เอกสารอ้างอิง

1. Prapan Siriplabphar "Analysis and Contruction of a Balancing Machine" Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, Chulalongkorn University, 1979.
2. Cyril M. Harris and charles, E. in shock and Vibration Hand Book, 2 nd. ed., pp. 1-31, Mcgraw-Hill Book Company, New York, 1976.
3. Thearle, E.L. "Dynamic Balancing of Rotating Machinery in the Fields" Tran. ASME APM 56-19, Vol. 56, (1934) : 745-753
4. Lawrence, A. "Balancing principles and Equipment" Measurement & DATA (1970) : 80-86
5. Lindley, R. Maintenance Engineering Hand Book, 3 th ed., No. 13 pp. 138-150, Mcgraw-Hill Book Co., New york, 1977.
6. Wort, J.F.G. The Fundamentals of Industrial Balancing Machines and Their Application Turbine Division Boring Co.Ltd., 41-47 strand., London W.C., 1980.
7. Joseph, E. and John , J. in Theory of Mechanics and Mechanisms. pp. 478-500, Mcgraw-Hill Book., Tosho, 1981.
8. Virgil, Moring Faires in Design of Machine Elements, 4 th ed., Collier-Macmillan International, 1965.
9. Doebelin, E.O. Circuit Analysis Mechanical Analysis Lab. (1970): 94-102.
10. Senger, W.I. "performance Tests for Balancing Machine" Machinery n 2391 , 2392. Vol. 93 , (1958) : 583-593 , 705-712.
11. Macinante , J.A. "Calibrating Dynamic Balancing Machines" Engineering (1956) : 174.
12. Karelitz , G.B. "Field Balancing Rotors at operating speed" power Vol. 67. (1928) : 237-240 , 280-289.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

13. Harris, M. in Hand Book of Noise Control , No 13. pp. 20-24, Mcgraw-Hill Book Co., New York , 1957.

14. William , T. "Analytical single-plane-Balancing" power Vol. 121., (1977) : 76-78.

15. Jackson, C. in The practical Vibration primer , pp. 16-49 , Gulf publishing Co., 1979.

16. Den Hartog, J.P. in Mechanical Vibration. pp.239-243 , Mcgraw-Hill Book Co., Inc., New York , 1956.

17. David , V. in Applied Mechanism Vibration. pp. 93-112, Mcgraw-Hill Book Co., New York , 1981.

18. Richard M. in Dynamics of Machinery. pp. 99-101, Mcgraw-Hill Book Co., New York , 1967.

19. Stephen , G. "programmable calculators simplify of rotaing Equip-ment" power (1979) : 70-77

20. James , W. in Experimental stress Analysis , 2 nd ed., pp. 165-261, Mcgraw-Hill Co., New York , 1978.

21. ยืน ภู่วรรณ. อิเลคทรอนิคส์ อุตสาหกรรม พิมพ์ครั้งที่ 1 ; หน้า 11-102 , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2524.

22. David , F. in Hand Book of operational Amplifier Circuit Design , No. 1 , 2 PP. 17 , 1-5 Mcgraw-Hill Book Co., New York , 1976.

23. อุดมศักดิ์ ยั่งยืน. การนำอิเลคโทรนิคส์ไปใช้งานไฟฟ้ากำลัง หน้า 4-21 ภาควิชา-วิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี , 2525

24. Beckwith , T.G. in Mechanical Measurement. pp. 252-292, Addison-Wesley publishing Co., Inc., London, 1965.

25. วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน การออกแบบเครื่องจักรกล , พิมพ์ครั้งที่ 3 หน้า 316 บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2525.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

<u>ตารางที่ ก-1</u> ตารางข้อมูลการตรวจสอบสมดุลย์เพลาแบบระนาบเดียว

ชนิดของงานที่ทดสอบ : เพลา

ทดสอบที่ความเร็วรอบ : 1440 rpm

run No.	Condition	Angle of Added TW. ที่ Right correction Plane	แบริ่งขวา (R)	แบริ่งซ้าย (L)
		deg.	Amplitude mA.	Amplitude mA.
1	เพลาที่จะ Balance หมุนปราศจาก TW.	-	(u) 0.10	0.07
2	เพลา + TW. 0.5 กรัม	0	(r_a) 0.14	-
3	เพลา + TW. 0.5 กรัม	120^o	(r_b) 0.07	-
4	เพลา + TW. 0.5 กรัม	240^o	(r_c) 0.11	-
5	เพลา + Correction wt. 1.25 กรัม ที่ 150^o	-	0.02	(u) 0.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก-2</u> ตารางข้อมูลการตรวจสอบสมดุลย์เพลาทั้งสองระนาบ

ชนิดของงานที่ทดสอบ : เพลา

ทดสอบที่ความเร็วรอบ : 1440 rpm

run No.	condition	Angle of Added TW. ที่ Left correction plane	แบริ่งซ้าย (L)	แบริ่งขวา (R)
		deg.	Amplitude mA.	Amplitude mA.
1	เพลา + TW. 0.5 กรัม	0	(r_a) 0.10	-
2	เพลา + TW. 0.5 กรัม	120	(r_b) 0.04	-
3	เพลา + TW. 0.5 กรัม	240	(r_c) 0.06	-
4	เพลา + correction wt. 0.5 กรัม, 167° ที่ระนาบแก้ซ้ายมือ 1.25 กรัม, 150° ที่ระนาบแก้ขวามือ	-	0.01 [1 μm]	(0.01 [1 μm]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ตารางข้อมูลการทดสอบ proportionality Test for single-plane

Run No.	unbalance wt.	Actual Location	แบริ่งซ้าย (L)	แบริ่งขวา (R)	Location indicate by machine		Error of reading	
			Amplitude	Amplitude	L phase Angle	R phase Angle	L	R
	gm	deg.	mA.	mA.	deg.	deg.	deg.	deg.
1	1	90	0.07	0.05	-	-	-	-
2	1	90	0.07	0.05	-	-	-	-
3	1	90	0.07	0.05	-	-	-	-
1	2	90	0.14	0.12	200	195	± 5	± 6
2	2	90	0.13	0.11	198	195	± 5	± 6
3	2	90	0.14	0.12	200	195	± 5	± 6
1	3	90	0.20	0.18	198	196	± 4	± 4
2	3	90	0.20	0.19	198	196	± 4	± 4
3	3	90	0.22	0.17	198	197	± 4	± 4
1	4	90	0.29	0.25	200	195	± 3	± 3
2	4	90	0.30	0.27	200	195	± 3	± 3
3	4	90	0.27	0.24	200	195	± 3	± 3
1	5	90	0.37	0.33	200	195	± 3	± 3
2	5	90	0.40	0.38	200	195	± 3	± 3
3	5	90	0.42	0.37	200	195	± 3	± 3
1	6	90	0.53	0.49	200	195	± 3	± 3
2	6	90	0.49	0.47	200	195	± 3	± 3
3	6	90	0.47	0.45	200	195	± 3	± 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ตารางข้อมูลเฉลี่ยของการทดสอบ proportionality Test for single-plane

Run No.	unbalance wt. gm	Actual Location deg.	แบริ่งซ้าย (L) Amplitude mA.	แบริ่งขวา (R) Amplitude mA.	Location indicate by machine L phase Angle deg.	Location indicate by machine R phase Angle deg.	Error of reading L deg.	Error of reading R deg.
1	1	90	0.07	0.05	-	-	-	-
2	2	90	0.136	0.116	199	195	± 5	± 6
3	3	90	0.206	0.18	198	196	± 4	± 4
4	4	90	0.28	0.253	200	195	± 3	± 3
5	5	90	0.396	0.366	200	195	± 3	± 3
6	6	90	0.496	0.47	200	195	± 3	± 3

ตารางที่ ก-5 ตารางข้อมูลการทดสอบหาขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์สำหรับระนาบเดียว

Run No.	Actual Location deg.	Unbalance Weight gram	แบริ่งซ้าย(L) Amplitude mA.	แบริ่งขวา(R) Amplitude mA.	Location indicate by machine L phase Angle deg.	Location indicate by machine R phase Angle deg.
1	0	5	0.39	0.35	110	105
2	30	5	0.38	0.34	140	135
3	60	5	0.38	0.35	170	165
4	90	5	0.39	0.35	200	195
5	120	5	0.40	0.35	232	227
6	150	5	0.40	0.36	263	258
7	180	5	0.41	0.37	295	290
8	210	5	0.41	0.37	325	320
9	240	5	0.41	0.36	355	350
10	270	5	0.41	0.36	375	375
11	300	5	0.39	0.35	50	45
12	330	5	0.39	0.34	80	75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 ตารางข้อมูลการทดลอง proportionality Test ที่แบริ่งซ้ายและขวาแบบสองระนาบ

Run No.	Unbalance Weight Added Left correction plane, gram	Actual Location deg.	แบริ่งซ้าย (L)	แบริ่งขวา (R)	Location indicate by machine		Error of Reading	
			Amplitude mA.	Amplitude mA.	L phase Angle deg.	R phase Angle deg.	L deg.	R deg.
1	1	0	0.09	0.02	113	-	± 7	-
2	1	0	0.09	0.02	113	-	± 7	-
3	1	0	0.08	0.02	113	-	± 7	-
1	2	0	0.17	0.04	108	-	± 5	-
2	2	0	0.18	0.04	108	-	± 5	-
3	2	0	0.18	0.04	108	-	± 5	-
1	3	0	0.34	0.12	110	282	± 4	± 5
2	3	0	0.32	0.10	110	282	± 4	± 5
3	3	0	0.34	0.10	110	282	± 4	± 5
1	4	0	0.44	0.14	112	282	± 3	± 5
2	4	0	0.47	0.16	110	280	± 3	± 5
3	4	0	0.47	0.15	110	280	± 3	± 5
1	5	0	0.58	0.20	110	285	± 3	± 4
2	5	0	0.62	0.20	112	285	± 3	± 4
3	5	0	0.58	0.19	110	285	± 3	± 4
1	6	0	0.81	0.27	110	285	± 3	± 4
2	6	0	0.78	0.24	108	285	± 3	± 4
3	6	0	0.77	0.27	108	285	± 3	± 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-7 ตารางข้อมูลการทดสอบ proportionality test ที่แบริ่งขวาและซ้ายแบบสองระนาบ

