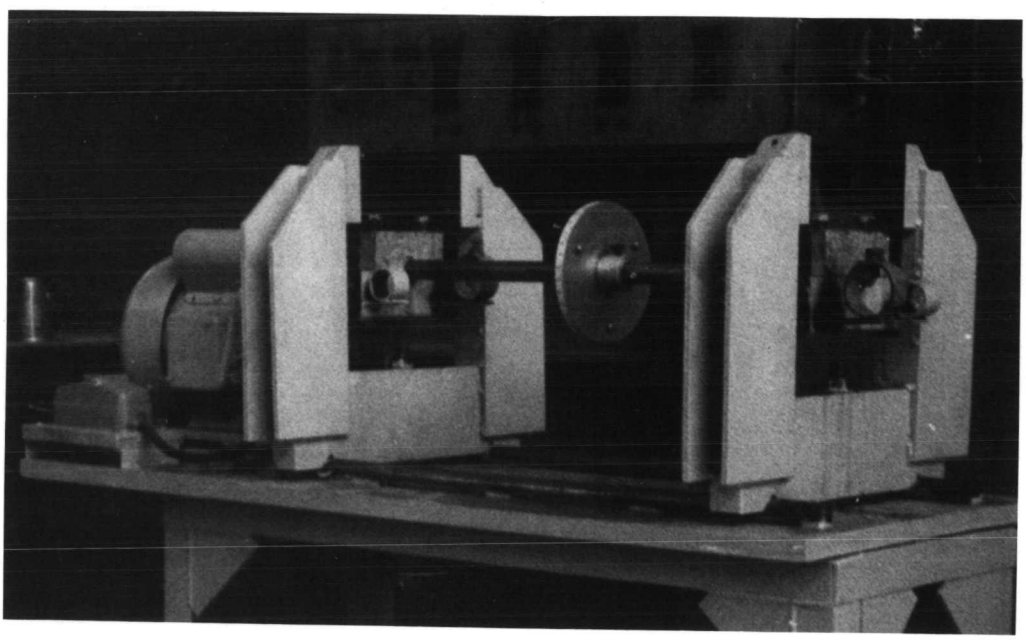
บทที่ 3

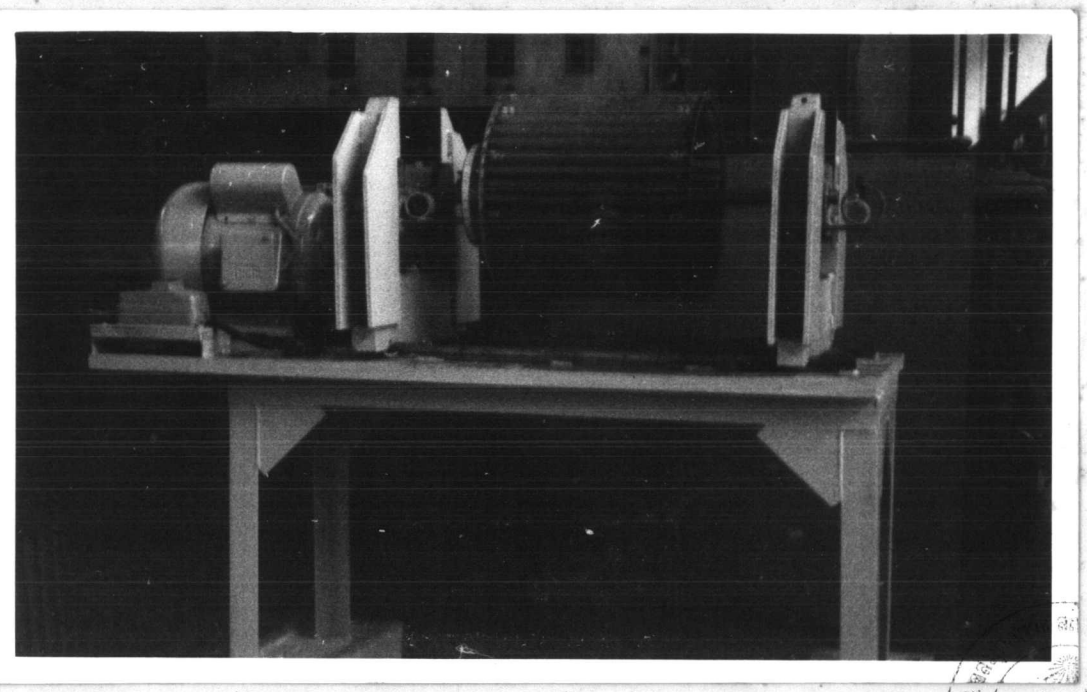
วิธีดำเนินการวิจัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

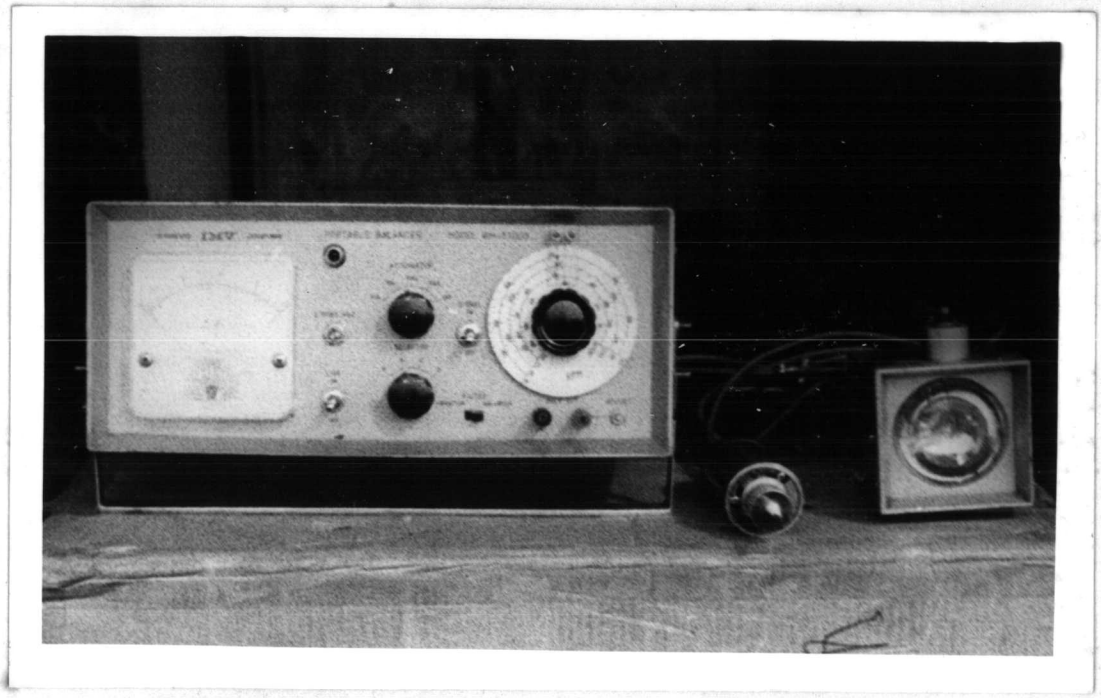
3.1 เครื่องมือประกอบการทดลองและเครื่องวัด



