S ≤ 1

K'xx = 1.1251 (L/D)^-0.6746 S^-.02179 + 0.4021 (L/D)

K'yy = 7.5105 (L/D)^0.9778 S^-.05584 + 1.0131 (L/D)

K'xz = 1.463 + 2.044 (L/D)^-1.290 S + 1.053 S^2

-12.272 S (L/D) + 4.378 S (L/D)

K'yz = 2.2202 (L/D)^-0.1796 S^0.3145 - 0.2771 (L/D)

S ≥ 1.0

K'xx = 2.3258 - 1.2120 (L/D)^-0.3413 S + 0.3436 S (L/D)

การใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$K'_{xx} = 8.15 \left(\frac{L}{D}\right)^{1.1442} S^{0.4387 + 0.4717 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$K'_{yy} = 12.2355 - 12.4891 \left(\frac{L}{D}\right) + 1.2669 S + 0.0756 S^2$$

$$-1.2224 S \left(\frac{L}{D}\right) - 0.9395 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$K'_{yy} = 2.1773 \left(\frac{L}{D}\right)^{-0.1386} S^{-0.0376 + 0.0383 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$0.25 \leq \frac{L}{D} < 0.5$$

$$S \leq 0.15$$

$$K'_{xx} = 0.3532 \left(\frac{L}{D}\right)^{-1.7179} S^{-0.2589 - 1.0922 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$K'_{yy} = 1.9165 \left(\frac{L}{D}\right)^{-0.2674} S^{-0.8257 + 0.8357 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$K'_{xx} = 16.74 - 26.53 \left(\frac{L}{D}\right) + 13.63 S - 38.70 S^2$$

$$+ 43.72 S \left(\frac{L}{D}\right) - 20.12 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$K'_{yy} = 7.4551 \left(\frac{L}{D}\right)^{1.1975} S^{-0.8117 - 1.8334 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$0.15 < S \leq 1.0$$

$$K'_{xx} = 1.1897 \left(\frac{L}{D}\right)^{-0.6076} S^{-1.7152 + 0.3053 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$K'_{yy} = 3.8102 \left(\frac{L}{D}\right)^{-0.02386} S^{-1.44757 + 0.83371 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$K'_{xx} = 4.4333 - 6.0498 \left(\frac{L}{D}\right) + 3.9980 S - 4.2133 S^2$$

$$+ 0.8848 S \left(\frac{L}{D}\right) - 4.6921 S \left(\frac{L}{D}\right) \quad S \leq 0.5$$

$$K'_{xx} = -7.027 + 10.473 \left(\frac{L}{D}\right) - 1.964 S + 2.039 S^2$$

$$- 19.4675 \left(\frac{L}{D}\right) + 8.995 S \left(\frac{L}{D}\right) \quad S \geq 0.5$$

$$K'_{yy} = 3.4171 \left(\frac{L}{D}\right)^{0.4507} S^{-0.2406 - 0.9095 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$S > 1.0$$

$$K'_{xx} = 1.2702 \left(\frac{L}{D}\right)^{-0.3053} S^{-0.8195 + 0.9723 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$K'_{yy} = 5.7477 \left(\frac{L}{D}\right)^{0.6401} S^{0.2639 + 0.8173 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

$$K'_{xx} = 27.92 - 32.71 \left(\frac{L}{D}\right) - 1.21 S - 0.404 S^2$$

$$+ 19.34 S \left(\frac{L}{D}\right) - 22.11 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$K'_{yy} = 3.1903 \left(\frac{L}{D}\right)^{0.3860} S^{0.1813 - 0.3994 \left(\frac{L}{D}\right)}$$

B.2 Damping Coefficients

$$0.5 \leq \frac{L}{D} \leq 1$$

$$S \leq 0.05$$

$$C'_{xx} = -8.090 + 30.59 \left(\frac{L}{D}\right) - 1647.56 S + 7078.46 S^2$$

$$+ 739.36 S \left(\frac{L}{D}\right) + 219.81 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C'_{yy} = -21.11 + 27.88 \left(\frac{L}{D}\right) - 705.62 S + 2327.28 S^2$$

$$+ 353.02 S \left(\frac{L}{D}\right) + 133.45 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C'_{xx} = -22.24 + 28.43 \left(\frac{L}{D}\right) - 672.00 S + 2129.06 S^2$$

$$+ 337.77 S \left(\frac{L}{D}\right) + 132.83 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C'_{yy} = -2.872 + 5.397 \left(\frac{L}{D}\right) - 204.892 S + 833.223 S^2$$

$$+ 106.010 S \left(\frac{L}{D}\right) + 31.329 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$0.05 < S \leq 0.25$$