Run No.	Unbalance Weight Added Right correction plane gm	Actual Location deg.	แบริ่งขวา (R)	แบริ่งซ้าย (L)	Location indicate by machine		Error of reading	
			Amplitude mA.	Amplitude mA.	R phase Angle deg.	L phase Angle deg.	R deg.	L deg.
1	1	180	0.06	0.01	-	-	-	-
2	1	180	0.07	0.02	-	-	-	-
3	1	180	0.05	0.02	-	-	-	-
1	2	180	0.14	0.04	289	-	± 5	-
2	2	180	0.16	0.05	289	-	± 5	-
3	2	180	0.16	0.05	289	-	± 5	-
1	3	180	0.27	0.09	285	104	± 4	± 7
2	3	180	0.27	0.08	285	104	± 4	± 7
3	3	180	0.25	0.08	285	105	± 4	± 7
1	4	180	0.34	0.10	287	103	± 3	± 4
2	4	180	0.38	0.11	287	103	± 3	± 4
3	4	180	0.38	0.10	287	103	± 3	± 4
1	5	180	0.54	0.16	288	104	± 3	± 4
2	5	180	0.50	0.13	288	105	± 3	± 4
3	5	180	0.50	0.14	288	104	± 3	± 4
1	6	180	0.68	0.21	288	104	± 3	± 4
2	6	180	0.67	0.19	288	104	± 3	± 4
3	6	180	0.71	0.22	288	105	± 3	± 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-8 ตารางข้อมูลเฉลี่ยของการทดสอบความเป็นสัดส่วนที่แบริ่งซ้ายและขวาแบบสองระนาบ

No.	Unbalance Weight Added Left correction plane gram	Actual Location deg.	แบริ่งซ้าย (L)	แบริ่งขวา (R)	Location indicate by machine		Error of reading	
			Amplitude mA.	Amplitude mA.	L phase Angle deg.	R phase Angle deg.	L deg.	R deg.
1	1	0	0.086	0.02	113	-	± 7	-
2	2	0	0.176	0.04	108	-	± 5	-
3	3	0	0.33	0.106	110	282	± 4	± 5
4	4	0	0.46	0.15	111	281	± 3	± 5
5	5	0	0.593	0.196	111	285	± 3	± 4
6	6	0	0.786	0.26	109	285	± 3	± 4

ตารางที่ ก-9 ตารางข้อมูลเฉลี่ยของการทดสอบความเป็นสัดส่วนที่แบริ่งขวาและซ้ายแบบสองระนาบ

No.	Unbalance Weight Added Right correction plane gram	Actual Location deg.	แบริ่งขวา (R)	แบริ่งซ้าย (L)	Location indicate by machine		Error of reading	
			Amplitude mA.	Amplitude mA.	R phase Angle deg.	L phase Angle deg.	R deg.	L deg.
1	1	180	0.06	0.016	-	-	-	-
2	2	180	0.153	0.043	289	-	± 5	-
3	3	180	0.263	0.08	285	104.5	± 4	± 7
4	4	180	0.366	0.106	287	103	± 3	± 4
5	5	180	0.513	0.143	288	104	± 3	± 4
6	6	180	0.69	0.206	288	104	± 3	± 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-10 ตารางข้อมูลการทดสอบหาจำนวนและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ แบบสองระนาบ

run No.	Actual Location deg.	unbalance Weight Added Left plane gram	แบริ่งซ้าย (L) Amplitude mA.	แบริ่งขวา (R) Amplitude mA.	Location indicate by machine L phase Angle deg.	Location indicate by machine R phase Ang deg.
1	0	4	0.46	0.16	117	282
2	30	4	0.46	0.15	145	312
3	60	4	0.47	0.15	172	340
4	90	4	0.47	0.15	198	10
5	120	4	0.47	0.14	226	45
6	150	4	0.46	0.14	254	75
7	180	4	0.46	0.15	284	108
8	210	4	0.45	0.16	315	137
9	240	4	0.44	0.16	348	158
10	270	4	0.44	0.17	22	188
11	300	4	0.44	0.17	54	225
12	330	4	0.45	0.17	87	255

ตารางที่ ก-11 ตารางข้อมูลการทดสอบหาจำนวนและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ แบบสองระนาบ

run No.	Actual Location deg.	unbalance Weight Added Right Plane gram	แบริ่งขวา (R) Amplitude mA.	แบริ่งซ้าย (L) Amplitude mA.	Location indicate by machine R phase Angle deg.	Location indicate by machine L phase An deg.
1	0	4	0.38	0.11	100	297
2	30	4	0.38	0.11	130	325
3	60	4	0.37	0.12	155	352
4	90	4	0.36	0.12	185	18
5	120	4	0.35	0.12	225	46
6	150	4	0.35	0.11	255	74
7	180	4	0.36	0.11	288	104
8	210	4	0.37	0.10	317	135
9	240	4	0.37	0.10	352	168
10	270	4	0.38	0.09	22	202
11	300	4	0.39	0.09	45	234
12	330	4	0.38	0.11	75	267

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-12 ตารางการทดลอบหลังจากชิ้นงานผ่านการตรวจสอบสมดุลย์

ชนิดของงานที่ทดลอบ : Disk

ทดลอบที่ความเร็วรอบ : 1440 RPM

run No.	condition	แบริ่งซ้าย (L) Amplitude mA.	แบริ่งซ้าย (L) phase Angle deg.	แบริ่งขวา (R) Amplitude mA.	แบริ่งขวา (R) phase Ang. deg.
1	Balanced disk	0.01 (1 μm)	-	0.01 (1 μm)	-
2	Unbalance = 4x64.2 gm-mm เติมที่ตำแหน่ง 0^{o}	0.28	110	0.25	105

ตารางที่ ก-13 ตารางผลการทดลอบหา Rotor sensitivity

Unbalance	Actual Location deg.	แบริ่งซ้าย (L) Amplitude mA.	แบริ่งขวา (R) Amplitude mA.	phase lag L deg.	phase lag R deg.
1 gm-mm	0	1.09034×10^{-3}	9.85202×10^{-4}	110	105

ตารางที่ ก-14 ตารางข้อมูลการทดลอบสมดุลย์ระนาบเดียว

ชนิดของงานที่ทดลอบ : Disk

ทดลอบที่ความเร็วรอบ : 1440 RPM

run No.	condition	แบริ่งซ้าย (L) Amplitude mA.	แบริ่งซ้าย (L) phase Angle deg.	แบริ่งขวา (R) Amplitude mA.	แบริ่งขวา (R) phase Angle deg.
1	Unbalance disk	0.23	294	0.20	288
2	เติมน้ำหนักที่แท้จริง 3.29 กรัมที่มุม 4 องศา	0.03 (2 μm)	-	0.03 (2 μm)	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-15 ตารางการทดลอบหลังจากตรวจสอบสมดุลย์แล้วแบบสองระนาบ

ชนิดของงานที่ทดสอบ : Disks

ทดสอบที่ความเร็วรอบ : 1440 RPM

Run No.	condition	แบริ่งซ้าย (L) (แบริ่ง a)		แบริ่งขวา (R) (แบริ่ง b)	
		Amplitude mA.	phase Angle deg.	Amplitude mA.	phase Angle deg.
1	Balanced disks	0.02	-	0.03	-
2	Unbalance 4x64.2 gm-mm เติมที่ 0° ; ระนาบแก้ซ้ายมือหรือระนาบแก้ I	0.46	110	0.16	283
3	Unbalance 4x64.2 gm-mm เติมที่ 0° ระนาบแก้ขวามือ หรือระนาบแก้ II	0.11	104	0.36	290

ตารางที่ ก-16 ตารางผลการทดสอบหา Complex dynamic influence Numbers

unbalance gm-mm	Actual Locationที่ระนาบแก้ I deg.	Actual Locationที่ระนาบแก้II deg.	แบริ่ง a		แบริ่ง b	
			Amplitude mA.	phase Angle deg.	Amplitude mA.	phase Ang deg.
1 gm-mm	0	-	α_{aI} 1.79127×10^{-3}	110	α_{bI} 5.84112×10^{-4}	283
1 gm-mm	-	0	α_{aII} 4.28348×10^{-4}	290	α_{bII} 1.47975×10^{-3}	104

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-17 ตารางข้อมูลการทดลอบแบบล่องระนาบ

ชนิดของงานที่ทดลอบ : Disks

ทดลอบที่ความเร็วรอบ : 1440 RPM

run No.	condition	แบริ่ง a		แบริ่ง b	
		Amplitude mA.	phase Angle deg.	Amplitude mA.	phase Angl deg.
1	แผ่น disks บวก unbalance Weight 3 กรัม เติมที่ 330° ระนาบแก้ I และ 4 กรัมเติมที่ 270° ระนาบแก้ II	0.30	95	0.33	350

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

Guide to Requisite Balancing Quality

Quality group	Type of rotor	(Residual unbalance) / (Rotor body weight)* mmg/kg	Center-of-gravity displacement, ± in.
A	High-speed gyros; armatures, shafts, and wheels of fine grinding machines	0.2–1.0	$0.008–0.039 \times 10^{-3}$
B	Armatures of very-high-speed small motors, small and medium gas turbines, high-speed supercharger blowers, grinding machine drives	0.5–2.5	0.020–0.073
C	Rigid small-motor armatures, supercharger blowers, turbines, turbogenerators	2–10	0.078–0.390
D	Armatures of commercial electric motors, fans, machine components, and machine tool components, high-speed gear parts, crankshafts of four-cylinder or more engines, high-speed parts of processing techniques	5–25	0.197–0.985
E	Propeller shafts, one, two, and three-cylinder crankshaft (with reciprocating mass forces which cannot be balanced), motorcycles, tires, wheels, slow-moving parts of crushing machines, textile machines, threshing drums, etc.	20–100	0.780–3.90

*1 mmg/kg is equivalent to a displacement of the center-of-gravity of 0.001 mm = 1 micron = 39 microinches.

ตารางที่ ข - 1

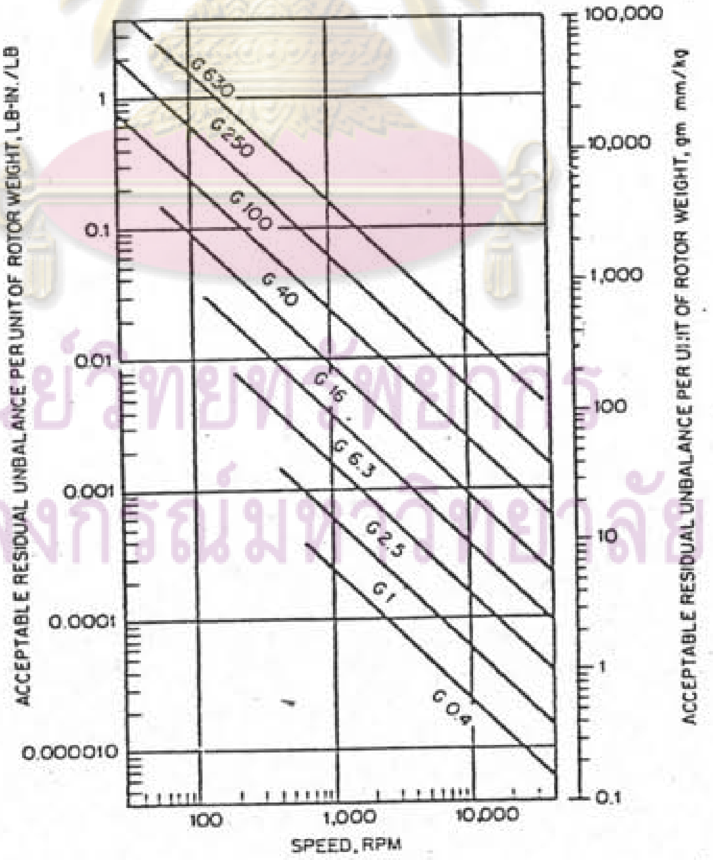
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

... Balance Quality Grades for Various Groups of Rigid Rotors[13]

Balance quality grade	Type of rotor
G4,000	Crankshaft drives of rigidly mounted slow marine diesel engines with uneven number of cylinders.
G1,600	Crankshaft drives of rigidly-mounted large two-cycle engines.
G630	Crankshaft drives of rigidly mounted large four-cycle engines; crankshaft drives of elastically mounted marine diesel engines.
G250	Crankshaft drives of rigidly mounted fast four-cylinder diesel engines.
G100	Crankshaft drives of fast diesel engines with six or more cylinders; complete engines (gasoline or diesel) for cars and trucks.
G40	Car wheels, wheel rims, wheel sets, drive shafts; crankshaft drives of elastically mounted fast four-cycle engines (gasoline or diesel) with six or more cylinders; crankshaft drives for engines of cars and trucks.
G16	Parts of agricultural machinery; individual components of engines (gasoline or diesel) for cars and trucks.
G6.3	Parts or process plant machines; marine main-turbine gears; centrifuge drums: fans; assembled aircraft gas-turbine rotors; fly wheels; pump impellers; machine-tool and general machinery parts; electrical armatures.
G2.5	Gas and steam turbines; rigid turbo generator rotors; rotors; turbo-compressors; machine-tool drives; small electrical armatures; turbine-driven pumps.
G1	Tape recorder and phonograph drives; grinding-machine drives.
G0.4	Spindles, disks, and armatures of precision grinders; gyroscopes.