รูปที่ 3-1 การสมดุลย์แบบระนาบเดี่ยว



รูปที่ 3–2 การสมดุลย์แบบระนาบคู่



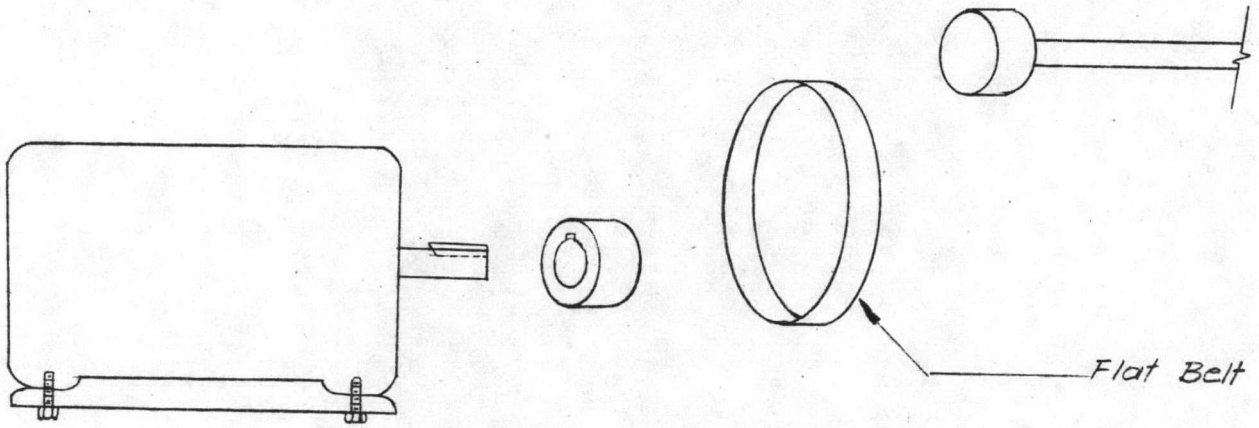
รูปที่ 3–3 เครื่องวัดขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์

ตารางที่ 3-1

รายการละเอียดประกอบ Drawing

Item No.	Parts Name	Material
(1)	Bearing Pedestal	Mild Steel 1½ " Thick
(2)	Bearing Cloth (Upper)	Mild Steel 1½" Thick
(3)	Bearing cloth (Lower)	Mild Steel 1½" Thick
(4)	Spring	Standless Steel Strip
(5)	Stand	เหล็กฉาก 2"x2"x¼"
(6)	Table	Mild Steel 1" Thick
(7)	Shaft	Cold Roll Steel

Motor & Belt

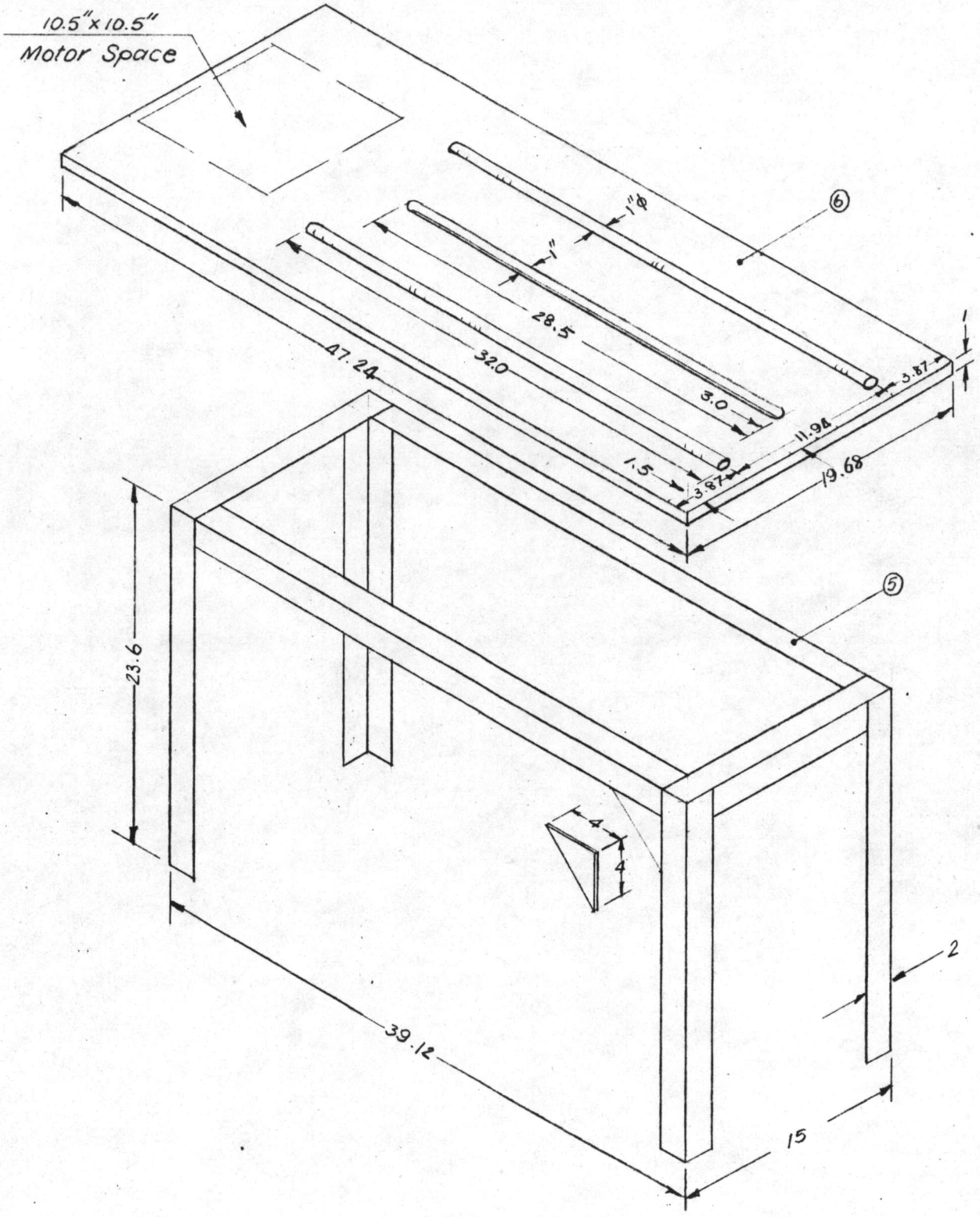


Motor 2 Hp.