$$C'_{xx} = 26.402 - 19.317 \left(\frac{L}{D}\right) - 5.201 S + 55.945 S^2$$

$$17.102 S \left(\frac{L}{D}\right) - 29.361 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C'_{yy} = 1.7126 + 0.1870 \left(\frac{L}{D}\right) - 9.7244 S + 10.0934 S^2$$

$$+ 5.0982 S \left(\frac{L}{D}\right) + 2.8168 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C'_{xx} = 1.6125 - 0.201 \left(\frac{L}{D}\right) - 5.4768 S + 0.1344 S^2$$

$$+ 6.7569 S \left(\frac{L}{D}\right) + 2.2069 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C'_{yy} = 1.587 - 1.083 \left(\frac{L}{D}\right) - 18.793 S + 13.865 S^2$$

$$+ 30.244 S \left(\frac{L}{D}\right) + 2.021 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$0.25 < S \leq 1.0$$

$$C'_{xx} = 6.357 - 2.293 \left(\frac{L}{D}\right) - 17.294 S + 3.521 S^2$$

$$+ 19.892 S \left(\frac{L}{D}\right) + 5.635 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C'_{yy} = 0.4641 + 1.8204 \left(\frac{L}{D}\right) - 0.6852 S + 0.3214 S^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากฝ่ายวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-2.1412 S \left(\frac{L}{D}\right) - 2.0292 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{xx} = 7.4619 - 2.0246 \left(\frac{L}{D}\right) - 0.5145 S - 0.4153 S^2$$

$$-2.7503 S \left(\frac{L}{D}\right) + 1.9317 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{yy} = -7.352 + 10.11 \left(\frac{L}{D}\right) - 15.185 S + 1.557 S^2$$

$$+ 10.004 S \left(\frac{L}{D}\right) + 13.369 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

S > 1.0

$$C_{xx} = 26.424 - 25.646 \left(\frac{L}{D}\right) - 11.235 S - 0.124 S^2$$

$$+ 10.391 S \left(\frac{L}{D}\right) - 16.947 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{yy} = 1.353 + 1.109 \left(\frac{L}{D}\right) + 0.376 S + 0.027 S^2$$

$$- 1.341 S \left(\frac{L}{D}\right) + 0.510 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{xx} = 4.059 - 2.013 \left(\frac{L}{D}\right) - 0.231 S - 0.004 S^2$$

$$+ 1.339 S \left(\frac{L}{D}\right) - 1.450 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{yy} = 4.733 - 5.019 \left(\frac{L}{D}\right) - 7.506 S - 0.049 S^2$$

$$+ 26.989 S \left(\frac{L}{D}\right) - 2.897 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$0.25 \leq \frac{L}{D} < 0.5$$

S ≤ 0.10

$$C_{xx} = 151.70 - 220.05 \left(\frac{L}{D}\right) + 472.18 S - 867.94 S^2$$

$$+ 59.59 S \left(\frac{L}{D}\right) - 224.26 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{yy} = 9.272 - 14.117 \left(\frac{L}{D}\right) - 16.803 S - 21.363 S^2$$

$$+ 44.802 S \left(\frac{L}{D}\right) - 1.517 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{xx} = 0.250 - 0.0677 \left(\frac{L}{D}\right) - 64.573 S + 60.394 S^2$$

$$+ 63.711 S \left(\frac{L}{D}\right) + 13.374 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{yy} = 0.58 - 14.77 \left(\frac{L}{D}\right) - 63.23 S - 87.31 S^2$$

$$- 26.93 S \left(\frac{L}{D}\right) - 18.22 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

0.10 < S ≤ 1.0

$$C_{xx} = 45.52 - 57.259 \left(\frac{L}{D}\right) + 5.352 S - 7.791 S^2$$

$$+ 1.650 S \left(\frac{L}{D}\right) - 38.920 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{yy} = 3.035 - 0.711 \left(\frac{L}{D}\right) - 0.124 S - 0.0367 S^2$$

$$+ 5.041 \left(\frac{L}{D}\right) - 2.591 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{xx} = 5.348 - 5.650 \left(\frac{L}{D}\right) - 2.151 S - 0.105 S^2$$

$$+ 5.314 S \left(\frac{L}{D}\right) - 0.277 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{yy} = 1.000 - 0.341 \left(\frac{L}{D}\right) - 0.7971 S + 0.4845 S^2$$

$$+ 5.3916 S \left(\frac{L}{D}\right) + 1.6987 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