Note: In general, for rigid rotors with two correction planes, one-half the recommended residual unbalance is to be taken for each plane; these values apply usually for any two arbitrarily chosen planes, but the state of unbalance may be improved upon at the bearings; for disc-shaped rotors, the full recommended value holds for one plane.

ตารางที่ ย-2



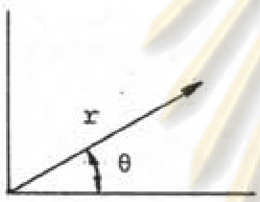
รูปที่ ย-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

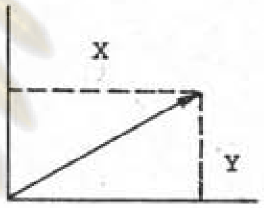
ภาคผนวก ค

การลบ คูณและหาร phasor

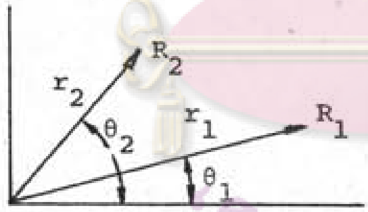
การตรวจสอบสมดุลย์ชิ้นงานหมุน เราต้องทราบขนาดของการสั่น ซึ่งเกิดจากความไม่สมดุลย์และตำแหน่งของการสั่น ข้อมูลอันนี้ได้จากการวัด สามารถแทนได้ด้วย phasor ถูกกำหนดให้เป็นเวคเตอร์อ้างอิงกับระบบแกนร่วม xy ยึดอยู่กับที่ซึ่งเป็น Rotating reference มีขนาด (modulus) และตำแหน่ง (Argument) หรือหาได้จากองค์ประกอบของ X และ Y ดังแสดงในรูปที่ค-1 และค-2 ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของ polar form และ rectangular form ฉะนั้นในการแก้ปัญหาของความไม่สมดุลย์เกี่ยวข้องกับการดำเนินการทางพีชคณิต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การลบ คูณและหารของ phasor ดังจะได้อธิบายด้วยสมการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



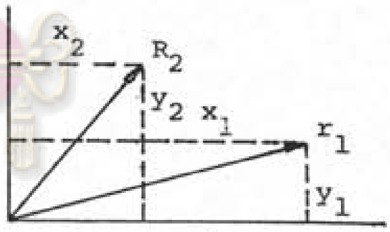
รูปที่ ค-1



รูปที่ ค-2



รูปที่ ค-3



รูปที่ ค-4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

= phasor R_2 - phasor R_1

Y คือ องค์ประกอบของ resultant = $y_2 - y_1$

X คือ องค์ประกอบของ resultant phasor = $x_2 - x_1$

= phasor R_1 x phasor R_2

ขนาดของ resultant phasor = $r_1 \times r_2$

ตำแหน่งของ resultant phasor = $\theta_1 + \theta_2$

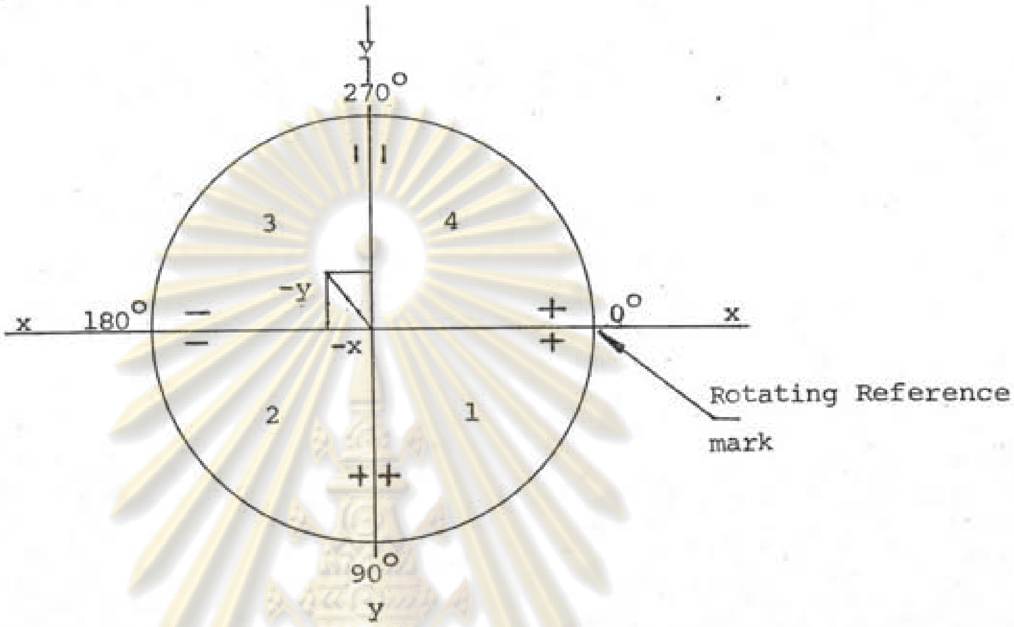
= phasor R_1 ÷ phasor R_2

ขนาดของ resultant phasor = $r_1 \div r_2$

ตำแหน่งของ resultant phasor = $\theta_2 - \theta_1$

การกำหนดเครื่องหมายใน Quadrant ต่าง ๆ

การลบ คูณ และหารของ phasor ต้องสัมพันธ์กับการกำหนดเครื่องหมายใน quadrant ต่าง ๆ และการกำหนดตำแหน่งเข็งมุมให้เพิ่มขึ้นในทิศทางทวนหรือตามเข็มนาฬิ-การของ protractor ดังแสดงในรูปที่ ค-5



รูปที่ ค-5

ตัวอย่างแสดงการลบ คูณ และหารของ phasor

อาศัยหลักเบื้องต้นการเปลี่ยนฟอร์ม จะต้องเปลี่ยน polar form ไปเป็น Rectangular form และจาก Rectangular ไปเป็น polar form กลับไปมาเช่นนี้ และใช้ตรีโกณมิติเข้าช่วยด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำหนดให้ $V_a = 0.30 \angle 95^\circ$, $V_b = 0.33 \angle 350^\circ$

$$\alpha_{aII} = 4.28348\times10^{-4} \angle 290^\circ, \quad \alpha_{bII} = 1.47975\times10^{-3} \angle 104^\circ$$

$$\bar{U}_1 \cdot \Delta = \alpha_{bII} \cdot V_a - \alpha_{aII} \cdot V_b$$

$$= 4.43925 \times 10^{-4} \angle 199^\circ - 1.41354 \times 10^{-4} \angle 280^\circ$$

$$= (4.43925\times10^{-4}\cos199^{\circ})_x + (4.43925\times10^{-4}\sin199^{\circ})_y -$$

$$(1.41354\times10^{-4}\cos280^{\circ})_x + (1.41354\times10^{-4}\sin280^{\circ})_y$$

$$= (-4.44275\times10^{-4})_x - (5.32\times10^{-6})_y$$

$$\bar{U} . \Delta = 4.44306\times10^{-4} \angle 180.646^{\circ}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การติดสเตรนเกจและการต่อวงจร Wheatone Bridge

สเตรนเกจที่นำมาใช้ detect ขนาดการสั่นเป็นเกจแบบ foil ชนิด ไดนามิค สเตรนเกจ มีคุณสมบัติดังนี้

gage length 8 mm.

gage factor = 2.00 $\pm$ 1 %

K = -0.7 %

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ = 120 Ω $\pm$ 0.3

เมื่อได้เลือกชนิดของสเตรนเกจที่เหมาะสมกับการใช้งาน และมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ดังนั้นขั้นตอนการติดสเตรนเกจ มีดังนี้

1. เตรียมชิ้นงานหรือ specimen สำหรับในกรณีของเราเครื่องตรวจสอบใช้ชิ้นงานแบบสปริงแผ่น (stainless steel beam) มีลักษณะรูปร่างดังแสดงในภาพ

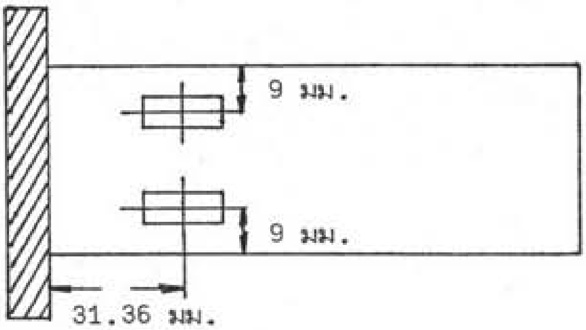
2. บริเวณที่เราได้เลือกไว้จะติดสเตรนเกจ ต้องขัดให้มันเป็นเงา ด้วยกระดาษทรายชนิดละเอียดเบอร์ 500 จากนั้นใช้ผ้าที่สะอาดเช็ดและล้างด้วยอะซีโตน จนกระทั่งผิวบริเวณนั้นสะอาด

3. ต้องกำหนดและให้ มิติ บริเวณที่ติดสเตรนเกจ ทั้งด้านบนและด้านล่าง ดังแสดงในรูปเสร็จแล้วต้องล้างให้สะอาดอีกครั้งหนึ่ง

4. ใช้กาวชนิดใส สำหรับติดสเตรนเกจโดยเฉพาะ ทาลงบริเวณผิวงาน จากนั้นพิจารณาว่าสเตรนเกจด้านไหนควรจะติดแนบผิวงาน จากนั้นใช้ Tape แปะติดอีกด้านหนึ่ง เพื่อสะดวกในการติด