Not To Scale

รูปที่ ๓

Stand & Table

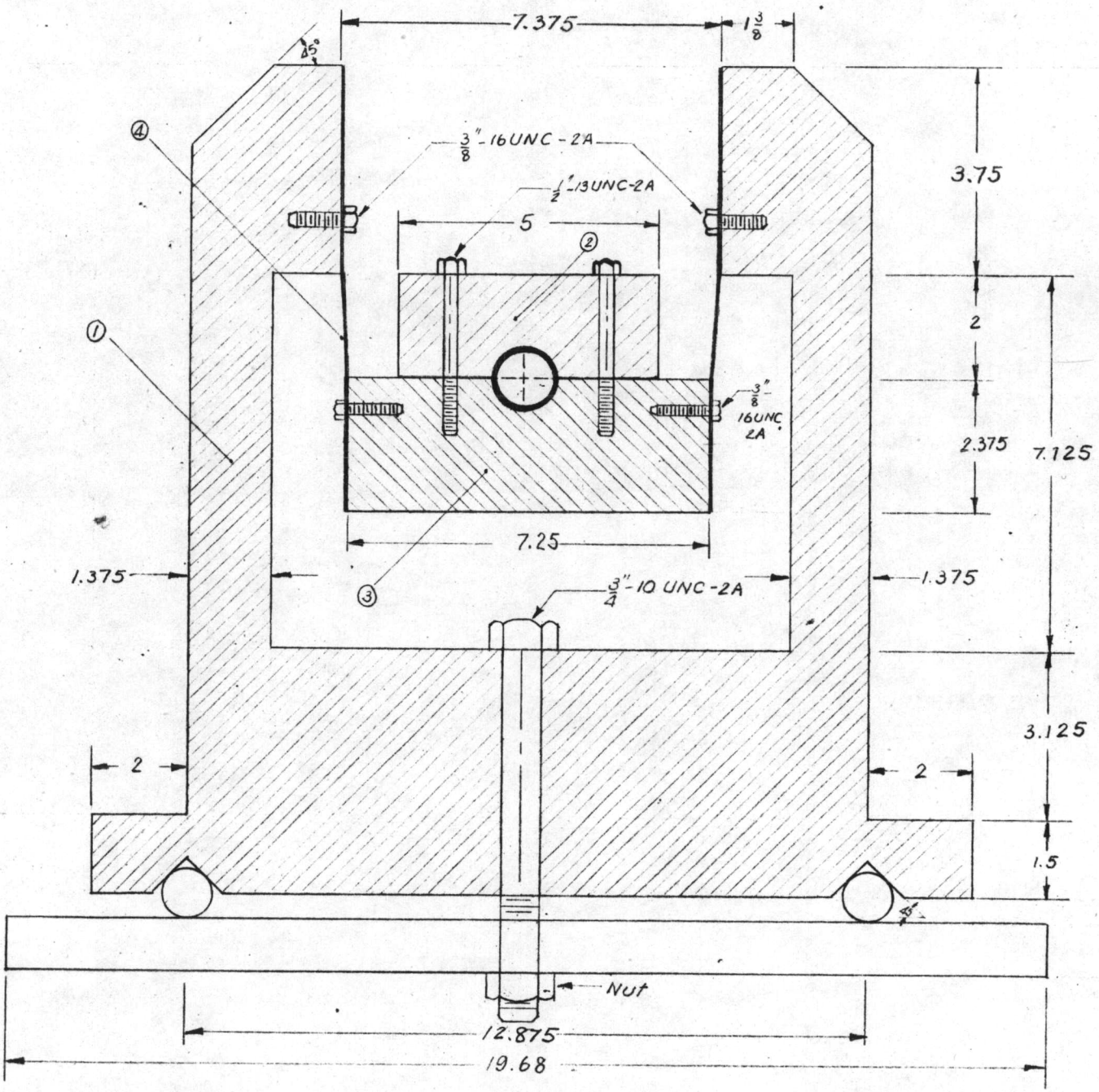


รูปที่ ๓-๕

All Dimension in inch

Scale 1:10

Bearing & Pedestal

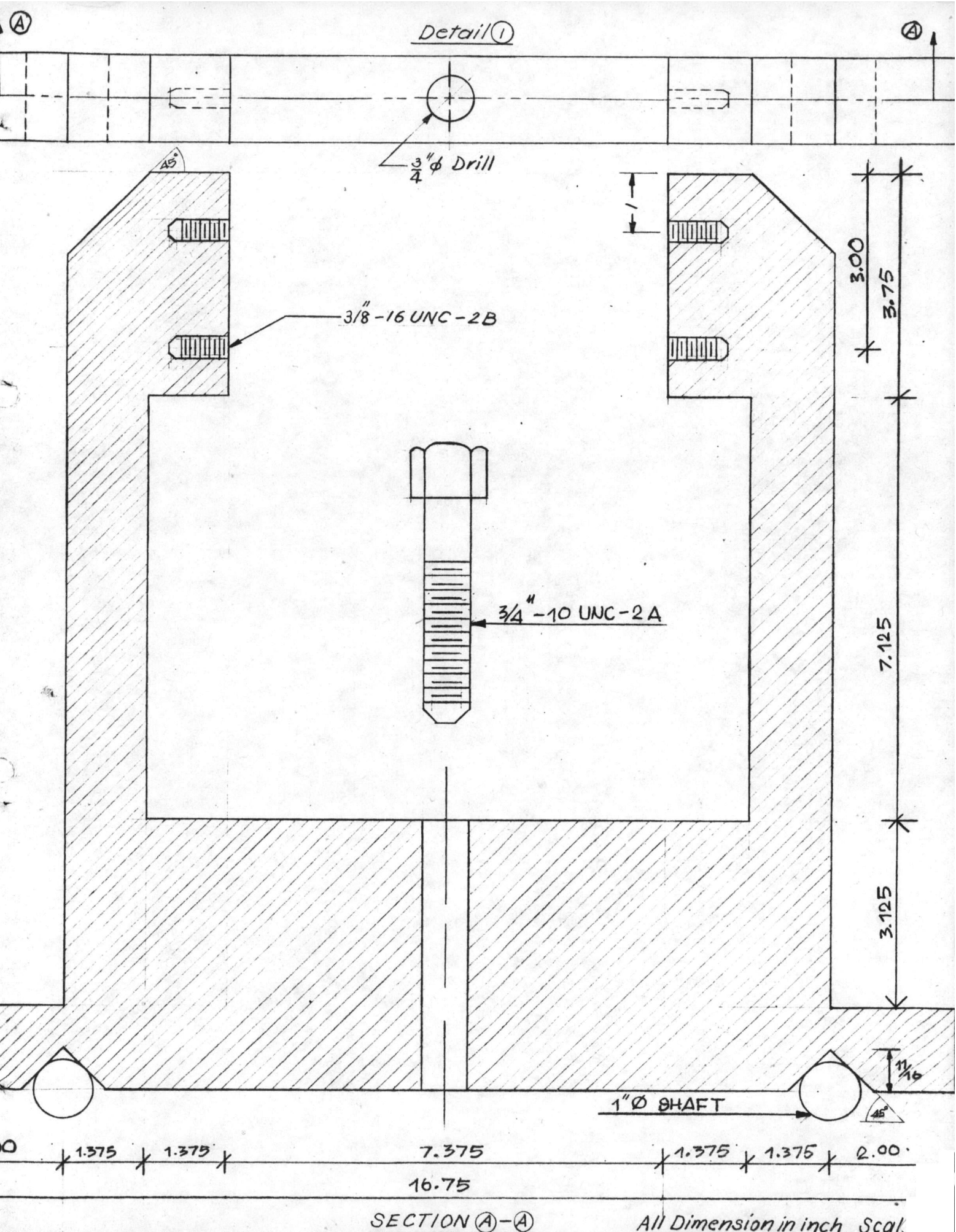


001509

All Dimension in inch

Scale 1:3

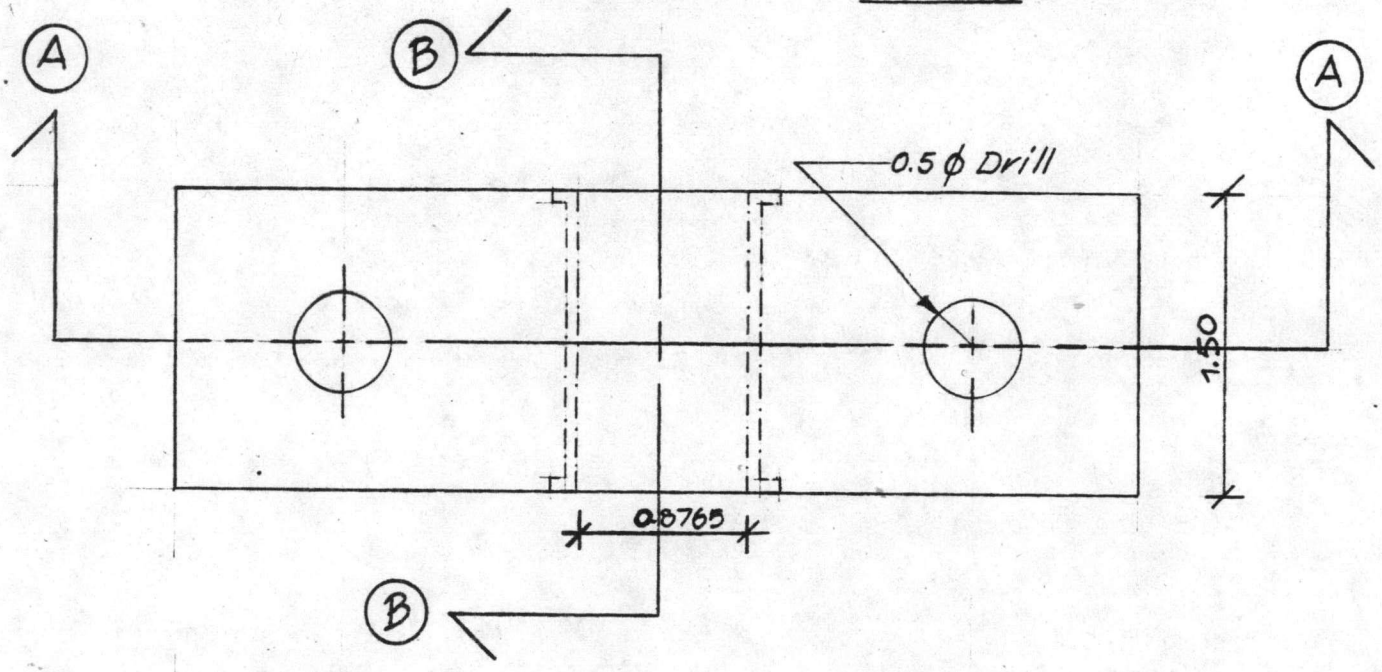
รูปที่ ๓-๖

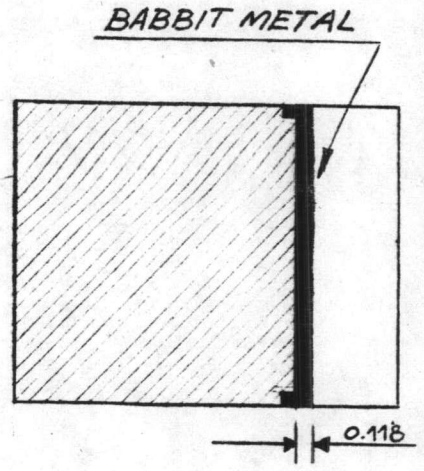


SECTION (A)-(A)