S > 1.0

$$C_{xx} = 33.397 - 26.630 \left(\frac{L}{D}\right) - 5.205 S - 0.315 S^2$$

$$+ 2.344 S \left(\frac{L}{D}\right) - 20.231 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{yy} = 4.372 - 3.657 \left(\frac{L}{D}\right) - 0.391 S + 0.007 S^2$$

$$+ 0.576 S \left(\frac{L}{D}\right) + 0.201 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{xx} = 5.145 - 4.047 \left(\frac{L}{D}\right) - 0.577 S - 0.016 S^2$$

$$+ 2.744 S \left(\frac{L}{D}\right) - 1.615 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

$$C_{yy} = 3.657 - 7.447 \left(\frac{L}{D}\right) - 3.266 + 0.174 S^2$$

$$+ 1.932 S \left(\frac{L}{D}\right) + 1.951 S \left(\frac{L}{D}\right)$$

APPENDIX III

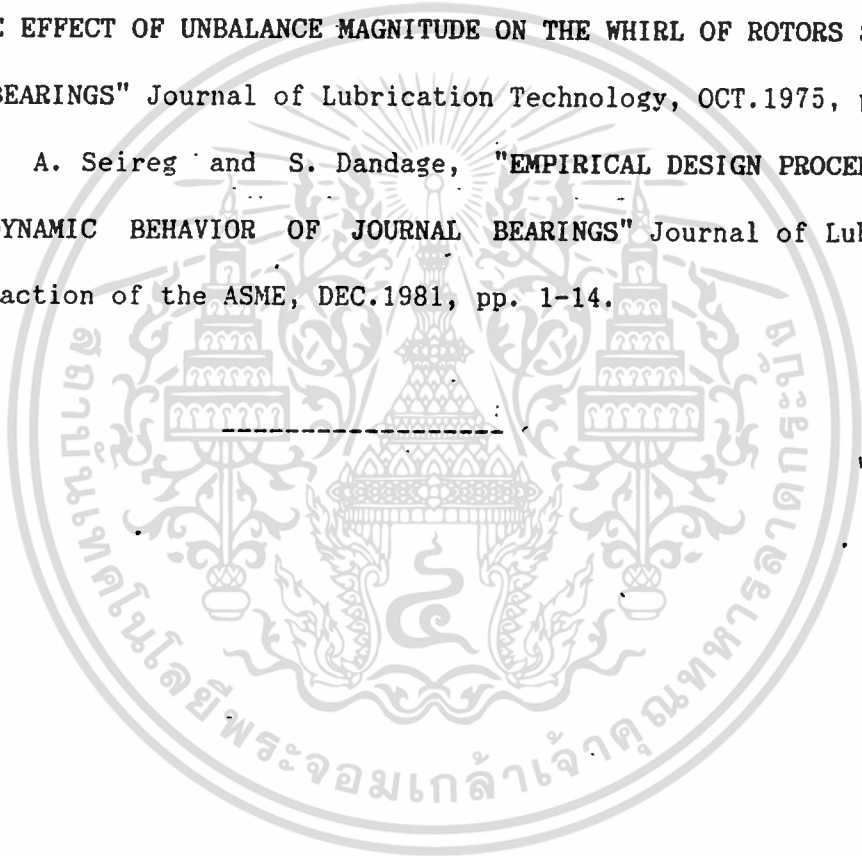
Numerical Examples

Three numerical examples are given in the following to illustrate the different procedures for evaluating a characteristic number for the bearing (Sommerfeld number or modified Sommerfeld number). The first example assumes isoviscous conditions. The second example illustrates the empirical thermohydrodynamic procedure assuming that the average film temperature is known. The third example illustrates the empirical thermohydrodynamic procedure based on the oil inlet temperature.

A—Isoviscous Analysis. Obtaining bearing performance characteristics using isoviscous theory when lubricant and the inlet temperature are specified. The main concern in this example is the determination of the average film temperature

REFERENCE:

1. Dudley D. Fuller, "THEORY AND PRACTICE OF LUBRICATION FOR ENGINEERS ", John Wiley and sons, inc., 1956, pp. 192-221, 152-154.
2. Andrew D. Dimarogonas and Stephen A. Paipetis, "ANALYTICAL METHODS IN ROTOR DYNAMICS", PP. 91-99.
3. A. Seireg and S. Dandage, "A PHASE-PLANE SIMULATION FOR INVESTIGATING THE EFFECT OF UNBALANCE MAGNITUDE ON THE WHIRL OF ROTORS SUPPORTED ON HYDRODYNAMIC BEARINGS" Journal of Lubrication Technology, OCT.1975, pp. 605-6
4. A. Seireg and S. Dandage, "EMPIRICAL DESIGN PROCEDURE FOR THE THERMOHYDRODYNAMIC BEHAVIOR OF JOURNAL BEARINGS" Journal of Lubrication Technology, Transaction of the ASME, DEC.1981, pp. 1-14.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้