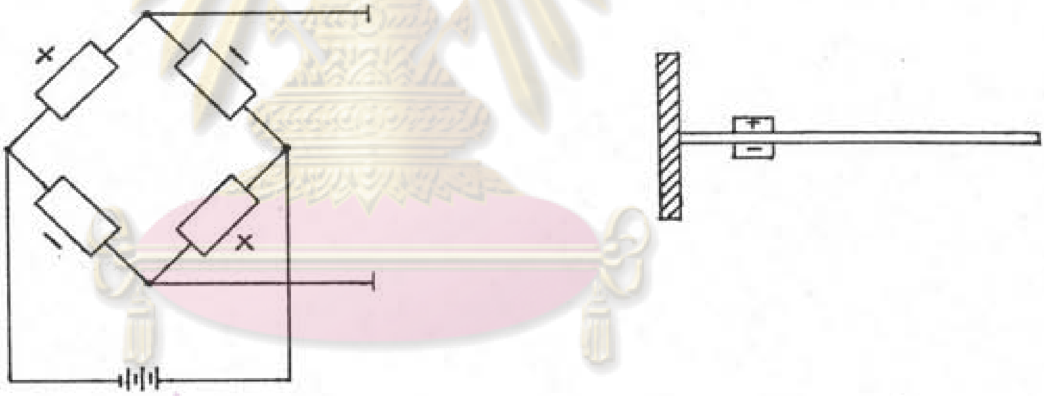
5. ใช้นิ้วมือจับ Tape นำมาทาบติดกับผิวโดยให้ตรงกับเส้นเครื่องหมายทั้ง 2 แนว เสร็จแล้วใช้นิ้วหัวแม่มือกดสเตรนเกจสัมผัสกับผิวอย่างเบา ๆ หลังจากนั้นรอให้กาวแห้งประมาณ 1 นาที ค่อยดึงออกได้ สำหรับเสตรนเกจตัวอื่น ๆ ก็ดำเนินการติดในลักษณะที่เหมือนกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-1

การต่อวงจร Wheatstone Bridge



รูปที่ ง-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ

- ในวงจรวีตสโตรบริดจ์ ต้องระมัดระวัง ถ้าหากต่อผิด เมื่อป้อนแรงดันเข้าไปแล้วมีโหลดมากระทำกับสปริงแผ่น ความต้านทานเดิม R เปลี่ยนไปเป็น (R+ΔR) มิเตอร์จะไม่อ่านค่า

- สเตรนเกจทั้ง 4 ตัวเป็น Four Active gage สำหรับวัด Bending Strain ความเครียดเนื่องจากโหลดในแนวแกนถูกกำจัดไป และชดเชยอุณหภูมิ

ไปในตัวด้วย

- โอกาสที่สเตรนเกจเกิดการเสียหายได้ จะเป็นในกรณีที่ได้รับโหลดจากภายนอกมากเกินไป หรือสปริงแผ่นเกิดการสั่นมากเกินไป จะทำให้สเตรนเกจเกิดการ slip ได้ มีผลให้มิเตอร์อ่านค่าได้น้อยหรือไม่อ่านค่าเลย

- เมื่อต่อวงจรวีตสโตนบริดจ์เสร็จเรียบร้อย ควรใช้ ขี้ผึ้ง ทาบริเวณผิวของสเตรนเกจทั้ง 2 ด้าน ป้องกันความชื้นที่จะมีผลต่อสเตรนเกจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

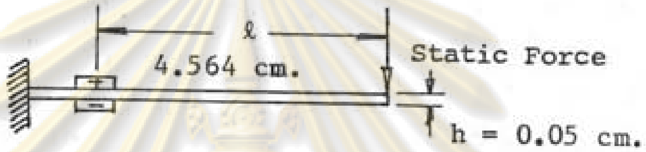
ภาคผนวก จ

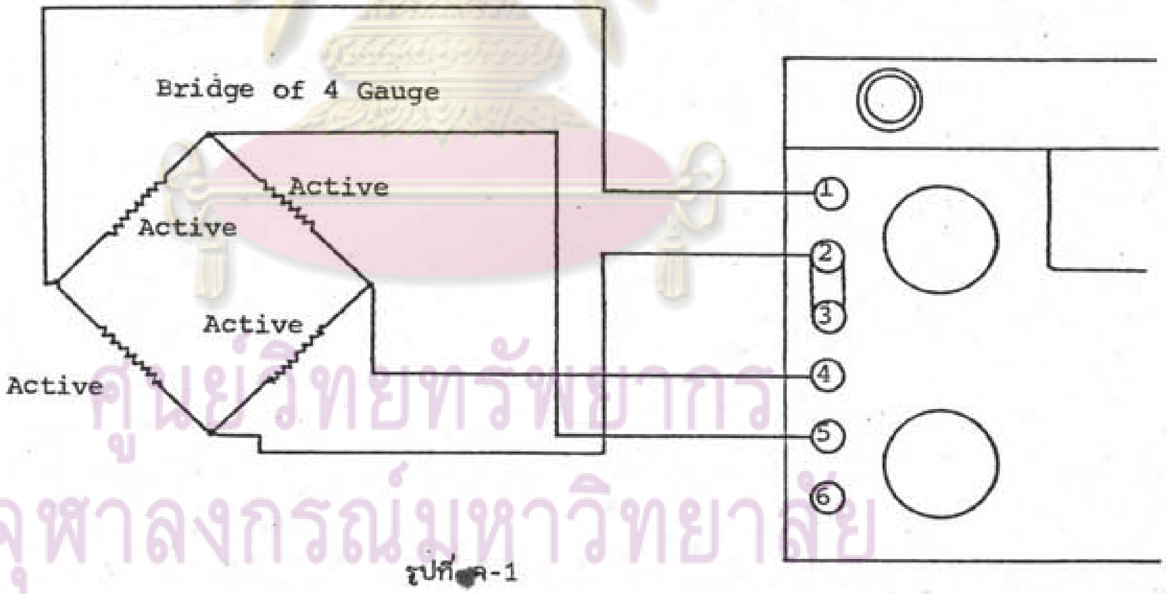
การทดลอบ strain gage Transducer

วัตถุประสงค์

1. ต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่าง strain กับ Force เมื่อสปริงแผ่นได้รับ static load กระทำในลักษณะของโมเมนต์ดัด

2. หาค่า young's modulus of Elasticity ของสปริงแผ่นซึ่งเป็น stainless steel strip





รูปที่ ล-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการทดลอบ

1. นำสปริงแผ่นซึ่งติดสเตรนเกจเรียบร้อยแล้วไป clamp ในลักษณะของ cantilever beam จากนั้นต่อวงจรเข้ากับเครื่องมือวัด (portable strain gage Bridge) ดังแสดงในรูป ¬ล-1

2. เติมน้ำหนักที่ปลายคานในลักษณะของการแขวนน้ำหนักขนาดต่าง ๆ และดำเนินการตามขั้นตอนต่าง ๆ ของการปรับเครื่องมือวัด อ่านค่าความเครียดออกมาดังแสดงในตารางที่ จ-1

ตารางที่ จ-1

Weight gm.	Strain (ε)
8.015	13.00×10^{-6}
9.015	16.00×10^{-6}
10.015	18.00×10^{-6}
11.015	20.00×10^{-6}
12.015	22.00×10^{-6}
17.015	30.00×10^{-6}
22.015	39.00×10^{-6}
27.015	47.50×10^{-6}
32.015	57.75×10^{-6}
37.015	67.00×10^{-6}
42.015	75.50×10^{-6}
47.015	83.50×10^{-6}

<u>การคำนวณหาค่า Young's modulus of Elasticity; (E)</u>

$F = 10 \times 10^{-3}$ kg. $\qquad \ell = 4.564$ cm.

$C = 0.025$ cm. $\qquad I = bh^3/12 = 3.9125 \times 10^{-5}$ cm^4

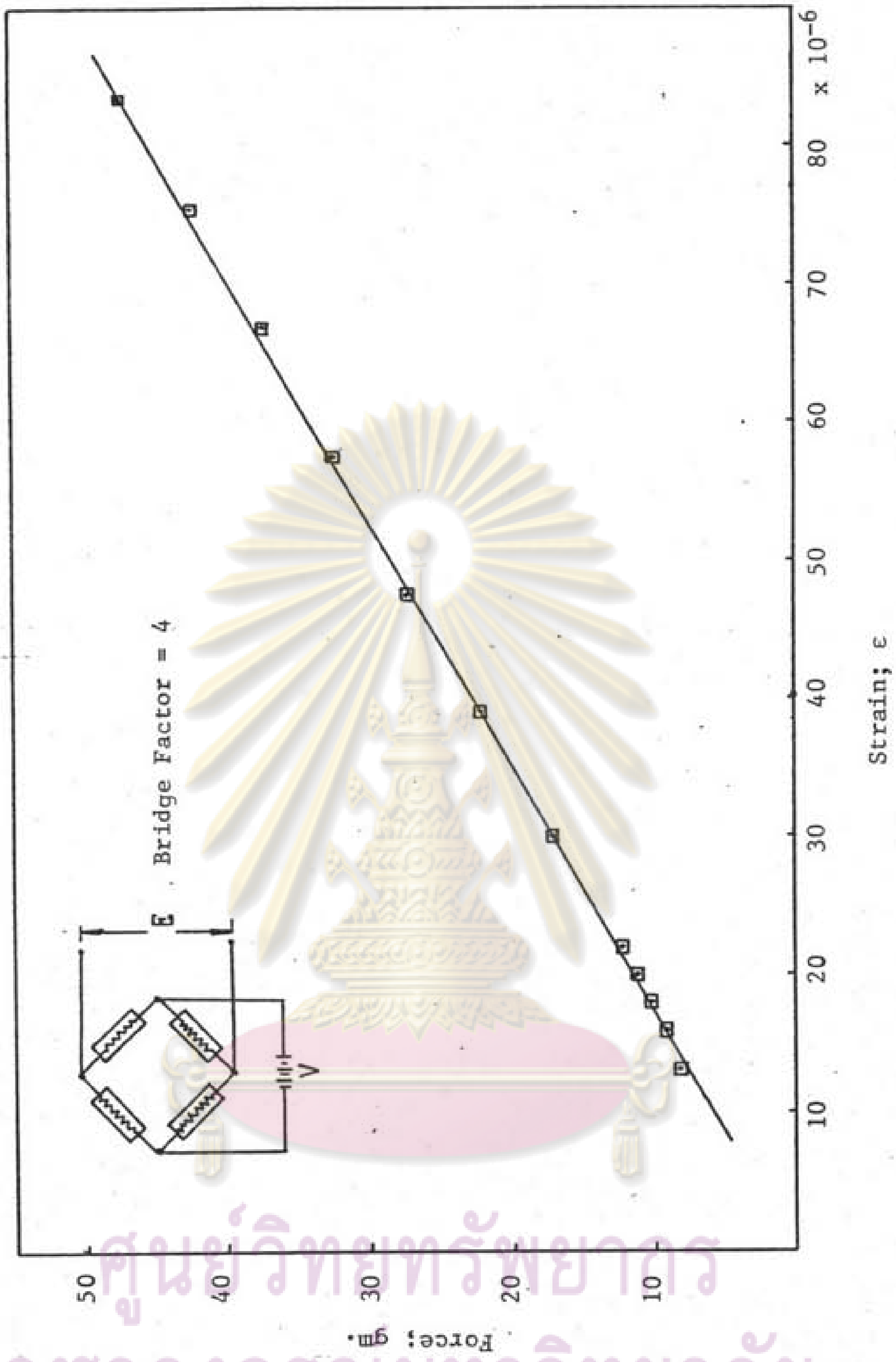
$\varepsilon = 17.4 \times 10^{-6}$

$S = M/Z = 10 \times 10^{-3} \times 4.564 \times 0.025 / 3.9125 \times 10^{-5}$

$= 29.162$ Kg/cm^2

$E = S/\varepsilon = 1,676,030.9$ kg/cm^2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ผลการตรวจสอบทรานส์ดิวเซอร์