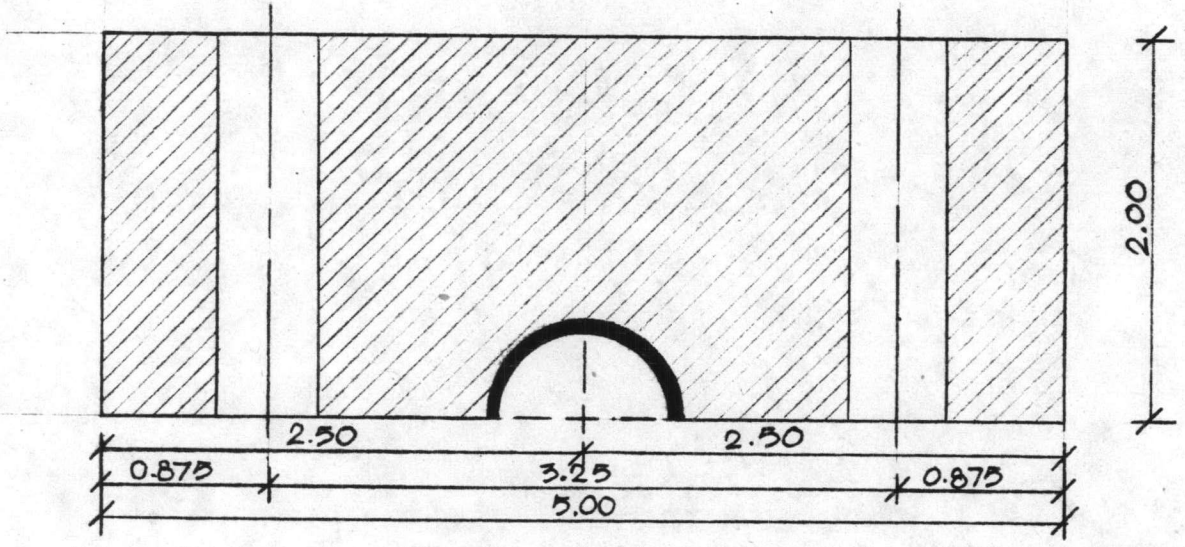
All Dimension in inch Scal

Detail (2)