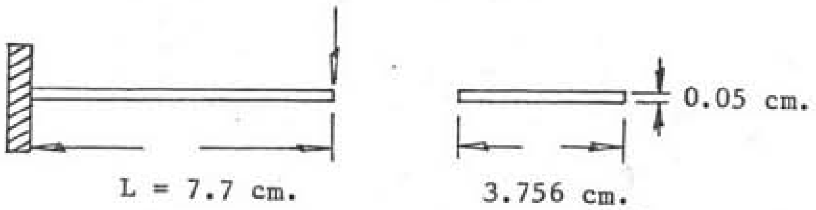
รูปที่ จ-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ผลการทดสอบ</u>

นำค่า ความเครียดขนาดต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบไปพล็อตระหว่าง ความเครียดกับ แรง พิจารณากราฟรูปที่ จ-2 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มขนาดน้ำหนักขึ้นเรื่อย ๆ ปรากฏว่า ความเครียดเพิ่มขึ้นเกือบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำต่อสปริงแผ่น สำหรับค่า Young's modulus of Elasticity ของสปริงแผ่นมีค่าเท่ากับ 1,676,030.9 Kg/cm^2

<u>การหาความถี่ธรรมชาติของระบบรองรับ</u>



รูปที่ จ-3

จากสูตร ความแข็งของสปริงแผ่น $k = 3\ EI/L^3$

ซึ่ง

I = Moment of Inertia of cross-section area

E = Young's modulus of Elasticity

= 1,676,030.9 kg/cm^2 for stainless steel

$$k = \frac{3x1,676,030.9x3.756(0.05)^3}{(7.7)^3(12)} = 0.4309 \quad kg/cm.$$

K_{Total} = 4k = 1.7236 kg/cm.

น้ำหนักของแผ่นตีล = 1,189.6 gm.

น้ำหนักของเพลา = 2,683.63 gm.

น้ำหนักของแบริ่ง = 10,500 gm.

รวมน้ำหนักทั้งหมด = 14,373.23 gm.

$$\omega n = \sqrt{\frac{K}{M}} = \sqrt{\frac{1,7236\ kg/cm.\ x\ 981\ \ cm/sec^2}{14.373\ kg.}}$$

$$= 10.85 \quad rad./sec.$$

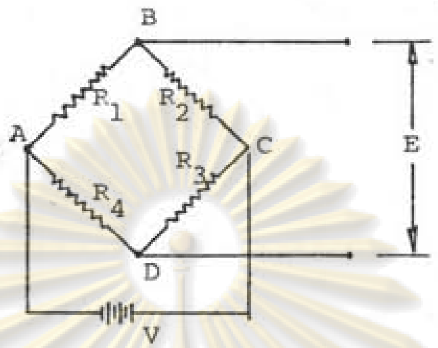
$$\omega n = \frac{60}{2\pi}(10.85) = 103.61 \quad rpm.$$

$$fn = 1.73 \quad Hz.$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

The Wheatstone Bridge



รูปที่ ฉ-1

เพื่อที่จะแสดงหลักการทำงานของวีตสโตนบริดจ์ ซึ่งเป็นตัวรับสัญญาณอ่านค่าในรูปของความเครียด (strain) ออกมาโดยตรง (ซึ่ง ΔE ถูกวัดเพื่อที่จะหาค่าความเครียด) แขนของบริดจ์ทั้งสี่เป็นสเตรนเกจมีขนาดของความต้านทานเท่ากัน พิจารณาวงจรข้างบน เมื่อป้อนแรงดัน (V) ให้กับชุดวีตสโตนบริดจ์ จะทำให้เกิด Voltage ตกคร่อม R_1 กำหนดให้เป็น V_{AB} ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$V_{AB} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V \qquad (a)$$

เช่นเดียวกับ Voltage ตกคร่อม R_4 กำหนดให้เป็น V_{AD} มีค่าเท่ากับ

$$V_{AD} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V \qquad (b)$$

Voltage ที่ออกมาจากบริดจ์ (E) มีค่าเท่ากับ V_{BD}

$$E = V_{BD} = V_{AB} - V_{AD} \qquad (c)$$

นำค่าในสมการ (a) และ (b) แทนลงในสมการ (c) จะได้

$$E = \frac{R_1R_3 - R_2R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \cdot V \qquad (d)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ้าหากบริดจ์อยู่ในสภาพสมดุลย์ก็ต่อเมื่อ Voltage $(E = 0)$ จะได้

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

เมื่อบริดจ์อยู่ภายในโหลดที่มากระทำ ก็จะทำให้ความต้านทานเดิมแต่ละตัวคือ R_1 , R_2 , R_3 และ R_4 เปลี่ยนไปโดยเพิ่มขึ้นไปเป็นจำนวน ΔR_1 , ΔR_2 , ΔR_3 และ ΔR_4 ดังนั้น voltage (E) ที่ออกมาจากบริดจ์ หาได้จากสมการ (d) .

$$E = \frac{\begin{vmatrix} R_1 + \Delta R_1 & R_2 + \Delta R_2 \\ R_4 + \Delta R_4 & R_3 + \Delta R_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2 & 0 \\ 0 & R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4 \end{vmatrix}} .V$$

$$= V \cdot \frac{A}{B}$$

A และ B เป็นค่า Determinant , ต้องขยาย determinant เหล่านี้ และไม่คิด Second-order เทอม, $R_1R_3 = R_2R_4$

$$A = R_1R_3 \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

$$B = R_1R_3 \ (R_1 + R_2)^2 / R_1R_2$$

ผลในที่สุดจะได้ Different Voltage (ΔE) ที่จะต้องนำไปป้อนให้กับยูด Analyzer

$$\Delta E = \frac{V \cdot R_1R_2}{(R_1+R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

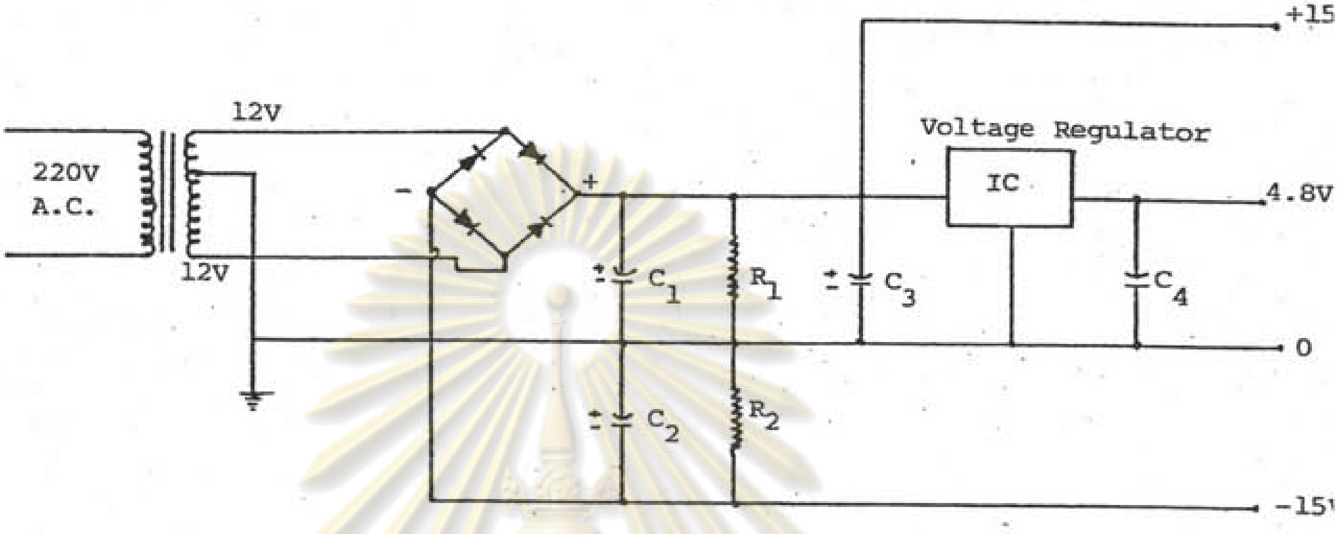
ให้ $\Delta R_2 = \Delta R_4 = -\Delta R$ และ $\Delta R_1 = \Delta R_3 = \Delta R$

$$\Delta E = V \Delta R / R$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ.

power supply



รูปที่ ซ-1

วงจร power supply ประกอบด้วย step down Transformer , Bridge rectifier, R-C filter, Voltage Regulator