SECTION B–B

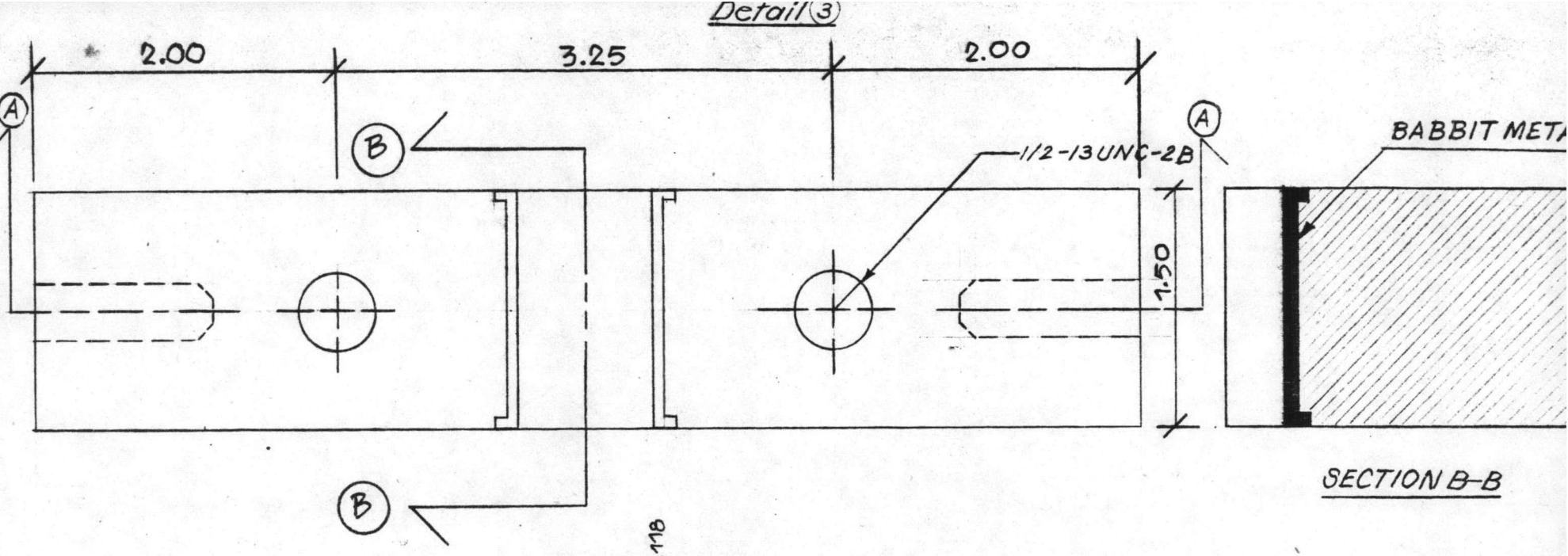


SECTION A–A

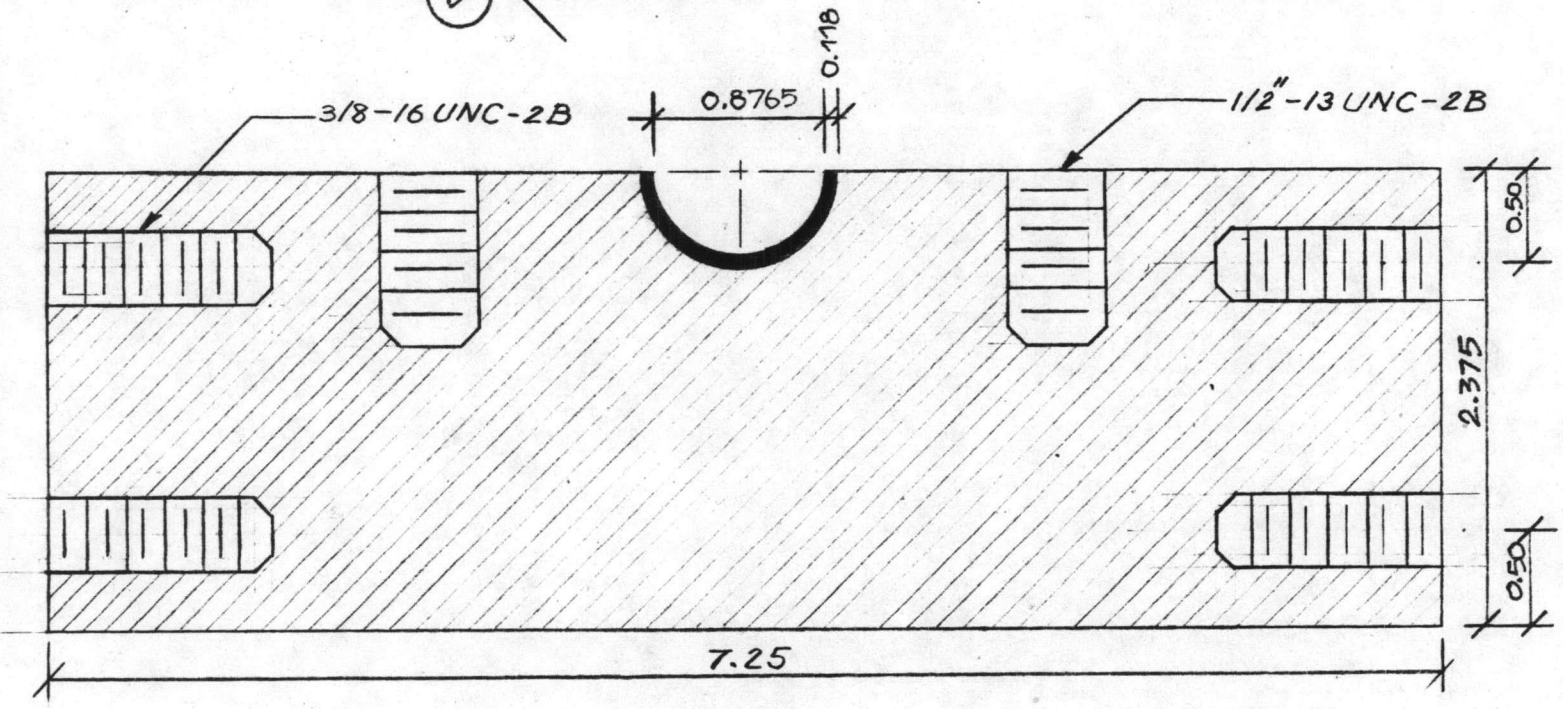
All Dimension in inch

Scale 1:1

Detail (3)



SECTION B-B

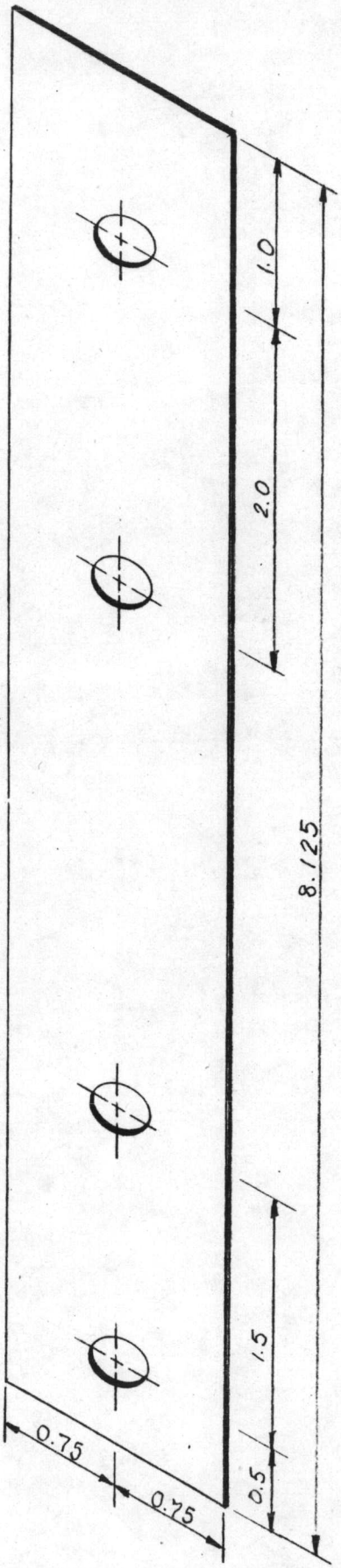


SECTION A-A

All Dimension in inch

Scale 1:1

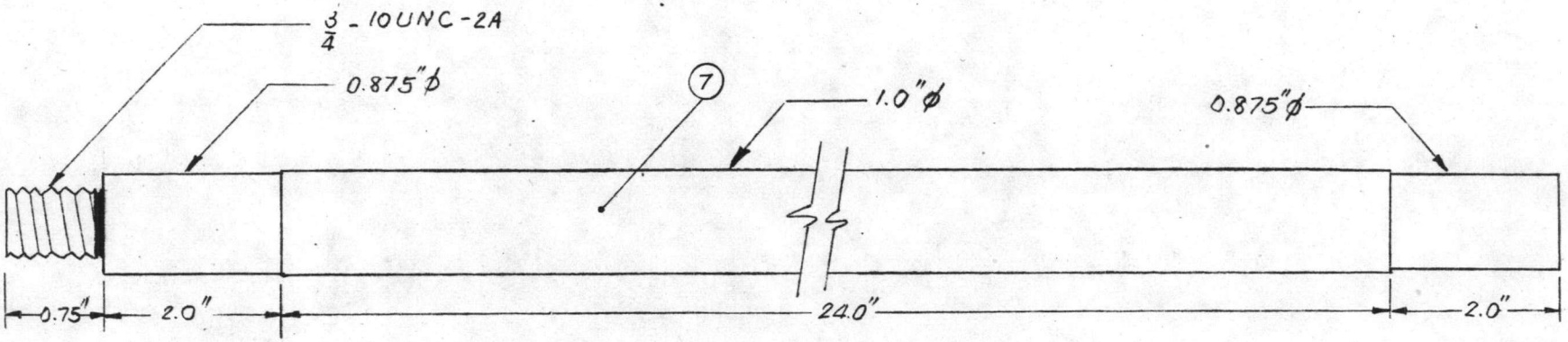
Detail ④



All Dimension in inch

Scale 1:1

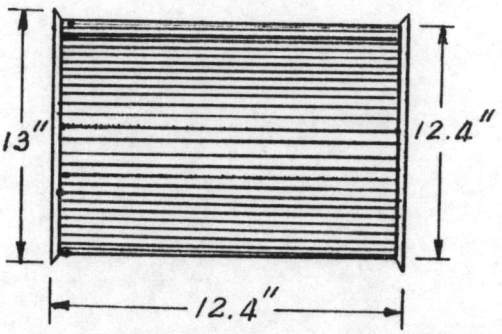
Shaft



รูปที่ ๓-๗

Not To Scale

Blower



รูปที่ 3-8

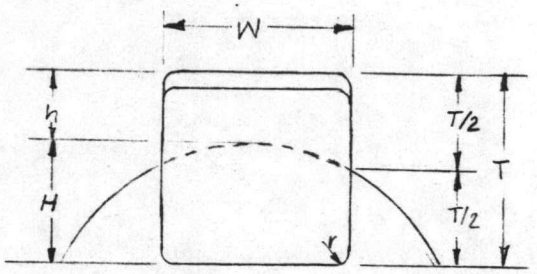
No. of blade = 43

J_o = 0.93 lb-in-sec^2

M = 10 lb

Backward Curve Blade

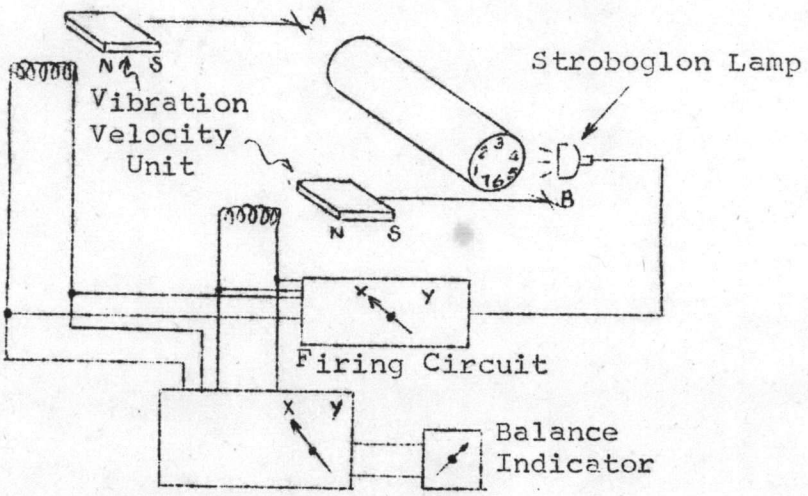
Key Dimension



Diameter of Shaft		Key			Keyway in Shaft				Keyway in Hub				Norminal	Bright Keybar	
Over	Up to in.	Size WXT	Width, W and Thickness, T		Width, W_S		Depth, H		Width, W_h		Depth, h		Keyway Radius r	Width, W and Thickness, T	
			Max.	Min.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.		Max.	Min.
	1	$\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$	.252	.250	.249	.250	.142	.148	.250	.251	.115	.121	.010	.252	.250