หลักการทำงานของวงจร power supply

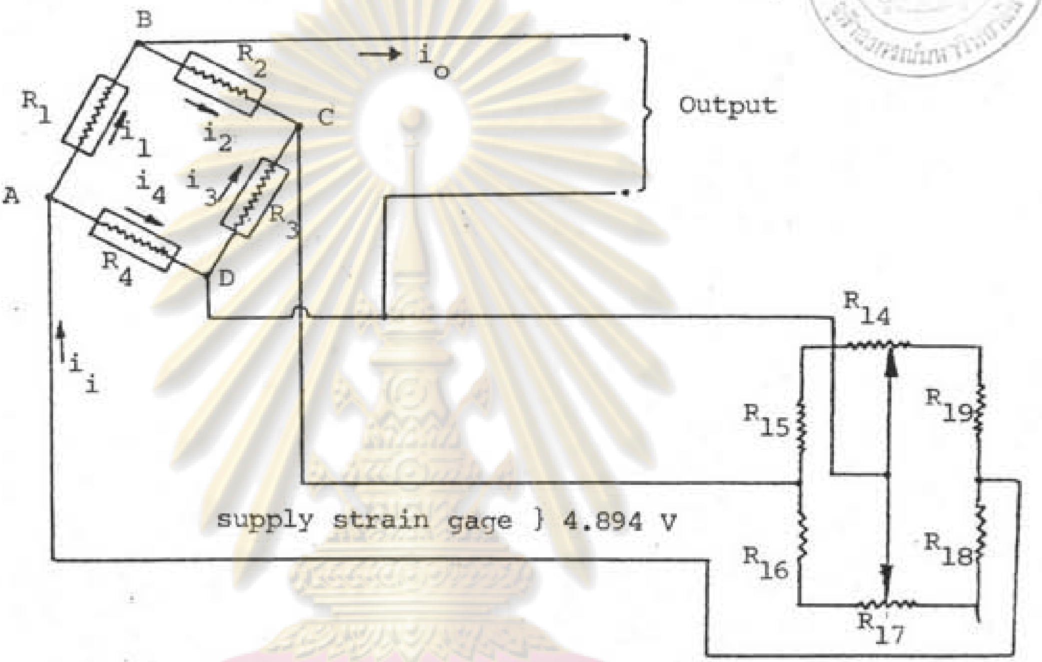
เมื่อป้อนไฟ A.C. ให้กับหม้อแปลงด้วยแรงดัน 220 V เกิดสนามแม่เหล็กทางด้านขดลวดปฐมภูมิ เกิดการเหนี่ยวนำทางด้านขดลวดทุติยภูมิ ลดแรงดันเหลือ 12 V เป็นไฟกระแสสลับ ป้อนให้กับชุดบริดจ์เรคติไฟเออร์ เพื่อเปลี่ยนไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรง คลื่นกระแสตรงยังไม่เรียบต้องกรองให้เรียบโดยให้สัญญาณผ่านอาร์-ซี ฟิลเตอร์ จากนั้นลดแรงดันลงโดย voltage regulator ให้เหลือ 4.8 V เพื่อที่จะนำไปป้อน (supply) ให้กับ sensor หรือทรานส์ดิวเซอร์

กระแสไฟตรงที่มีความต่างศักดิ์เป็นบวก มีขนาดของ supply เท่ากับ +15 V และกระแสไฟตรงอีกด้านหนึ่งมีความต่างศักดิ์เป็นลบ ซึ่งมีขนาดของ supply เท่ากับ -15 V

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น กระแสไฟตรงซึ่งมีความต่างศักดิ์เป็น $\pm$ 15 V. เพื่อที่จะนำไปป้อนให้กับ IC. ของวงจรภาคขยาย ภาคกรองความถี่ ชุด Meter driver , comparator กระตุ้นให้ทรานซิสเตอร์ในตัว IC. พร้อมที่จะทำงาน

Wheatstone Bridge strain gage และ Potentiometer



รูปที่ ข-2

พิจารณารูปข้างบนแสดง D-C wheatstone Bridge ประกอบด้วยสเตรนเกจจำนวน 4 ตัว (four active gage) supply ไฟ D.C. เท่ากับ 4.894 ให้กับชุดวงจรวีตสโตนบริดจ์ก่อนที่วงจรได้รับความเครียด เนื่องมาจากแรงที่มากระทำจากภายนอก มีความจำเป็นที่จะต้อง Balance Bridge ก่อน โดยการปรับปุ่ม Coarse กับ Fine ของชุดโพเทนโชมิเตอร์

เงื่อนไขของการ Balance หากนำมิเตอร์ไปต่อที่ Output จะไม่มีกระแสไหลผ่านมิเตอร์ หากอ่านค่าได้ศูนย์จริง $i_1 = i_2$ และ $i_4 = i_2$ หรือ $i_4R_4 = i_1R_1$ และ $i_2R_2 = i_3R_3$ เราจะได้ความสัมพันธ์จากเงื่อนไขของการ Balance ดังนี้

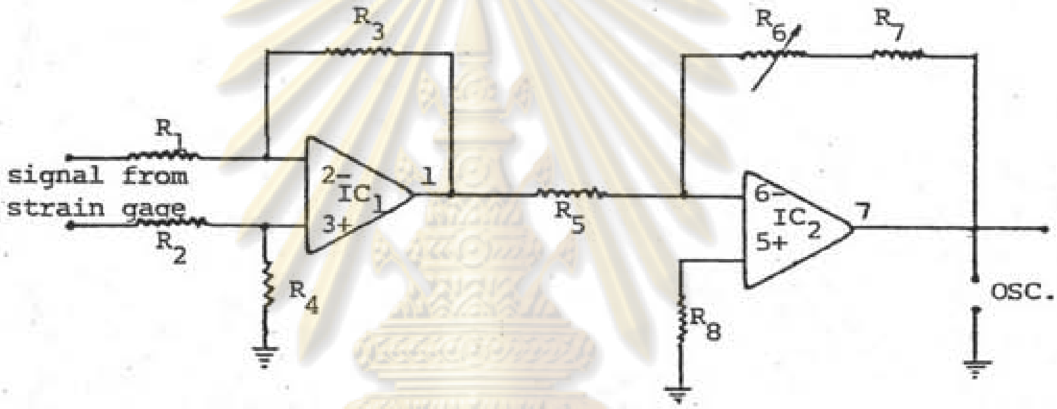
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$R_2R_4 = R_1R_3$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4} \quad หรือ \quad \frac{R_2}{R_3} = \frac{R_1}{R_4}$$

หากดูจากความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าเมื่ออยู่ใน Balance condition (E_{out} = 0) คือจะได้ constant current wheatstone Bridge

<u>ภาคขยาย (Amplifier)</u>

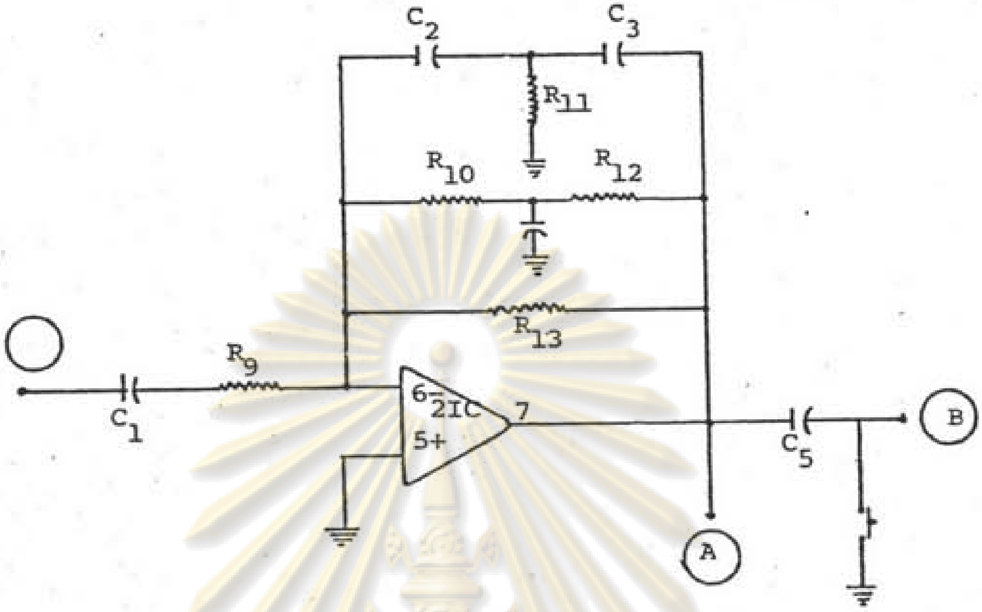


รูปที่ ข-3

วงจรภาคขยายประกอบด้วย Differential Amplifier และชุดขยายแบบกลับเฟส (inverting Amplifier) เมื่อ signal จากสเตรนเกจเข้ามาด้วยขนาดของสัญญาณต่ำมาก จำเป็นต้องขยายให้สูงขึ้นโดยผ่าน differential Amplifier ที่มีการป้อนกลับโดยขยายด้วยอัตราขยายเท่ากับ $\frac{R_3}{R_1}$ x input จากนั้นสัญญาณก็เข้าชุดขยายแบบกลับเฟส ซึ่งเป็นวงจรพื้นฐานมีอัตราขยายปิดลูบ (closed Loop) เท่ากับ $\frac{R_6+R_7}{R_5}$ x input โดยที่ R_6 ปรับ gain การขยาย ซึ่งขยาย 2 stage ดังนั้น signal ที่ออกจากภาคขยายไม่เรียบ ดูได้จากออสซิลโลสโคป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคกรองความถี่ต่ำ (Low-pass filter)



รูปที่ ข-4

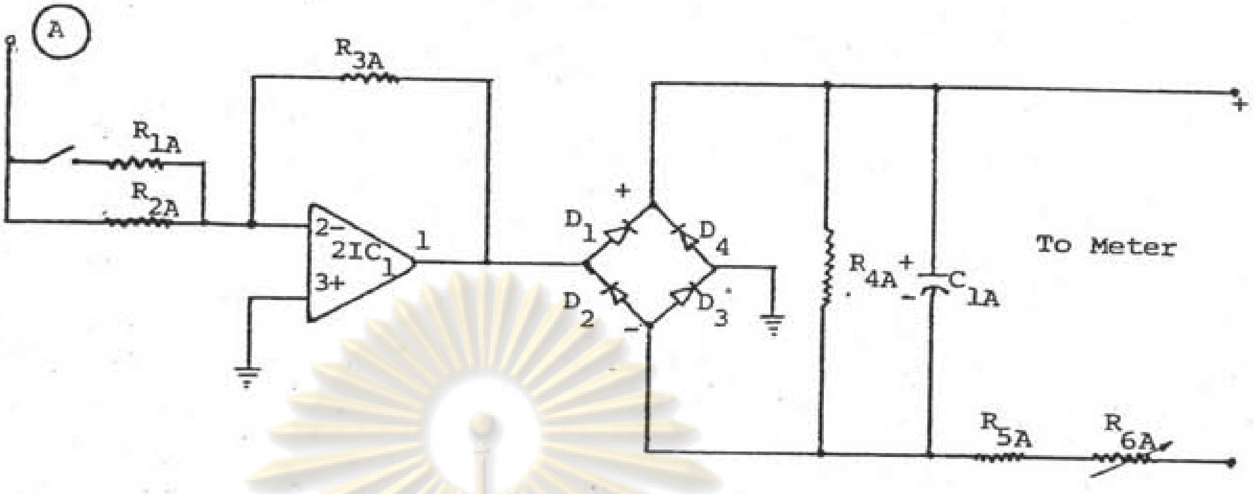
เนื่องมาจากสัญญาณที่ผ่านการขยายมาแล้วนั้นประกอบด้วยสัญญาณที่มาจากสเตรนเกจส่วนหนึ่งกับสัญญาณรบกวนจากแหล่งภายนอกซึ่งเป็น Higher order Effect. เช่น Electrical Noise สัญญาณรบกวนเหล่านี้มีความถี่สูง เมื่อสัญญาณเข้าภาคกรองความถี่จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำเท่านั้นผ่านช่วงหนึ่งซึ่งในระบบของเราความถี่ประมาณ 25 Hz. สำหรับความถี่สูง ๆ จะถูกกรองทิ้งออกไป หรือลดขนาดสัญญาณรบกวนให้ต่ำลงให้มากที่สุด

ดังนั้นลักษณะของ wave form ที่ออกมาจากภาคกรองความถี่มีรูปร่างแบบ sinusoidal wave ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของ sinewave ให้มัน smooth มากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Meter Driver