ตารางที่ 3-2

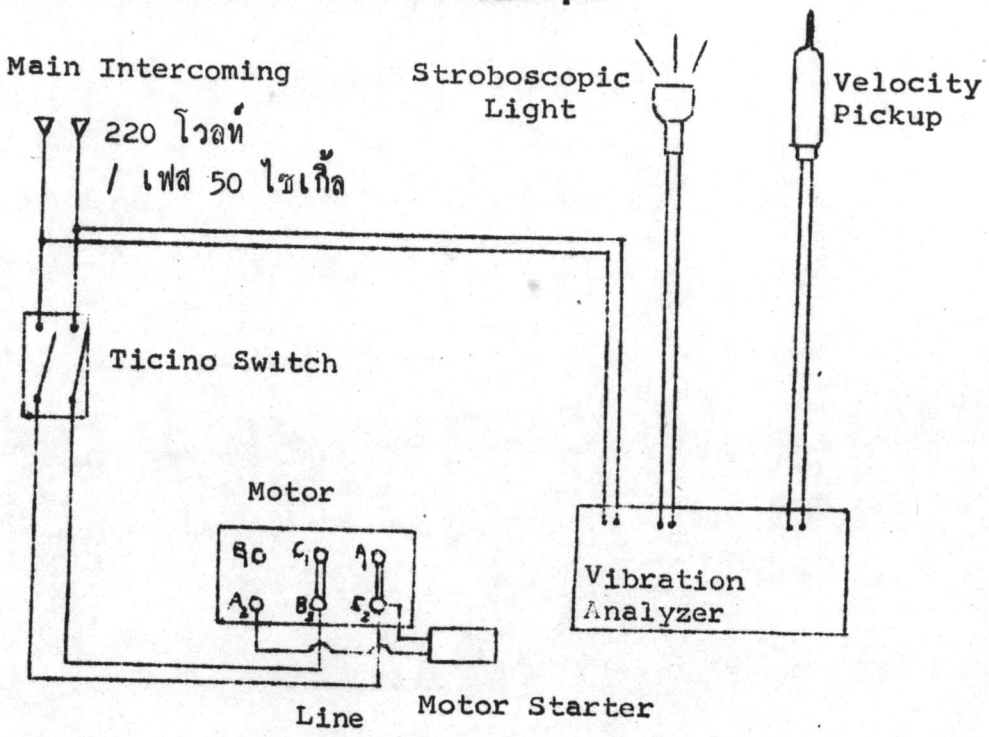
3.1.1 หลักการของเครื่องวัดจำนวนและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์



รูปที่ 3-9 ไดอาแกรมของเครื่องตรวจสอบสมดุลย์ซึ่งใช้ STROBOSCOPIC LIGHT

ให้ Velocity Pickup ซึ่งเป็นตัวรับสัญญาณเข้า จ่อไว้ที่ แบริ่ง A และ B ของ ชิ้นงานหมุน สับ Selector Switch มาที่ตำแหน่ง X เพื่อวัดขนาด (amplitude) ที่ ระนาบ X ในขณะเดียวกันใช้ Stroboscopic Lamp ส่องที่ ระนาบ X เพื่อหาตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ หรือ Phase Angle นั่นเอง สำหรับการวัดค่าใน Plane Y ก็ทำทำนองเดียวกัน เพียงแต่สับ Selector Switch มาที่ตำแหน่ง Y จะเห็นว่า Velocity Pickup ต่อกับ Trigger Circuit ซึ่งจะทำให้ Stroboscopic แสดงตำแหน่งหรือ Phase ของ Unbalance ทุกครั้งที่สัญญาณจาก Velocity Pickups อยู่ในตำแหน่งของ Phase เดียวกัน ดังนั้น Phase Relation ระหว่าง Pickup กับปลายของชิ้นงานหมุน ก็จะปรากฏจากตัวเลขที่เราทำเครื่องหมายไว้ ที่ปลายด้านข้างทั้งสองของ ชิ้นงาน ส่วน ขนาดของการสั่นเกิดเนื่องจาก การสั่นที่ แบริ่ง ส่งผลทำให้ Coil ใน Velocity Pickup เคลื่อนที่ ซึ่งให้เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิด แรงดันเหนี่ยวนำ ซึ่งเกิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการสั่นที่ แบริ่ง ทั้งสอง จากนั้นก็แปรสัญญาณที่เกิดขึ้นเป็น ขนาดของการสั่นที่เรามองเห็นจากเครื่องวัดโดยผ่าน amplified และ rectified

3.1.2 วงจรระบบไฟฟ้ากำลังของเครื่องตรวจสอบสมดุลย์



รูปที่ 3-10 ไดอาแกรมวงจรไฟฟ้าเครื่องตรวจสอบสมดุลย์

3.1.3 ข้อแนะนำบางประการสำหรับการใช้เครื่องตรวจสอบความสมดุลย์

-การติดตั้งเครื่อง เครื่องควรตั้งและยึดบนพื้นคอนกรีตที่แข็งแรง บริเวณที่ใกล้กับฐานคอนกรีตนี้ต้องปลอดพ้นจากการสั่นสะเทือน อันเนื่องมาจากเครื่องอื่น ๆ ที่อยู่ในบริเวณนั้น ซึ่งอาจจะส่งผลการสั่นมาถึง ส่วนฐานคอนกรีต ควรสร้างให้ได้ระดับ เพื่อความสะดวกสำหรับการติดตั้งเครื่อง

-ส่วนประกอบของเครื่องตรวจสอบความสมดุลย์ (ดู Drawing ประกอบ) มี ขาตั้งเหล็กฉาก แผ่นเหล็กหนารองรับน้ำหนัก,มอเตอร์,ฐานรองมอเตอร์, ยางรองกันกระเทือน, สายพาน, มู่เล่ย์, เพลา, bearing cloth, แบริ่ง, สปริง, pedestal, sliding rod, สกรู น็อคและอื่น ๆ เครื่องได้ออกแบบเพื่อให้เกิดการสั่นในแนวราบโดยเฉพาะโดยผ่าน สปริง ซึ่งอ่อนตัวในแนวนั้น ดังนั้นการวัดการสั่นก็ทำในแนวราบ ส่วนแนวดิ่งการสั่นมีค่าน้อย สำหรับระนาบแก้ที่จะทดสอบความสมดุลย์ทั้งสองระนาบควรได้ฉากกับแนวแกนการหมุน

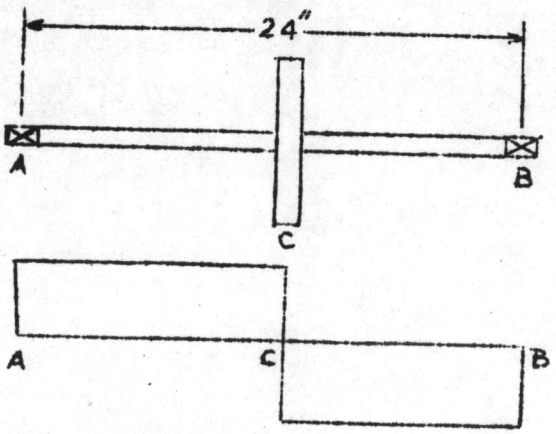
สำหรับเครื่องวัดขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ใช้ของยี่ห้อ IMV โมเดล BM-51008 มี range displacement 0-300 μm และมี sensitivity 0.3V/cm/sec

- การบำรุงรักษาเครื่อง ชิ้นส่วนไหนของเครื่องที่ต้องรองรับการหมุนก็ต้องทำการหยอดน้ำมันหล่อลื่นอยู่เสมอ เช่นที่ผิว แบริ่ง ทั้งสอง เพื่อให้เกิดความกล่องตัวเวลาใช้งาน เกิดการกัดกินผิวน้อยลง นอกจากนี้สำหรับ เพลา, sliding rod ยังต้องชะโลมน้ำมันหล่อลื่นที่ผิว เพื่อกันไม่ให้เกิดสนิม การปรับแต่งเครื่องหลังจากการใช้งานไปชั่วระยะเวลาหนึ่งก็เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อที่ว่าเครื่องจะให้ผลออกมาถูกต้อง นอกจากนี้ยังต้องตรวจสอบสายไฟ ขั้ว ปลั๊ก และอื่น ๆ ว่ามีการเสื่อมคุณภาพไปอย่างไร ถ้าพบสิ่งปกติก็ควรรีบแก้ไข

3.1.4 <u>มอเตอร์และสายพาน</u>

เครื่องทดสอบสมดุลย์นี้ได้ออกแบบโดยให้ชิ้นงานถูกขับด้วยมอเตอร์ โดยผ่านสายพานแบน จุดประสงค์การใช้สายพาน ก็เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกี่ยวกับการไม่อยู่ในแนวแกน (misalignment) ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในกรณีของการขับโดยตรงจากมอเตอร์ มอเตอร์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบครั้งนี้ ใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า 1 เฟส 220 โวลท์ 50 ไซเกิ้ล และมี Starting Current เท่ากับ 25 – 30 แอมแปร์ มี No Load Current เท่ากับ 5 แอมแปร์ และมี Full Load Current เท่ากับ 12.5 แอมแปร์

3.1.5 <u>การพิจารณาขนาดของ Shaft.</u>



Shear Diagram

สำหรับ shaft material ซึ่งเป็น cold rolled steel AISI 1137

จาก Table AT8[1] ได้

$$S_u = 85 \text{ ksi} \qquad S_y = 50 \text{ ksi} \qquad S_n' = 85/2 = 42.5 \text{ ksi}$$

สำหรับ octahedral shear theory

$$Sns = 0.577\, S_n' = 0.577(42.5) = 24.52 \text{ ksi}$$

$$Sys = 0.577\, Sy = 0.577(50) = 28.85 \text{ ksi}$$

จาก Table AT13[2] ได้ค่า stress concentration factors สำหรับ interference fits ดังนี้

$$K_f = 1.9 \qquad K_{fs} = 1.8$$

Torque ที่เกิดบน shaft หาจาก $T = \frac{63000hp}{n} = \frac{63000x2}{1440} = 87.5$ in-lb

จาก สมการ (X)[3] หน้า 242

$$Ses = \frac{Sns}{Sys} Sms + \frac{Kfs\ Sas}{(SF)}$$

สำหรับ steady torque $Sas = 0$ จึงเหลือ

$$Ses = \frac{Sns}{Sys} Sms$$

แต่ $Sms = \frac{T}{Z'} = \frac{87.5}{2Z} = 43.75/\pi D^3/32 \text{ psi} = 0.04375x32/\pi D^3 \text{ ksi}$

$$Ses = 24.52/28.85 \times (0.04375x32)/\pi D^3 \text{ ksi}$$

จาก สมการ (W)[4] หน้า 242

$$Se = \frac{Sn}{Sy} Sm + K_f Sa/(SF)$$

เพราะเหตุว่า $Sm = 0$ จึงเหลือ

$$Se = K_f Sa/(SF)$$

แรงปฏิกริยาที่แบริ่ง A หรือ B เกิดจากน้ำหนักของโบลเวอร์และชาฟท์ และเกิดจากแรงที่เกิดจากสายพาน มีค่าเท่ากับ $\frac{10+8.25}{2} + \frac{2(63000)x2}{2\ 1440x3.5}$ lb $= 34.125$ lb

โมเมนต์ที่จุดกึ่งกลางระหว่างแบริ่งทั้งสองจะเท่ากับ 13 in x 34.125lb $= 443.6$ in-lb

จาก $S = \frac{M}{Z}$

$$Sa = \frac{443.6(32)}{1000(\pi D^3)} \text{ ksi}$$

$$Se = \frac{1.9(0.444)(32)}{(0.85)\pi D^3}$$

จาก สมการ 8.11[5] หน้า 243 $\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{Se}{Sn} \right)^2 + \left(\frac{Ses}{Sns} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$

จาก ตาราง 1.1[6] หน้า 20 ใช้ค่าความปลอดภัย 5 สำหรับ shock load

$$\frac{1}{5} = \left[\left(\frac{(0.444)(1.9)(32)}{(42.5)(0.85)\pi D^3} \right)^2 + \left(\frac{(24.52)(0.04375)(32)}{(24.52)(28.85)\pi D^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{5} = \frac{32}{\pi D^3} (0.000548+0.0000023)^{\frac{1}{2}}$$

$D \doteq 1.06$ in.

Select D = 1 in.

---

[1]Virgil Moring Faires, Design of Machine Elements 4th ed. (Collier-Macmillan International Edition, 1965.),p.578

[2]Ibid.,p.583

[3]Ibid.,p.242

[4]Ibid.,p.242

[5]Ibid.,p.243

[6]Ibid.,p.20

3.2 วิธีการทดสอบสมดุลย์

3.2.1 การสมดุลย์แบบระนาบเดี่ยว (Single Plane Balance)

การสมดุลย์แบบระนาบเดี่ยวก็ทำโดยการใส่น้ำหนักที่ถูกต้อง (single correction weight) น้ำหนักหนึ่ง ณ ตำแหน่ง ใด ๆ ใน radial plane อย่างถูกต้องตามหลักการของการตรวจสอบสมดุลย์ ก็เพียงพอที่จะทำให้ชิ้นงานนั้น ๆ อยู่ในสภาวะ ของการสมดุลย์ ซึ่งในเวลาเดียวกัน ก็จะลดการสั่นที่เกิดขึ้นที่ แบริ่ง ทั้งสอง (เราวัดการสั่นที่เกิดขึ้นที่ แบริ่ง ไม่ได้วัดที่ชิ้นงานที่กำลังหมุนอยู่) ตามรายละเอียดดังนี้

1. เดินเครื่องหมุนชิ้นงานที่จะทำการทดสอบสมดุลย์ จากนั้นอ่านค่า Amplitude และ phase angle จากเครื่องวัด ได้ผลตามตารางที่ ก-1 ในภาคผนวก ก. จากนั้น plot ลงกราฟตามกราฟ รูปที่ 4-1 ได้จุด P_1
2. ใส่ Trial Weight ซึ่งทราบค่าน้ำหนักโดยการนำไปชั่งในเครื่องชั่ง ในที่นี้ Trial Weight หนัก 5.6 กรัม จากนั้นอาศัยพื้นฐานของความสัมพันธ์ ระหว่าง จุดส่อง กับ จุดหนัก ใส่ Trial Weight ณ ตำแหน่ง 180° เดินเครื่อง จากนั้นอ่านค่า Amplitude และ Phase Angle จากเครื่องวัดได้ค่าตามตารางที่ ก-1 จากนั้น พล็อท ลงในกราฟตามรูปที่ 4-1 ได้จุด P_2
3. จากกราฟเราจะเห็นว่าผลของการใส่ Trial Weight 5.6 กรัม ณ ตำแหน่ง 180° มีผลทำให้จุด P_1 เลื่อน ไปจุด P_2 ซึ่งระยะทาง P_1P_2 = 5.1ซ.ม. แต่จุดประสงค์ของการสมดุลย์ เราต้องการให้จุด P_2 มาอยู่ที่จุด O ซึ่งระยะทาง OP_1 = 4.05 ซ.ม. ด้วยเหตุนี้ correction weight ก็จะเท่ากับ

$$\frac{5.6 \times 4.05}{5.1} = 4.45 \text{ กรัม}$$

ตำแหน่งของ correction weight เท่ากับ 22° ทวนเข็มนาฬิกา

เมื่อเทียบกับทิศทาง $P_1 - P_2$ เพราะฉะนั้นตำแหน่งของ correction ที่แท้จริงก็คือมุม 22° จากตำแหน่งเริ่มแรกของ Trial Weight ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งเท่ากับ 180° − 22° = 158°