ชุด Meter driver ประกอบด้วย inverting Amplifier 1 ชุด Bridge Rectifier , R-C filter และ Meter



รูปที่ ข-5

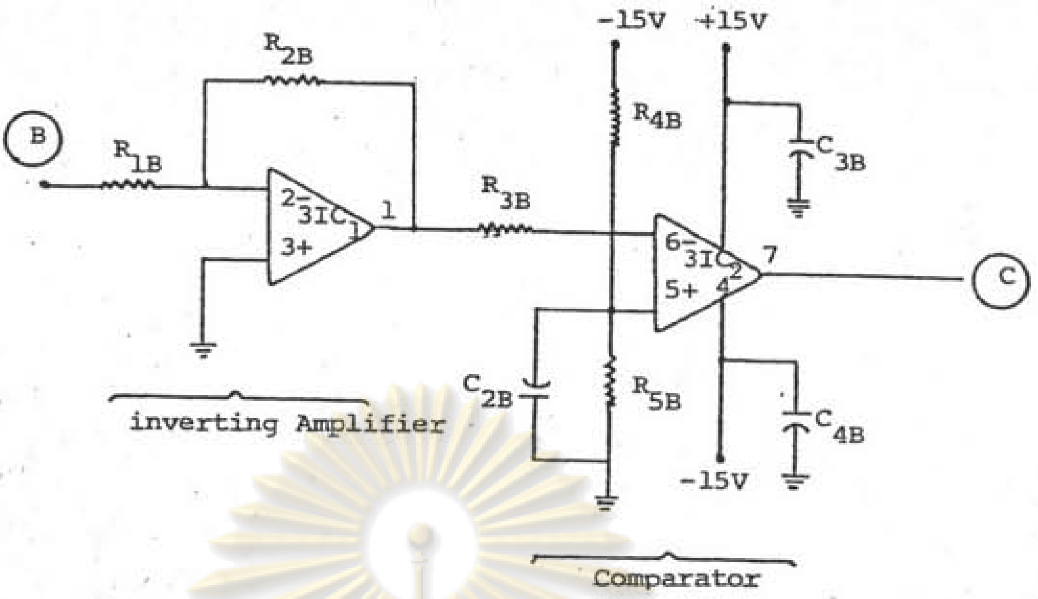
ลักษณะของ signal ที่ออกจากภาคกรองความถี่ต่ำ เป็นแบบ A.C เข้ามายังจุด A แล้วผ่านเข้าภาคขยายของชุด inverting Amplifier ขยายสัญญาณจากเดิมให้แรงขึ้นอีก ด้วยอัตราการขยายเท่ากับ (R_{3A}/R_{2A}) (input) จากนั้นผ่านมายังชุดบริดจ์เรคติไฟเออร์ ซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟ A.C. ไปเป็นไฟ D.C. แต่ลักษณะรูปร่างของสัญญาณยังไม่เรียบพอ ต้องให้ผ่านชุด อาร์-ซี ฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณให้เรียบมากที่สุดเกือบเป็นเส้นตรง จากนั้นขนาดของสัญญาณเข้าไปยังมิเตอร์ เพื่อที่จะแสดงค่าขนาดของสัญญาณ มิเตอร์จะอ่านค่า Mean อ่านออกมาในหน่วย milliampere (mA)

<u>Comparator</u>

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาวงจรข้างบนนี้ประกอบด้วย inverting Amplifier และ comparator สัญญาณที่มาจากภาคกรองความถี่ต่ำต้องนำมาขยายให้แรงขึ้น ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ $\frac{R_{2B}}{R_{1B}}$ x input จากนั้นสัญญาณที่ผ่านการขยายแล้วเข้ายังชุด comparator เข้ามาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง

ชุด comparator ประกอบด้วย OP.AM 1 ตัว , Voltage divider 2 ชุด ก่อนที่ชุด comparator จะทำงานต้องจ่ายแรงดัน $\pm$ 15 V ไปเลี้ยงตัว I.C. ให้



รูปที่ ข-6

พร้อมที่จะทำงาน เมื่อจ่ายแรงดันเข้าไปแล้วหากมีความถี่สูง ๆ ปะปนเข้ามาจะถูก by pass ลงดิน โดยผ่านทางคาปาซิสเตอร์ (C_{3B} และ C_{4B})

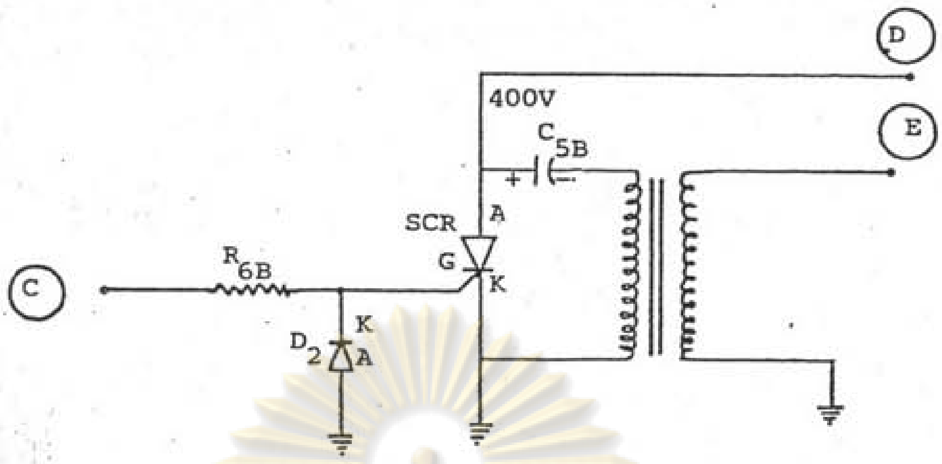
สำหรับการสร้างแรงดันอ้างอิงนั้นเราต้องจ่ายแรงดัน -15 V ผ่าน Voltage divider (R_{4B}) ลดจำนวนกระแสเข้าขั้วบวกของ I.C. หากมีความถี่สูง ๆ ปะปนเข้ามาก็จะถูก by pass ผ่าน C_{2B} ลงดินเช่นเดียวกัน ฉะนั้นเราจะได้แรงดันค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าถูก set ไว้ให้อยู่ในระดับที่คงที่ เราเรียกว่า แรงดันอ้างอิง

ขณะที่สัญญาณที่เข้ามายังชุด comparator ด้วยขนาดแรงดันของสัญญาณค่าหนึ่งต้องมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง หากมีขนาดแรงดันของสัญญาณที่มากกว่าแรงดันอ้างอิง จะยอมให้ผ่านไปได้ กรณีที่น้อยกว่าแรงดันอ้างอิง จะไม่ยอมให้ผ่านไปทริกให้ เอส. ซี. อาร์. ทำงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำงานของภาคทริก (Trigger circuit)

ขณะที่สัญญาณส่งออกมาจากชุด comparator จะเป็นลักษณะแบบไหนขึ้นอยู่กับการออกแบบ แต่เครื่องของเรามีลักษณะรูปร่างแบบ square wave ซึ่งจะต้องนำไปทริกให้ เอส. ซี. อาร์. ทำงาน แต่ว่าต้องแปลงให้เป็นไฟกระแสตรง ก่อนเข้าขั้ว gate (G) โดยการให้ Negative half cycle ของไฟ AC. วิ่งผ่านไดโอด (D_2) ลงดิน



รูปที่ ข-7

ตัดทิ้งไปเหลือเฉพาะ positive half cycle ซึ่งเป็นสัญญาณที่จะนำไปใช้ในการทริกให้ SCR นำกระแสสัญญาณนี้เราเรียกว่า gate pulse

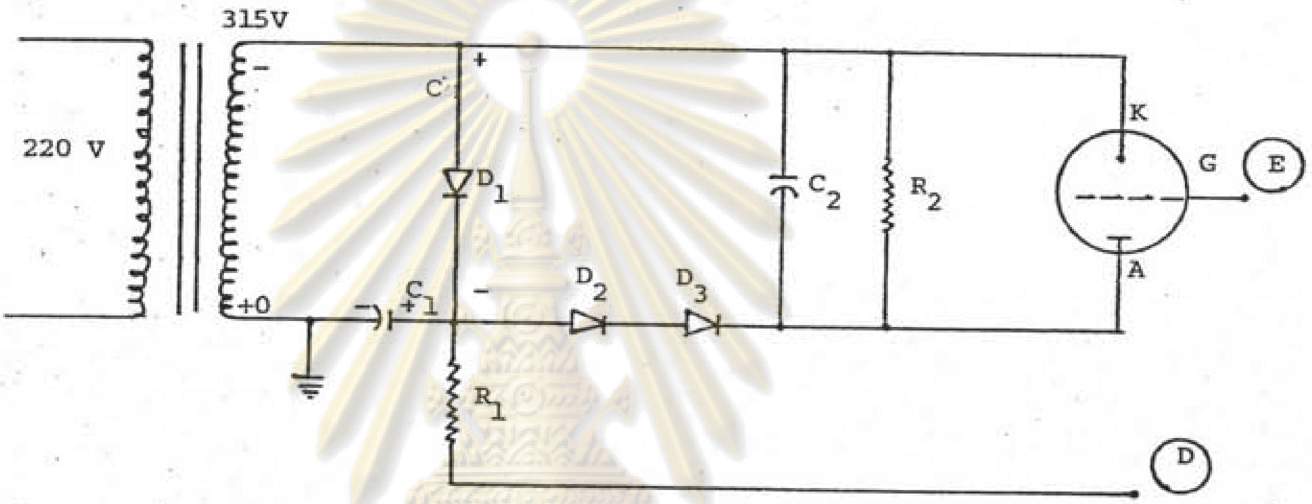
ขณะที่ gate pulse เข้าไปที่ขา gate (G) แล้ววิ่งผ่าน เอส. ซี. อาร์ ลงดิน ทางขาคาโทด (K) ไปโดยง่ายดาย ตอนนี้ เอส. ซี. อาร์ จะยังไม่นำกระแส ขณะเดียวกันไฟ DC. ที่มาจากวงจร power supply สำหรับหลอด xenon ผ่านความต้านทาน R_1 เพื่อลดจำนวนกระแสลงเข้ามาประจุกระแสให้กับคาปาซิสเตอร์ (C_{5B}) และเมื่อ voltage ที่มีความต่างศักดิ์เป็นบวกที่ขั้วอาโนด (A) เมื่อเทียบกับคาโทด (K)

เอส. ซี. อาร์ จะทำหน้าที่เป็น S.W. เปิดให้กระแสไหลจากขั้วอาโนด ผ่านไปยังขั้วคาโทด ขณะที่ เอส. ซี. อาร์ นำกระแส ทำให้ขาขั้วหนึ่งของ C_{5B} short ลงดิน ทำให้กระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงลงดิน ขณะเดียวกันนั้น ขดลวดปฐมภูมิเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันสูงมากประมาณ 800 V ทางด้านขดลวดทุติยภูมิไปจุดให้หลอด xenon ทำงานได้