4. ใส่ correction weight ขนาด 4.45 กรัม ตำแหน่ง 158° จากนั้นเดินเครื่องแล้ววัดค่า Amplitude และ Phase Angle ตามผลของตารางที่ ก-1

3.2.2 <u>การสมดุลย์แบบระนาบคู่</u>

การสมดุลย์แบบระนาบคู่ทำโดยการเติมน้ำหนักแก้ที่ถูกต้อง (Correction Weight) ที่แต่ละระนาบของการสมดุลย์ โดยการวัดขนาด (Amplitude) และตำแหน่ง (Position) ตามเงื่อนไขดังนี้

(1) ชิ้นงานที่จะทำการทดสอบสมดุลย์ หมุนเป็นอิสระโดยปราศจากน้ำหนักถ่วง

(2) ชิ้นงานบวกกับน้ำหนักแห่งการทดสอบจำนวนพอเหมาะจำนวนหนึ่งที่ระนาบขวา

(3) ชิ้นงานบวกกับน้ำหนักแห่งการทดสอบจำนวนพอเหมาะจำนวนหนึ่งที่ระนาบซ้าย

อีกทั้งยังต้องสมมุติว่าระบบของเครื่องตรวจสอบสมดุลย์นี้เป็น linear นั่นคือขนาดของการสั่นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงไม่สมดุลย์ที่ทำให้เกิดการสั่น

วิธีดำเนินการทดสอบ:

1. เดินเครื่องหมุนชิ้นงานที่จะทำการทดสอบสมดุลย์ วัด Amplitude และ Phase Angle ที่ แบริ่งขวา และ แบริ่งซ้าย ตามตาราง ที่ ก-3 จากนั้น พล็อตลงในกราฟรูปที่ 4-2 ได้ เวกเตอร์ N และ เวกเตอร์ F ตามลำดับ

2. ใส่ Trial Weight สำหรับ Blower ถ้วที่ 1 1.8 กรัมที่มุม 110° ที่ระนาบขวา คือที่ Near End เดินเครื่อง จากนั้นวัด Amplitude และ Phase Angle ที่ แบริ่งขวา และ แบริ่งซ้าย จากนั้นพล็อต ลงในกราฟ ได้ เวกเตอร์ N_2 และ F_2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการใส่ Trial Weight 1.8 กรัมที่มุม 110° ทำให้ เวกเตอร์ N และ F เปลี่ยนไปเป็น เวกเตอร์ N_2 และ F_2 ที่ มุม 320° และ 310° ตามลำดับ ผลเฉพาะของ Trial Weight 1.8 กรัมนี้ก็คือ เวกเตอร์ จาก $N \rightarrow N_2$ นั่นก็คือ $(\overrightarrow{N \rightarrow N_2})$ $= N_2 - N = A$ และ เวกเตอร์ จาก $F \rightarrow F_2$ นั่นก็คือ $(\overrightarrow{F \rightarrow F_2})$ $= F_2 - F$ ตามทฤษฎีแล้ว ถ้าน้ำหนักของ Trial Weight ที่เราใส่ เพิ่มขึ้น เวกเตอร์ $\overrightarrow{N \rightarrow N_2}$ และ $\overrightarrow{F \rightarrow F_2}$ ก็จะเพิ่มขึ้น ตามไปด้วยถ้าตำแหน่งมุมของ Trial Weight เปลี่ยนไป เวกเตอร์ $\overrightarrow{N \rightarrow N_2}$ และ $\overrightarrow{F \rightarrow F_2}$ ก็จะเปลี่ยนมุมไปตามนั้นด้วย ดังนั้น มันจึงมีอัตราส่วนที่แน่นอนของ magnitudes ของ $\overrightarrow{N \rightarrow N_2}$ และ $\overrightarrow{F \rightarrow F_2}$ และมีมุมคงที่ (fixed angle) ระหว่าง $\overrightarrow{N \rightarrow N_2}$ และ $\overrightarrow{F \rightarrow F_2}$ ซึ่งมันไม่ได้ขึ้นอยู่กับสถานะภาพของความสมดุลย์ (state of balance) ของชิ้นงาน ดังนั้น ถ้าเราให้ $\overrightarrow{N \rightarrow N_2} = A$ เราจะได้ว่า $\overrightarrow{F \rightarrow F_2} = \alpha A$ ซึ่ง α ก็คือ เวกเตอร์ โอเปอร์เรเตอร์

3. ถอก Trial Weight 1.8 กรัม ที่ Near End ออก ใส่ Trial Weight 4.1 กรัม, Phase 70° ที่ระนาบซ้ายคือที่ Far End เดินเครื่องจากนั้นวัด Amplitude และ Phase Angle ที่ แบริ่งขวา และ แบริ่งซ้าย จากนั้น พล็อตลงในกราฟ ได้ เวคเตอร์ N_3 และ F_3 ตามลำดับ ผลเฉพาะของ Trial Weight 4.1 กรัมนี้ที่ Far End ก็คือ vetor $\overrightarrow{F \rightarrow F_3}$ $= F_3 - F = B$ ส่วนผลทางด้าน Near End ก็คือ $\overrightarrow{N \rightarrow N_3}$ $= N_3 - N = \beta B$ ซึ่ง β ก็คือ เวคเตอร์ โอเปอร์เรเตอร์ คล้ายกับ α

4. คำนวณหาน้ำหนักที่แท้จริง (correction weight) ที่จะเติมให้กับชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานนั้นอยู่ในสภาวะสมดุลย์ โดยกำหนดให้ W'_n และ W'_f เป็น Trial weights ที่ Near End และ Far End ตามลำดับ ซึ่งมีทั้งขนาดและทิศทาง และให้ W_n และ W_f เป็น correction weights ที่ Near End และ Far End มีทั้งขนาดและทิศทาง ดังนั้น Correction Weight ก็หาได้จาก Trial Weights ดังกล่าว เพียงแต่เปลี่ยนขนาดและมุมของ Trial Weights เท่านั้น

กำหนดให้ θ และ ϕ เป็น เวคเตอร์ โอเปอร์เรเตอร์ ซึ่งจะทำให้

$$W_n = \theta W'_n$$

$$W_f = \phi W'_f$$

เวคเตอร์ โอเปอร์เรเตอร์ θ และ ϕ เพิ่มเข้ามาเพื่อให้ผลของ A, αA, B และ βB ของ Trial Weights เกิดผลลัพธ์ใหม่ ซึ่งเท่าและตรงกันข้ามกับ เวคเตอร์ เริ่มแรก N และ F เพื่อให้ชิ้นงานอยู่ในสภาวะสมดุลย์ ดังนั้น

$$\theta A + \phi \beta B = -N \qquad \text{——— (1)}$$

$$\phi B + \theta \alpha A = -F \qquad \text{——— (2)}$$

(2)xβ; $\quad \phi\beta B + \theta\alpha\beta A = -\beta F \qquad$ ——— (3)

(1)-(3); $\quad \theta A - \theta\alpha\beta A = -N + \beta F \qquad$ ——— (4)

$$\theta = \frac{\beta F - N}{(1-\alpha\beta)A} \qquad \text{——— (5)}$$

แทนค่า θ ใน (1)

$$\frac{(\beta F - N)A}{(1-\alpha\beta)A} + \phi\beta B = -N$$

$$\beta F - N + \phi\beta B - \alpha\phi\beta B = -N + \alpha\beta N$$

$$F + \phi B - \alpha\phi\beta B = \alpha N$$

$$\phi = \frac{\alpha N - F}{(1-\alpha\beta)B} \qquad \text{——— (6)}$$

จากค่า θ และ ϕ ที่เราทราบจากผลการทดลองและกราฟประกอบกัน เราก็สามารถหา Correction Weight W_n และ W_f ได้ (ดูตารางแสดงผลการทดสอบสมดุลย์ และการคำนวณ ประกอบ)