เมื่อ gate pulse ทริกให้ เอส. ซี. อาร์ นำกระแสคาปาซิสเตอร์ถ่ายเทออกหมดแล้วก็มาถึงช่วง Negative half cycle ซึ่งได้ตัดทิ้งไป เอส. ซี. อาร์ จะหยุดนำกระแส ขณะเดียวกันนี้ไฟ D.C. จะ charge กระแสเข้ายัง C_{5B} ประจุจนเต็มเพื่อจะได้เริ่มทำงานในวัฏจักรต่อไปอีก จะเห็นได้ว่า เอส. ซี. อาร์ ทำหน้าที่เป็นอิเล็คโทรนิคส์สวิทช์ ปิดและเปิดให้กระแสไหลจากขั้วอาโนดไปยังคาโทด

ปกติแล้วกระแสไฟทางด้านขั้วของอาโนด (A) พร้อมอยู่ตลอดเวลาที่จะไหลมายัง คาโทด (K) เพียงแต่รอให้ gate pulse ซึ่งเป็นห้วง ๆ ไปทริกให้ เอส. ซี. อาร์ นำกระแสเท่านั้น

Power Supply for xenon Lamp



รูปที่ ฆ-8

ปกติแล้วที่กริด (G) มี supply มีค่าเป็นลบ (-) เสมอ สนามไฟฟ้าภายในหลอดที่กริดเป็นลบ ทำให้อิเลคตรอนไม่สามารถวิ่งผ่านจากคาโทด (K) ไปยัง อาโนด(A) ดังนั้นหลอด xenon จะไม่สว่าง เมื่อกริด (G) มีสัญญาณบวกเข้ามา ทำให้สนามไฟฟ้าที่กริดภายในหลอดมีค่าสนามไฟฟ้าเป็นบวก ทำให้อิเล็คตรอนสามารถวิ่งจาก คาโทด (K) ไปยัง อาโนด (A) ได้ ทำให้แกสภายในหลอดเกิดการ discharge เกิดแสงสว่างขึ้น

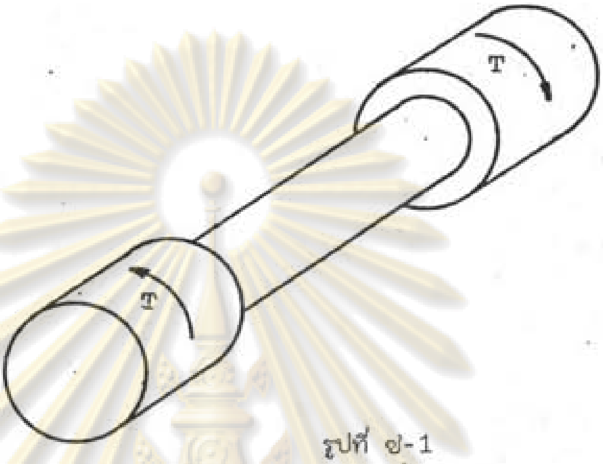
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับคาปาซิสเตอร์ (C_2) ที่ต่อคร่อมอาโนด และ คาโทด นั้นจะทำงานเมื่อหลอดสว่าง จะทำหน้าที่ discharge กระแสผ่านหลอด เมื่อขณะที่หลอด xenon ดับหรือไม่สว่าง , C_2 จะเก็บประจุไฟไว้ใช้เมื่อกริด (G) มีค่าสนามไฟฟ้าเป็นบวก

ภาคผนวก ฮ.

การคำนวณหาขนาด Flexible Shaft Coupling

การพิจารณาขนาดของ Shaft Coupling



รูปที่ ฮ-1

สำหรับ shaft coupling Material ซึ่งเป็น cold drawn steel AISI 1118 จาก Table ฮ-2 [25] ได้ค่า Su = 65 ksi ; Sy = 41 ksi = (41)(6.895) = 282.695 N/mm^2

จาก Octahedral shear Theory

ความต้านแรงเฉือนคราก Sys = (0.577)(Sy) = 163.115 N/mm^2

pure Torque ที่กระทำต่อ shaft coupling จาก T = 63,000 hp/n

= 63,000x2/1440

= 87.5 in-lb

= 9.89 N.m.

จากสมการ

$$S_s = Tr/J = 16\ T/\pi d^3$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเค้นเฉือนออกแบบ $S_s = Sys/N$ แรงที่กระทำต่อ shaft ช่วงเริ่มต้นเป็นแรงกระแทกอย่างหนัก (shock load) เมื่องานหมุนต่อไปเรื่อย ๆ แรงก็จะกระทำสม่ำเสมอ จากตาราง N = 7

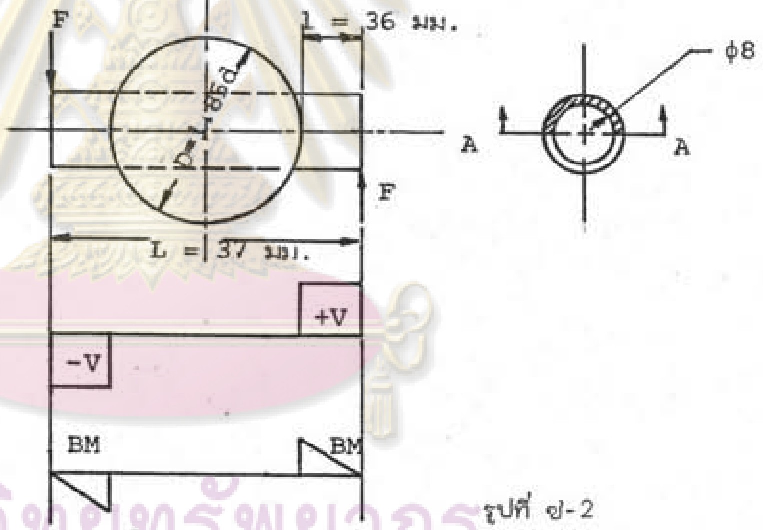
$$\therefore \quad S_s = 163.115/7 = 23.302 \ N/mm^2$$

และความเค้นเฉือนออกแบบ ; $S_s = 23.302 = 16x9.89x1000/\pi d^3$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16x9.89x1000}{\pi \times 23.302}} = 12.929 \ mm.$$

เส้นผ่าศูนย์กลางของ shaft coupling = 13 mm

<u>การพิจารณาขนาดของ rod หรือ pin</u>



รูปที่ ข-2

Torque จากมอเตอร์ถ่ายทอดให้กับวงแหวนจากนั้นผ่าน pin สู่ shaft coupling มีค่าเท่า 87.5 in-lb

ดังนั้นขนาดของแรงคู่ควบที่กระทำต่อ pin = F x l = 87.5 in-lb

$$F \times \frac{3.7}{2.54} = 87.5$$

$$F = 87.5 \times 2.54/3.7 = 60.067 \ lb$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขนาดของ pin คำนวณได้จากลักษณะของแรงที่กระทำต่อ pin ในลักษณะการเฉือนกับโมเมนต์ดัด

ก. แรงกระทำในลักษณะของการเฉือน สำหรับ pin material เป็นเหล็กกล้าเหนียว AISI 1118 Sy = 41 ksi = 282.695 N/mm^2

จาก octahedral - shear Theory

ความต้านแรงเฉือนคราก Sys = 0.577 Sy = 163.115 N/mm^2

จากสมการ $\tau = F/A$

$F = 60.067\ lb = 267.178\ N\ ,\ N = \frac{\pi}{2}(R^2-r^2) = \frac{\pi}{2}(R^2-4^2)$

ความเค้นเฉือนออกแบบ $(S_d) = \frac{Sys}{N}$

จากตาราง 1.1 [8] หน้า 20 ใช้ค่าความปลอดภัยสำหรับ shock load = 7

$$S_d = 163.115/7 = 23.302\ N/mm^2$$

แทนค่า $23.302 = \frac{267.178}{\frac{\pi}{2}(R^2-4^2)}$

$$R^2 = \frac{267.178x2}{23.302x} + (4)^2$$

$$R = 4.83\ \text{มม.}$$

$$d = 9.66\ \text{มม.}$$

ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของ pin เท่ากับ 10 มม.

ข. พิจารณาแรงที่กระทำในลักษณะของโมเมนต์ดัด

โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับ pin แต่ละด้าน ; M = Fl = 267.178x6

= 1,603.068 N.mm.

จากสมการ

$$s_f = \frac{M}{Z}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Design flexural stress ; $S_f = \frac{Sy}{N} = \frac{282.695}{7} = 40.385$ N/mm^2

แทนค่า

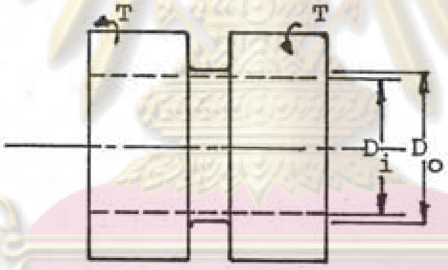
$$40.385 = \frac{1,603.068x32}{\pi d^3}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{1,603.068x32}{\pi x40.385}}$$

$$= 7.3946 \text{ m.m.}$$

จะนั้นขนาดของ pin ที่จะนำมาใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 10 มม.

<u>การพิจารณาขนาดของ Hollow Cylinder</u>



รูปที่ ข-3

สำหรับ Hollow cylinder Material ซึ่งเป็น cold drawn steel AISI 1117 จาก Table AT8 [8]

Sy = 35 ksi = (35) (6.895) = 241.325 N/mm^2

pure Torque ที่กระทำต่อ Hollow cylinder มีค่าเท่ากับ 9.89 N.m.

จากสมการ $S_s = 16\ T\ D_o/\pi\ (D_o^4 - D_i^4)$

ความต้านแรงเฉือนคราก Sys = 0.577 Sy สำหรับ octahedral shear Theory

= (0.577) (241.325)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$= 139.2445 \ N/mm^2$$

ความเค้นเฉือนออกแบบS_dหรือS_s $= 139.2445/7$ (N = ค่าความปลอดภัย)

$$= 19.892 \ N/mm^2$$

แทนค่า

$$19.892 = \frac{16x9.89x1,000xD_o}{\pi\ (D_o^4 - D_i^4)}$$

$$(D_o^4 - D_i^4) = \frac{16x9.89x1,000xD_o}{\pi x19.892} = 2,532.216\ D_o$$

กำหนดให้เส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 39 มม.

$$D_o^4 - 2,532.216\ D_o = (D_i)^4 = 2,313,441$$

$$D_o = 39.414 \text{ มม.}$$

$$= 41 \text{ มม.}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้านายบรรเทิง สิทธิศิรประพันธ์ เกิดเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2498 บ้านปากพรุ ต. บางนบ อ. หัวไทร จ. นครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาขั้นปริญญาบัณฑิต ที่วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวะศึกษา วิทยาเขตเทเวศน์ เมื่อปีการศึกษา 2521 เคยรับราชการครู ตำแหน่งอาจารย์ 1 ระดับ 3 ที่วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย