

542.8

ก 547 ๗

๓ 3

การออกแบบและการสร้าง เครื่องขึงไฟฟ้าแบบไมโครฟอร์สระบบดิจิทัล

ปริญญาโท

ของ

วิชา พันธ์ประเสริฐ

๑๑ พค 2535

ห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์
มหาวิทยาลัย
มหาวชิราลงค์ กรุงเทพมหานคร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้า

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

กุมภาพันธ์ 2530

ลิขสิทธิ์ เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

178555

การออกแบบและการสร้างเครื่องจักรไฟฟ้าแบบไมโครฟอร์ระบบดิจิทัล

บทคัดย่อ
ของ
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท
วิทยาศาสตรบัณฑิต

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
กุมภาพันธ์ 2530

ได้ออกแบบและสร้างเครื่องชั่งแบบไมโครพอร์ระบบดิจิทัล เป็นเครื่องชั่ง
ที่ใช้โฟโตเซลล์เป็นตัวตรวจวัดที่มีความสามารถในการชั่งสูงสุด 2 กรัม โดยสอบเทียบ
กับมวลที่ชั่งจากเครื่องชั่งมาตรฐาน เครื่องชั่งที่สร้างขึ้นมีความไวในการชั่ง 0.9289
กรัมต่อโวลต์ มีความละเอียดในการชั่ง 0.001 กรัม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
และความเป็นเชิงเส้น 0.99985 และ 0.99971 ตามลำดับ

DESIGN AND CONSTRUCTION OF DIGITAL ELECTRONIC
MICRO-FORCE BALANCE

AN ABSTRACT

BY

WICKARN PUNPRASERT

Presented in partial fulfillment of the requirement
for the Master of Education degree
at Srinakharinwirot University
February 1987

A digital electronic micro-force balance has been designed and constructed using a photocell as the mass detector. Capacity of the balance was 2 grams of maximum load including with 0.9289 gram per volt of the sensitivity. The calibration was made by 6 secondary standard masses obtained from a high accuracy commercial microbalance. The accuracy of the constructed microbalance were 0.001 gram and respectively. The correlation coefficient and linear correlation were also 0.99985 and 0.99971 respectively.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตและคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณา
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิตของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการที่ปรึกษา

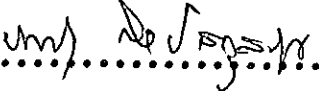
คณะกรรมการสอบ


..........ประธาน

..........ประธาน

..........กรรมการ

..........กรรมการ

..........กรรมการ

..........กรรมการ

..........กรรมการ

สารบัญ

บทที่

หน้า

1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	2
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	2
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ	3
2	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	4
	ทฤษฎีของ เครื่องซั้่ง	4
	ประเภทของ เครื่องซั้่งวิเคราะห์	6
	ส่วนประกอบของ เครื่องซั้่ง	7
	การสอบเทียบ เครื่องซั้่ง	9
	ชนิดของ เครื่องซั้่ง	10
	โทโตเซลล์	20
	ภาคแสดงผล	26
3	วิธีดำเนินการออกแบบและสร้าง เครื่องซั้่ง	30
	การออกแบบวงจรไฟฟ้าของ เครื่องซั้่งแบบ คีอีเอ็มบี	30
	การดำเนินการสร้าง เครื่องซั้่งแบบ คีอีเอ็มบี	34
	การทดลองและการปรับแต่ง เครื่องซั้่ง	47

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	48
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	48
การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผล	50
5 บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	66
บทย่อ	66
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	66
วิธีสร้าง	66
วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	67
สรุปและอภิปรายผล	67
ข้อเสนอแนะ	69
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก	74

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ลักษณะของ เครื่องชั่งที่มีจุดหมุนอยู่ตรงกลาง	4
2 ลักษณะเครื่องชั่งที่มีจุดหมุนไม่อยู่ตรงกลาง	5
3 ลักษณะเครื่องชั่งแบบ 2 แขน	11
4 แสดงลักษณะเครื่องชั่งที่ทำงานโดยอาศัยแรงสปริง	12
5 แสดงลักษณะเครื่องชั่งแบบสปริง	13
6 รูปร่างและส่วนประกอบของ เครื่องชั่งแบบใส่มวลคานบน	15
7 แสดงลักษณะของระบบเครื่องชั่งแม่เหล็กไฟฟ้า	16
8 แสดงลักษณะของ เครื่องชั่งแบบอุตสาหกรรมไมโครที่ใช้แรงบิด	17
9 แสดงหลักการของเครื่องชั่งไมโครแบบ 2 แขน ของซีไออีเล็กทรอนิกส์	19
10 โครงสร้างและการทำงานของโพโตเซลล์	20
11 แสดงวงจรสมบูรณ์ของโพโตเซลล์	22
12 กราฟแสดงการทดลองของแรงดันไฟฟ้าขณะที่คุณภูมิเพิ่มขึ้น	25
13 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าขณะที่คุณภูมิเพิ่มขึ้น	25
14 แผนภูมิแสดงหลักการสร้าง เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี	29
15 แผนภูมิแสดงการออกแบบวงจรไฟฟ้าควยเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ..	30
16 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 5 โวลต์	31
17 วงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเชียล	32
18 วงจรคิิจิตัลโวลท์มิเตอร์	33
19 แสดงส่วนประกอบคานล่างของ เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง ...	37
20 แสดงส่วนประกอบส่วนเบนของ เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี	38

21	แสดงส่วนประกอบคานหักของเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี	39
22	แสดงส่วนที่เป็นวงจรดิจิทัลโวลท์มิเตอร์ในเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ..	40
23	แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของวงจรและองค์ประกอบอื่น ๆ ของเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี	41
24	แสดงลักษณะส่วนรวมของเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี	42
25	แสดงองค์ประกอบของส่วนที่เป็นแขนและส่วนที่เป็นสนามแม่เหล็กของ เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี	43
26	แสดงลักษณะแผนวงจรพิมพ์ของวงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 5 โวลท์ ที่ใช้ในเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี คานบน	44
27	แสดงลักษณะแผนวงจรพิมพ์ของวงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 5 โวลท์ ที่ใช้ในเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี คานล่าง	44
28	แสดงลักษณะแผนวงจรพิมพ์ของวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์ เรนเซียล ที่ใช้ในเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี คานบน	45
29	แสดงลักษณะแผนวงจรพิมพ์ของวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์ เรนเซียล ที่ใช้ในเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี คานล่าง	45
30	แสดงลักษณะแผนวงจรพิมพ์ของวงจรดิจิทัลโวลท์มิเตอร์ ที่ใช้ในเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี คานบน	46
31	แสดงลักษณะแผนวงจรพิมพ์ของวงจรดิจิทัลโวลท์มิเตอร์ ที่ใช้ในเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี คานล่าง	46
32	กราฟแสดงมวลที่ชั่งด้วยเครื่องชั่งมาตรฐานและเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี	55
33	กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการชั่งด้วยเครื่องชั่งมาตรฐาน และเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี	58

ภาพประกอบ

หน้า

34	กราฟแสดงมวลที่ขังด้วยเครื่องขังมาตรฐาน และเครื่องขังแบบ คีอีเอ็มบี ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสงบางจุด	62
35	กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการขังด้วยเครื่องขังมาตรฐาน และเครื่องขังแบบ คีอีเอ็มบี ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสงบางจุด	65

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี เพื่อหาความแม่นยำในการชั่งด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	51
2	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการชั่ง เปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างขึ้น	53
3	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งมาตรฐาน และเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด	56
4	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี เพื่อหาความแม่นยำในการชั่งด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในตำแหน่งที่โฟโต เซลล์รับแสงบางจุด	59
5	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการชั่ง เปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างในตำแหน่งที่โฟโต เซลล์รับแสงบางจุด	61
6	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งมาตรฐาน และเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดในตำแหน่งที่โฟโต เซลล์รับแสงบางจุด	63

ภูมิหลัง

ในการศึกษาปริมาณวิเคราะห์ทางเคมี มุ่งที่จะศึกษาปริมาณของสารที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ เพื่อใช้ทำนายสิ่งต่าง ๆ (Skog and West. 1982 : 1) ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณมีส่วนเกี่ยวข้องกับการหาค่าหนักสาร อันเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ทราบสมบัติเชิงมวลของสาร (Hirsch. 1967 : A1023) เครื่องชั่งเป็นอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งในการหามวลของสาร ซึ่งในการวิเคราะห์ทางเคมีจะต้องใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดในการชั่งมาก (Erdem. 1982 : 857) เครื่องชั่งจากพวกนี้ ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้าที่มีความละเอียดสูง เช่น ชั่งมวลไค 10^{-4} - 10^{-6} กรัม ซึ่งเราเรียกว่า ไมโครฟอร์ส บาลานซ์ (Micro-force Balance) ในห้องปฏิบัติการทางเคมีทั่วไปจำเป็นต้องมีเครื่องชั่งดังกล่าวนี้อยู่ประจำในห้องปฏิบัติการ เกือบมากเป็นชนิดที่ใช้การอ่านค่าผลการชั่งมวลจากขีดมาตรา ซึ่งบางครั้งการตัดสินใจในการอ่านค่ามวลของผู้ชั่งภายใต้เงื่อนตาและภาวะเกี่ยวกับอาจไม่เหมือนกัน ทำให้ได้ผลการชั่งมวลแตกต่างกันไปบ้าง ซึ่งนับไควว่าเป็นตัวแปรที่ทำให้ผลการทดลองผิดพลาดจากข้อเท็จจริงที่ไม่สามารถควบคุมได้ (กรพบวิทยาสาสตร์บริการ 2528 : 2) ปัญหาเช่นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้เครื่องชั่งชนิดที่แสดงผลเป็นตัวเลขที่เรียกว่า เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบไมโครฟอร์สระบบดิจิทัล หรือ คีอีเอ็มบี (Digital Electronic Micro-force Balance, DEMB)

แม้ว่าสถาบันการศึกษาในระดับอุดมศึกษาบางแห่ง จะมีเครื่องชั่งชนิด คีอีเอ็มบี ใช้แจ้กตาม แก่สถาบันอุคบศึกษาอีกหลายแห่ง และโรงเรียนในระดับมัธยมศึกษายังมีเครื่องชั่งชนิดดังกล่าวในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง กรณีเช่นนี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ราคาถูกที่ผลิตขึ้นหรือมีจำหน่ายภายในประเทศ มาดัดแปลงและสร้างเครื่องชั่งชนิด คีอีเอ็มบี ขึ้นใช้ภายในประเทศ ซึ่งเป็นการเสริมประโยชน์ต่อนโยบายเกี่ยวกับการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศด้วย

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์ได้พัฒนาขึ้นมา มีการสร้างวงจรรสำเร็จรูปที่มีขนาดกระทัดรัด ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์จากวารสารถึงตัวนาอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะวงจรรสำเร็จรูปที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ที่อ่านค่าเป็นตัวเลข ซึ่งมีการผลิตและสั่งเข้ามาจำหน่ายในประเทศเป็นเวลานานมาก หาซื้อง่ายและราคาไม่แพงนัก เช่น วงจรตรรก และวงจรรอพแอมป์ เป็นต้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้างเครื่องชั่งไฟฟ้าที่มีความละเอียด และประยุกต์วงจรรสำเร็จรูปที่ใช้อ่านค่าเป็นตัวเลขได้เข้าด้วยกัน เพื่อสร้างเครื่องชั่งแบบ คีลีสเอ็มพี ขึ้น ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อนานาใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา ตลอดจนนำไปงานวิเคราะห์และการวิจัยทางเคมีระดับสูง

ความมุ่งหมายของการศึกษาก่อนหน้า

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องชั่งที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งมวลไคละเอียดยถึง 0.0001 กรัม และแสดงผลการชั่งออกมาเป็นตัวเลขในระบบดิจิทัล
2. เพื่อหาความแน่นอนของเครื่องชั่งที่สร้างขึ้น โดยเปรียบเทียบกับเครื่องชั่งมาตรฐาน ที่ผลิตจากต่างประเทศ ดังนี้
 - 2.1 เปรียบเทียบความไวของเครื่องชั่ง (Sensitivity)
 - 2.2 เปรียบเทียบความแม่นยำในการอ่านค่ามวล (Repeatability)
 - 2.3 เปรียบเทียบความละเอียดในการชั่ง (Accuracy)

ความสำคัญของการศึกษาก่อนหน้า

1. ก่อให้เกิดความรู้และเทคนิคการออกแบบและสร้างเครื่องชั่งแบบดิจิทัลราคาถูกลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการประดิษฐ์เครื่องชั่งใช้เองในประเทศไทย
2. เครื่องชั่งดังกล่าวจะเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือดูดซับ (Adsorption Apparatus) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาโครงสร้างทางพื้นผิวและสภาพความพรุนของหินน้ำมันที่พบในประเทศไทย

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. การออกแบบและสร้าง เครื่องชั่งที่อ่านค่าเป็นตัวเลขได้แบบ คีอี่เอ็มมี โดยใช้วัสดุในการสร้างเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย
2. การปรับแต่ง เครื่องมือ ให้มีความละเอียดในการชั่ง โดยอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม
3. หากความแม่นยำของ เครื่องชั่ง โดยการชั่ง เปรียบเทียบกับมวลมาตรฐาน

นิยามศัพท์เฉพาะ

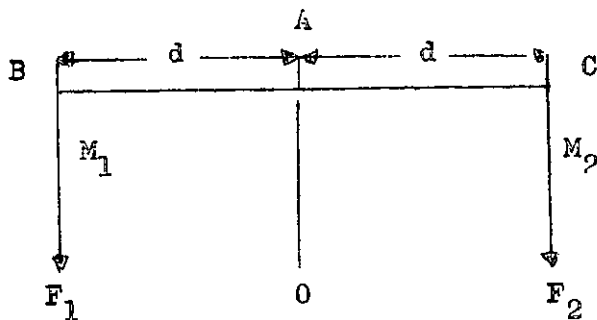
1. โฟโตเซล (Photocell) หมายถึง โฟโตโวลเทอิกเซล (Photovoltaic Cell) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (มนตรี แยมวงษ์ 2526 : 31 - 39)
2. ชัตเตอร์ (Shutter) หมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นให้มีลักษณะเคลื่อนที่ปิดหรือเปิด เพื่อที่จะบังแสงได้ (Dictionary of Scientific and Technical Terms. 1984 : 1470)
3. แรพ (Ramp) หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นการเจ็บและลดสลับกันไปอย่างต่อเนื่อง ลักษณะรูปคลื่นเป็นแบบฟันเลื่อย
4. ความไวของ เครื่องชั่ง (Sensitivity) หมายถึง ความสามารถของ เครื่องชั่งในการตอบสนองต่อน้ำหนักของมวลที่ชั่ง ซึ่งหาได้จากผลของมวลที่เปลี่ยนแปลงกับการเปลี่ยนแปลงมาตราของ เครื่องชั่ง (Note on Testing Laboratory Balance. 1976 : 1)
5. ความแม่นยำในการอ่านค่ามวล (Repeatability) หมายถึง ค่าของตัวเลขที่บอกความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการอ่านค่ามวลซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง (Note on Testing Laboratory Balance. 1976 : 2)

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ทฤษฎีของเครื่องชั่ง (Balance Theory)

เครื่องชั่งแบบวีเกราะทจะมีส่วนค้ำจุนแขนเครื่องชั่งอยู่ตรงกลาง เป็นลักษณะจุดหมุนของคาน α จุดนี้จะต้องทำให้ปราศจากแรงเสียดทานที่ตรงปลายแขนแขวนค้ำจุน และน้ำหนักถ่วงทั้งสองข้าง ลักษณะของแขนจะต้องอยู่ในระนาบกับเส้น แขนของเครื่องชั่งมีลักษณะการเกิดการเคลื่อนไหวแบบคัมพนาทิกา ตรงจุดกลางหมุนได้และต้องเป็นตำแหน่งที่เป็นจุดศูนย์กลางพหุคือ ระยะระหว่างส่วนกลางของแขนกับน้ำหนักทั้งสองข้าง เป็นส่วนที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของแขนเครื่องชั่งมาก หลักการทั่วไปของเครื่องชั่งเหมือนกับหลักการของคาน คังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ลักษณะของเครื่องชั่งที่มีจุดหมุนอยู่ตรงกลาง

ในลักษณะของคานโตสม่ำเสมอที่มีจุดหมุนอยู่ตรงกลาง ระยะของปลายของคานทั้งสองห่างจากจุดหมุน (A) เท่ากัน นั่นคือ แรงที่ปลายทั้งสองข้าง (F_1 และ F_2) จะมีค่าเท่ากัน จะได้ค่าโมเมนต์ทั้งสองข้างเท่ากัน ดังนี้ (Basset and others. 1982 : 34)

$$F_1 d = F_2 d \quad (1)$$

แต่ $F_1 = M_1 g \quad (2)$

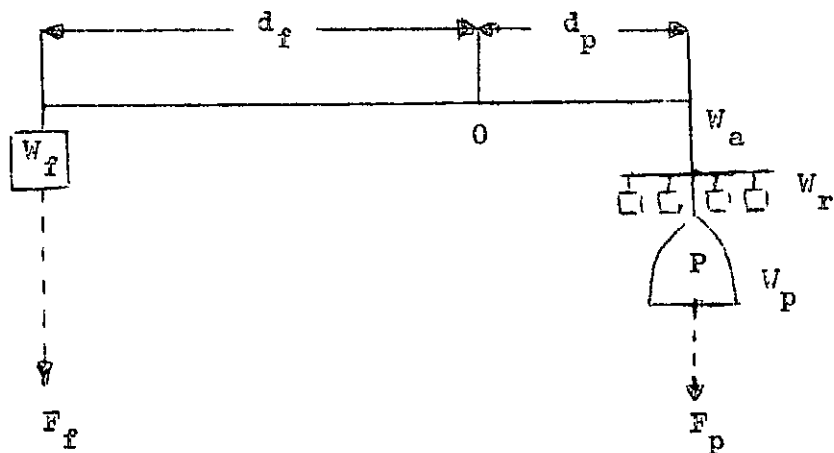
และ $F_2 = M_2 g \quad (3)$

เมื่อ M_1 และ M_2 เป็นมวลที่ปลายกานทั้งสองข้าง และ g เป็นค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง จากสมการ (1) จะเขียนได้เป็น

$$M_1 g d = M_2 g d \quad (4)$$

ฉะนั้นจะได้ $M_1 = M_2 \quad (5)$

จากหลักการนี้เป็นหลักการเปรียบเทียบมวลที่ทราบค่ากับมวลที่นำมาชั่งในเครื่องชั่ง 2 แขน ถ้าเป็นกรณีที่มีจุดหมุนไม่ได้อยู่ตรงกลาง ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ลักษณะเครื่องชั่งที่มีจุดหมุนไม่อยู่ตรงกลาง

ให้ W_f เป็นน้ำหนักที่คงที่

W_r เป็นน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงค่าได้

d_f เป็นความยาวของแขนทางแรงรับ W_f

d_p เป็นความยาวของแขนทางแรงรับ $W_a + W_r + W_p$

- O เป็นจุดหมุน
 P เป็นจาน
 w_a เป็นน้ำหนักของแขนทาง w_r
 w_p เป็นน้ำหนักของจานและส่วนที่แขวนจาน

จากภาพจะได้ใบสมการ

$$w_f d_f = (w_a + w_p + w_r) d_p \quad (6)$$

ลักษณะเช่นนี้จะมีมวลคงที่อยู่คานหนึ่งจึงใช้เป็นหลักการของเครื่องชั่งสองแขนที่มีความยาวของแขนไปเท่ากันหรือเครื่องชั่งแบบแขนเดี่ยว (Single-pan Balance)

ประเภทของเครื่องชั่งวิเคราะห์

เครื่องชั่งที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์มีหลายชนิด จำแนกตามความสามารถในการชั่งมวลได้ดังนี้ (Hirsch. 1967 : A1023, Basset and others. 1982 : 60)

1. เครื่องชั่งขนาดใหญ่ (Oversize Balance) เป็นเครื่องชั่งขนาดใหญ่ที่สามารถในการชั่งได้สูงสุด 2000 กรัม มีความละเอียดในการอ่านค่ามวล 5 มิลลิกรัม
2. เครื่องชั่งแบบธรรมดา (Ordinary Balance) เครื่องชั่งชนิดนี้สามารถชั่งได้สูงสุด 200 กรัม ช่วงมวลที่ชั่งได้ดีที่สุดเป็นช่วงมวลระหว่าง 150 - 200 กรัม มีความละเอียดในการอ่านค่ามวล 0.1 มิลลิกรัม
3. เครื่องชั่งแบบเซมิไมโคร (Semi-microbalance) เป็นเครื่องชั่งที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทั่วไปที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก ชั่งมวลได้สูงสุด 100 กรัม มีความละเอียดในการชั่ง 0.01 มิลลิกรัม ช่วงมวลที่ชั่งได้ดีที่สุดอยู่ระหว่าง 15 - 100 กรัม
4. เครื่องชั่งแบบไมโคร (Microbalance) เป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียดมาก ใช้ในงานวิเคราะห์ขั้นสูงที่ต้องใช้ในการหาปริมาณที่แน่นอนและถูกต้อง สามารถชั่งได้สูงสุด 20 กรัม ช่วงมวลที่ชั่งได้ดีที่สุดเป็นช่วงมวลระหว่าง 1 - 20 กรัม มีความละเอียดในการชั่ง 0.01 มิลลิกรัม (1 ไมโครกรัม)

5. เครื่องชั่งแบบอุลตราไมโคร (Ultramicrobalance) เป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียดในการชั่งมาก ใช้ในงานวิเคราะห์เฉพาะช่วง มีความสามารถในการชั่งได้สูงสุด 0.025 กรัม มีความละเอียดในการชั่งมวลได้ละเอียดถึง 2×10^{-8} กรัม

ถ้าพิจารณาเครื่องชั่งแต่ละประเภทดังกล่าวแล้ว จะเห็นว่า เครื่องชั่งแต่ละชนิดมีขีดจำกัดในการชั่ง ไม่มีเครื่องชั่งชนิดใดใช้งานได้กว้างขวางทุกช่วงมวล การนำเครื่องชั่งมาใช้จึงขึ้นอยู่กับการศึกษาของผู้ทำการวิเคราะห์หรือผู้ทดลองว่า จะใช้เครื่องชั่งชนิดใดในงานที่งานนั้น โดยต้องพิจารณาความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของเครื่องชั่งที่จะใช้กับงานที่ทำการวิเคราะห์

ส่วนประกอบของเครื่องชั่ง

เครื่องชั่งวิเคราะห์จะมีรูปร่างในลักษณะใดขึ้นอยู่กับ การออกแบบและความเหมาะสมของการใช้งาน อย่างไรก็ตามจะมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญมีดังนี้

1. แขน (Beam) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องชั่ง แขนของเครื่องชั่งที่ติดตั้งมีขนาดเท่ากันเสมอ มีความยาวพอเหมาะ (Skooog and West. 1982 : 699) มีมวลน้อย และเป็นส่วนเดียวกันโดยตลอด

2. จาน (Pan) จานใส่มวลจะต้องแข็งแรงสามารถทนกับมวลได้เกินความสามารถของเครื่องชั่ง จานที่ดีต้องมีลักษณะแบนราบ ไม่หมุนขณะชั่ง วัสดุที่ใช้จะต้องเป็นวัสดุที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กและไม่ถูกร่อนง่าย

3. ใบมีด (Knife Edge) ใบมีดหรือส่วนรองรับแขนต้องอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้แขนของเครื่องชั่งอยู่ในระนาบเดียวกับพื้นโลก และเป็นส่วนที่ไม่มีแรงเสียดทาน หรือความผิดขณะมีการหมุนของแขนเครื่องชั่ง

4. ฝาเรือนของเครื่องชั่ง (Balance Case) ฝาเรือนของเครื่องชั่งคือที่บรรจุส่วนต่าง ๆ ของเครื่องชั่ง อาจมีรูปทรงใดก็ได้แล้วแต่จะออกแบบเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน นอกจากนั้นแล้วฝาเรือนของเครื่องชั่งยังประกอบด้วยส่วนที่เปิด - ปิดได้ เพื่อนำวัตถุเข้าไปชั่ง การเปิดต้องสะดวกและการปิดต้องสนิท สามารถป้องกันฝุ่นละอองซึ่งจะ

มีผลต่อการชั่ง ตัวเรือนของเครื่องชั่งจะต้องสามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกเครื่องชั่งเข้ามารบกวน โดยเฉพาะเครื่องชั่งแบบไมโคร (Balance, Weights and Precise Laboratory Weighing. 1960 : 19) วัสดุที่ใช้ทำเป็นฐานของตัวเรือน จะต้องหนักตรึงตัวเรือนเครื่องชั่งให้อยู่กับที่อย่างมั่นคงและสามารถเคลื่อนย้ายได้

5. คุณสมบัติ (Weights) คุณสมบัติเป็นส่วนหนึ่งของส่วนประกอบของเครื่องชั่ง เนื่องจากเครื่องชั่งทุกเครื่องจะต้องมีการ เบี่ยงเบนของการวางของแขนไปจากเดิม จึงต้องมีการสอบเทียบมวล จากตุ้มน้ำหนักมาตรฐานอยู่เสมอ คุณสมบัติที่ดีจะต้องทำด้วยวัสดุที่ไม่เกิดการสึกกร่อน และไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับอากาศ โลหะที่เหมาะสมจะทำเป็นตุ้มน้ำหนักที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปมีดังนี้ (Balance, Weights and Precise Laboratory Weighing. 1960 : 31)

5.1 ในกรณีที่ตุ้มน้ำหนักมีค่าน้อย (Small Weights) เพียง 0.5 กรัม อาจใช้

5.1.1 แพลตินัม หรือ แพลตินัม อิริเดียม (Platinum or Platinum Iridium)

5.1.2 โลหะอัลลอยด์ของทอง (Gold Alloy)

5.1.3 ออสเทนนิติก (Austenitic : 25 % Cr 20 % Ni Stainless Steel)

5.1.4 แทนทาลัม (Tantalum)

5.2 ในกรณีที่ตุ้มน้ำหนักมีค่ามาก (Large Weights) อาจใช้

5.2.1 ออสเทนนิติก (Austenitic)

5.2.2 โลหะผสมระหว่างนิกเกิลกับโครเมียม (80 % Ni 20 % Cr)

ตุ้มน้ำหนักดังกล่าวมาแล้วจะต้องมีรูปแบบที่ง่ายต่อการใช้ และเก็บในภาชนะที่ปราศจากความชื้น

การสอบเทียบเครื่องชั่ง

การสอบเทียบเครื่องชั่งมี 3 วิธี (Vogel. 1971 : 142) คือ

1. การสอบเทียบโดยตรงกับมวลมาตรฐาน (Direct Weighing) เป็นวิธีสอบเทียบโดยนามวลมาตรฐานดวงไวข้างหนึ่งของแขนเครื่องชั่ง แล้วใส่มวลที่เท่ากันไว้ อีกด้านหนึ่งของแขนเครื่องชั่ง แล้วทดสอบการเข้าสู่สมดุลของแขนเครื่องชั่ง วิธีนี้เหมาะสำหรับเครื่องชั่งที่มีความยาวของแขนจากจุดหมุนทั้งสองข้าง เท่ากัน แต่มีข้อผิดพลาดมากในการทดสอบ เนื่องจากเครื่องมือโดยทั่วไปแม้กระทั่งเครื่องชั่ง 2 แขนทั่ว ๆ ไปก็ยังไม่อาจกล่าวได้ว่า แขนทั้งสองข้างเท่ากันจริง ๆ ต้องใช้วิธีสอบเทียบวิธีอื่นเข้าช่วย
2. การสอบเทียบโดยการใช้การแทนที่ (Substitution Method) วิธีนี้เหมาะสำหรับเครื่องชั่งที่มีแขนที่ไม่เท่ากัน (Brown and Sally. 1964 : 661) ในการสอบเทียบมวลวิธีนี้ จะต้องใช้มวลมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน อาจเป็นแก้วหรือหลายตัวซึ่งในเครื่องชั่งที่ต้องการทดสอบแล้วหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการชั่งเครื่องมือออกมา เพื่อหาความผิดพลาดของเครื่องชั่งที่ต้องการ หรือแก้ไขความคลาดเคลื่อนให้ถูกต้อง
3. การสอบเทียบโดยวิธีการสลับจานที่ใส่มวล (Double-Double Weighing or Double-interchange Weighing) วิธีนี้เหมาะสำหรับเครื่องชั่ง 2 จาน ที่มีความละเอียดมากโดยการชั่งมวลที่ทราบค่าแล้วในจานด้านใดด้านหนึ่ง แล้วสลับจานที่ใส่โดยใช้มวลเดิมชั่ง แล้วหาค่าที่ชั่งได้ในแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบมวลที่แท้จริงจากสูตรโดยให้

A = มวลมาตรฐาน

B = มวลที่ต้องการหา

W = มวลของตัวมาตรฐานอีกตัวหนึ่งที่มีค่าน้อย ๆ

จะได้ผลการชั่ง ดังนี้ (Hurst and Belliss. 1982 : 20 - 22)

แขนซ้ายของเครื่องชั่ง	แขนขวาของเครื่องชั่ง	น้ำหนักที่อ่านได้
$A + W$	B	R_1
$B + W$	A	R_2
B	$A + W$	R_3
A	$B + W$	R_4

$$A - B = W \left(\frac{R_1 - R_2 - R_3 + R_4}{R_1 + R_2 - R_3 - R_4} \right) \quad (7)$$

เมื่อได้ค่า $A - B$ ก็จะได้น้ำหนักของ B เป็น

$$B = (A - B) + B \quad (8)$$

วิธีนี้เป็นวิธีเทียบมวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานกับตุ้มน้ำหนักที่สร้างขึ้น เพื่อหามวลที่แท้จริงของตุ้มน้ำหนักที่สร้างขึ้นใหม่ หรือใช้สอบเทียบกับเครื่องชั่ง 2 แขน ที่มีส่วนที่ยกค่ามาตราในการชั่งได้ทั้งสองข้าง ซึ่งเป็นการจัดการผิดพลาด เนื่องจากการไม่เท่ากันของงานของเครื่องชั่ง

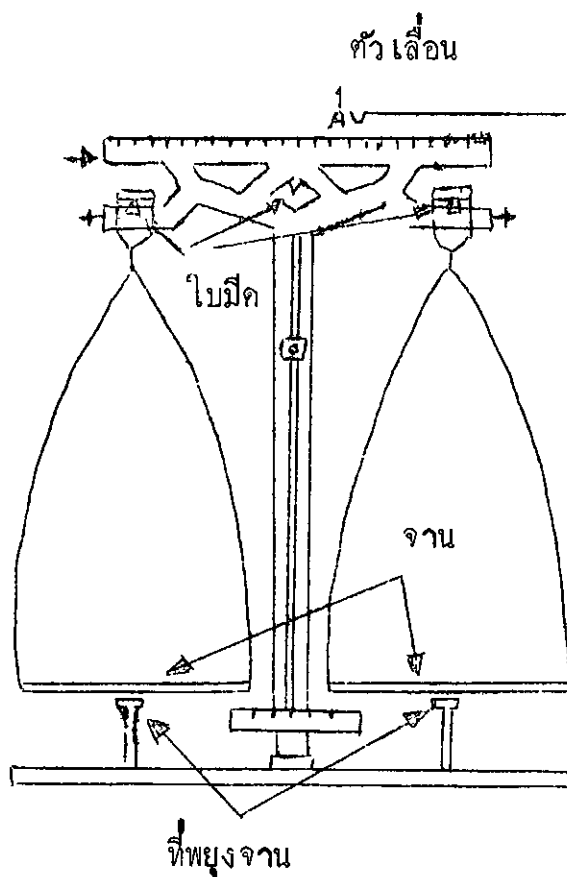
ชนิดของเครื่องชั่ง

โดยทั่วไปเครื่องชั่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องชั่งกล (Mechanical Balance) และเครื่องชั่งไฟฟ้า (Electrical Balance) แต่การสร้างเครื่องชั่งในปัจจุบันมักจะนำทั้งสองส่วนนี้เข้าไว้ด้วยกัน จึงจาแนกประเภทใหม่ตามลักษณะของการสร้างและการใช้งานได้ดังนี้

1. เครื่องชั่งแบบ 2 แขนเท่ากัน (Equal Arm Balance)

เครื่องชั่งแบบ 2 แขนเท่ากัน เป็นเครื่องชั่งที่นิยมใช้กันมาก ลักษณะของแขนอยู่ในลักษณะขนานกับพื้นราบ โดยมีจุดหมุนไว้ตรงกลางมีน้ำหนักถ่วงที่แขนทั้งสองข้าง การออกแบบและสร้างเครื่องชั่งชนิดนี้จะต้องมีความพิถีพิถันมาก เพื่อป้องกันข้อบกพร่อง ส่วนที่พียงแขนอาจเป็นลักษณะใบมีดบาง ๆ ที่ทำจากควอทซ์หรือลวดที่แขวนอยู่ก็ได้

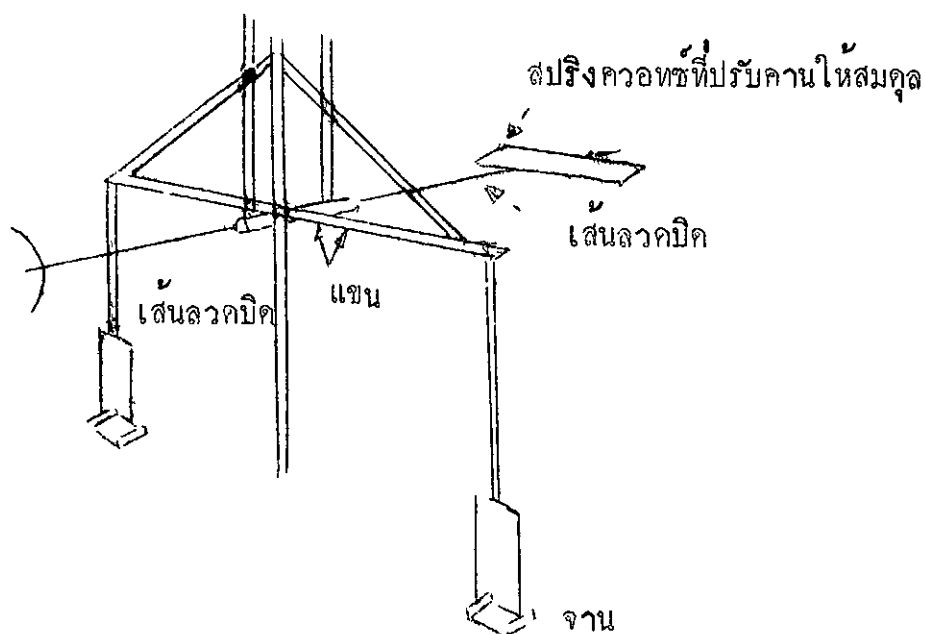
ปลายแขนประกอบควยจานทั้ง 2 ข้างที่เท่ากัน และตัวเลื่อน (Rider) ที่มีค่าถ่วงมวลน้อย ๆ ตั้งแต่ 0.001 กรัม ถึง 0.01 กรัม (The Illustrated Science and Invention Encyclopedia. 1977 : 222) เครื่องชั่งชนิดนี้ มีทั้งใช้แล-ไปใช้ระบบไฟฟ้า เช่น เครื่องชั่งทอง เครื่องชั่งสองจาน เครื่องชั่งแบบไมโคร และเครื่องชั่งแบบแรงบิด เป็นต้น ลักษณะของเครื่องชั่ง 2 แขน แสดงไว้ในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงลักษณะเครื่องชั่งแบบ 2 แขน

2. เครื่องชั่งที่ทำงานโดยใช้แรงบิด (Torsion Balance)

เป็นเครื่องชั่งที่ทำงานโดยอาศัยแรงบิดของลวดที่แขวนลอย เป็นเครื่องชั่ง 2 แขนชนิดหนึ่ง ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงลักษณะของ เครื่องชั่งที่ทำงานโดยอาศัยแรงบิด

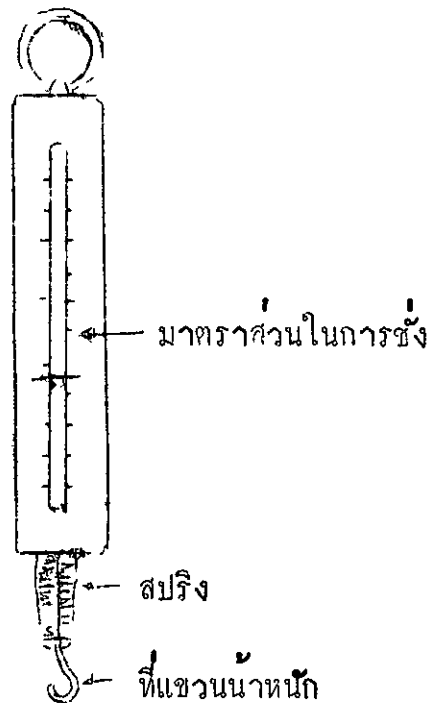
ถ้าให้ L และ r เป็นความยาวและรัศมีของลวดที่แขวนลอย ซึ่งมีจุดกึ่งกลางของแขนอยู่ที่ลวด น้ำหนักที่ใส่ทำให้เกิดทอร์ก (\mathcal{T}) ให้เส้นลวดบิดไปเป็นมุม θ ดังสมการ (9)

$$\theta ; = \frac{kL\mathcal{T}}{r^4} \quad (9)$$

เมื่อให้ k เป็นค่าคงที่ของแรงของลวดที่หาเป็นส่วนแขวนลอย มุมที่ได้แสดงถึงมวลของสาร เครื่องชั่งแบบนี้ใช้ในการชั่งสารที่มีมวลน้อย ๆ

3. เครื่องชั่งแบบสปริง (Spring Balance)

เครื่องชั่งชนิดนี้สร้างโดย แมคเบน และ บาร์ค (Mcbeain and Bark) ในปี ค.ศ. 1926 นิยบใช้กันแพร่หลายในงานต่าง ๆ และงานของเครื่องมือวัดการดูดซับ (Adsorption Apparatus) ส่วนประกอบสำคัญประกอบด้วยเกลียวสปริง ขดอยู่ตอกับจานใส่มวล ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะของ เครื่องชั่งแบบสปริง

การชั่งมวล ใช้สังเกตการยืดของสปริง เปรียบเทียบกับมวลที่ถ่วง ซึ่งถ้าใช้วัตถุพวกซิลิกาเป็นสปริง จะได้อความสัมพันธ์ของการยืดของสปริง (Y) กับน้ำหนักถ่วง (m)

ดังสมการ (Gregg and Sing. 1969 : 336)

$$Y = \frac{2lr^2m}{\pi za^4} \quad (10)$$

เมื่อ l และ a เป็นความยาวและรัศมีของสปริง

m เป็นมวลของวัตถุที่ถ่วง

r เป็นรัศมีของขดสปริง

Y เป็นการยืดของสปริง

z เป็นผลคูณของการบิดของสปริงซิลิกา

ถ้าในการชั่ง คิคมวลของสปริงเข้าไปในสมการ จะได้สมการเป็น

$$Y = \frac{2lr^2m}{\pi za^4} + \frac{r^2 \rho l^2}{\pi za^4} \quad (11)$$

เมื่อ ρ เป็นความหนาแน่นของซิลิกา

จะได้การยืด ณ สภาวะที่ไม่มีมวลถ่วง (Y_0)

$$Y_0 = \frac{r^2 \rho l^2}{\pi za^4} \quad (12)$$

ดังนั้นจะได้ความไวของการยืดต่อมวลที่ถ่วง (K) เป็น

$$K = \frac{Y - Y_0}{m} = \frac{2r^2 l}{\pi za^4} \quad (13)$$

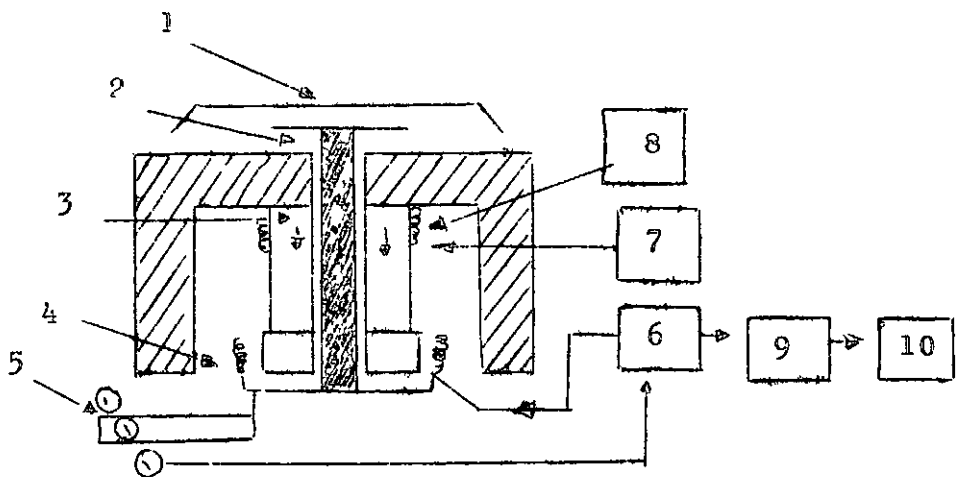
ถ้าแทนค่า l ด้วย $2 \pi rn$ เมื่อ n เป็นจำนวนรอบของสปริง จะได้สมการเป็น

$$K = \frac{4r^3 n}{za^4} \quad (14)$$

ในทางการค้า เครื่องชั่งชนิดนี้มีความสามารถสูงสุดในการชั่ง 1 กรัม มีความไวประมาณ 1 มิลลิเมตร ต่อมวล 1 มิลลิกรัม และสปริงที่ใช้ นอกจากใช้พวกซิลิกาแล้ว อาจใช้แก้วไพเร็กซ์ (Pyrex Glass) ในกรณีที่ทำกรชั่งที่อุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส และถ้าใช้ความยาวของสปริงมาก ๆ จะเป็นเครื่องชั่งที่ไ้ความละเอียดมากเท่ากับเครื่องชั่งแบบอุตสาหกรรมไมโครได้

4. เครื่องชั่งแบบวางมวลด้านบน (Top Loading Balance)

เครื่องชั่งแบบวางมวลด้านบน เป็นเครื่องชั่งที่ใช้งานได้รวดเร็ว มีความละเอียดไม่มากนัก ความละเอียดอยู่ระหว่างเครื่องชั่ง 2 แขน และเครื่องชั่งวิเคราะห์ธรรมดา ความสามารถในการชั่งสูงสุดแตกต่างกันออกไป แล้วแต่ลักษณะการสร้าง อาจมีขนาด 1 กิโลกรัม 7 กิโลกรัม 30 กิโลกรัม หรืออาจสามารถชั่งได้สูงสุดเพียง 150 - 200 กรัม ในกรณีที่เป็นเครื่องชั่งแบบไฟฟ้า ความละเอียดของเครื่องชั่งชนิดนี้มีต่างกัน อาจเป็น 0.1 กรัม ถึง 0.001 กรัม (Basset and others. 1982 : 38) เครื่องชั่งแบบนี้ ปัจจุบันก็มีใช้แต่เป็นเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์แบบใช้ตัวการเป็นแม่เหล็กเข้าช่วย มีความละเอียดมาก ซึ่งมีลักษณะของรูปแบบและการชั่งดังนี้ (Harris and Kratochvil. 1982 : 23)

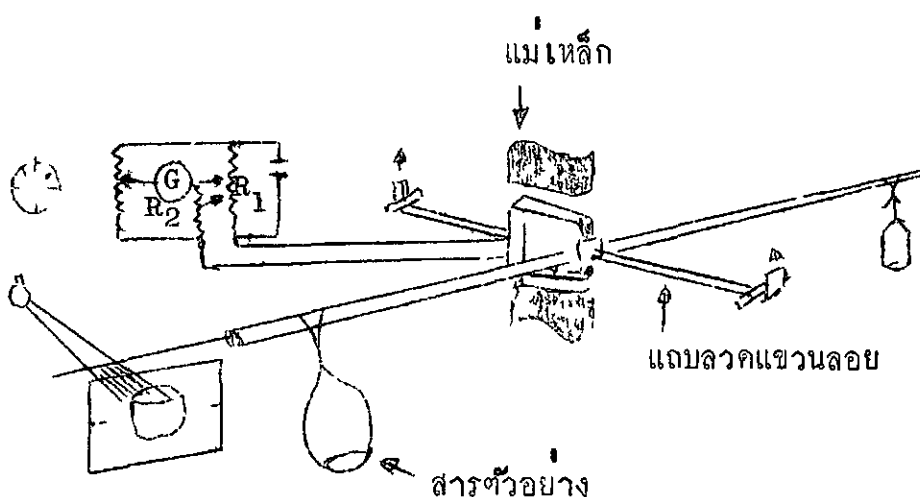


- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. จานวางมวล | 6. แหล่งจ่ายไฟ |
| 2. ที่รองรับจาน | 7. ตัวกำเนิดกระแสคงที่ |
| 3. แม่เหล็ก | 8. ตัวควบคุมอุณหภูมิ |
| 4. ขดลวด | 9. ปุ่มหาค่ามวลละเอียด |
| 5. ส่วนสะท้อนแสงที่ใช้ในการดูค่ามวล | 10. ภาคนำแสดงผล เป็นดิจิทัล |

ภาพประกอบ 6 รูปร่างและส่วนประกอบของเครื่องชั่งแบบใส่มวลด้านบน

5. เครื่องชั่งแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Balance)

เครื่องชั่งแบบแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้ลักษณะแบบเครื่องชั่ง 2 แขน โดยทำให้แขนอยู่ในแนวระนาบกับพื้น นั่นคือทำให้แขนทั้งสองข้างอยู่ที่จุดสมดุล ข้างหนึ่งของแขนเครื่องชั่ง มีขลวดที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว ให้แรงอยู่ในสนามแม่เหล็กพอดี เมื่อใส่มวลลงไปในด้านตรงข้าม จะเกิดแรงบิดของขลวดในสนามแม่เหล็ก แม่เหล็กดังกล่าวอยู่ด้านบนและด้านล่างของขลวดซึ่งต่อกับแขนของเครื่องชั่ง ขลวดดังกล่าวอยู่ในระบบแขวนลอยบนเส้นลวด กังภาพประกอบ 7 (Ewing. 1976 : A252)



- G คือกัลวาโนมิเตอร์
 R_1 คือโพเทนติโอมิเตอร์
 R_2 คือตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้

ภาพประกอบ 7 แสดงลักษณะของระบบเครื่องชั่งแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อผ่านกระแสเข้าไปในขลวด กระแสดังกล่าวจะเกิดแรงบิดขึ้นให้เข้าจุดสมดุลอีกครั้ง กระแสที่ผ่านเข้าสู่ขลวดเพื่อให้เข้าสู่จุดสมดุล จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลที่วางซึ่งค่ามวลนี้บอกค่าได้โดยเครื่องวัดในโพเทนติโอมิเตอร์

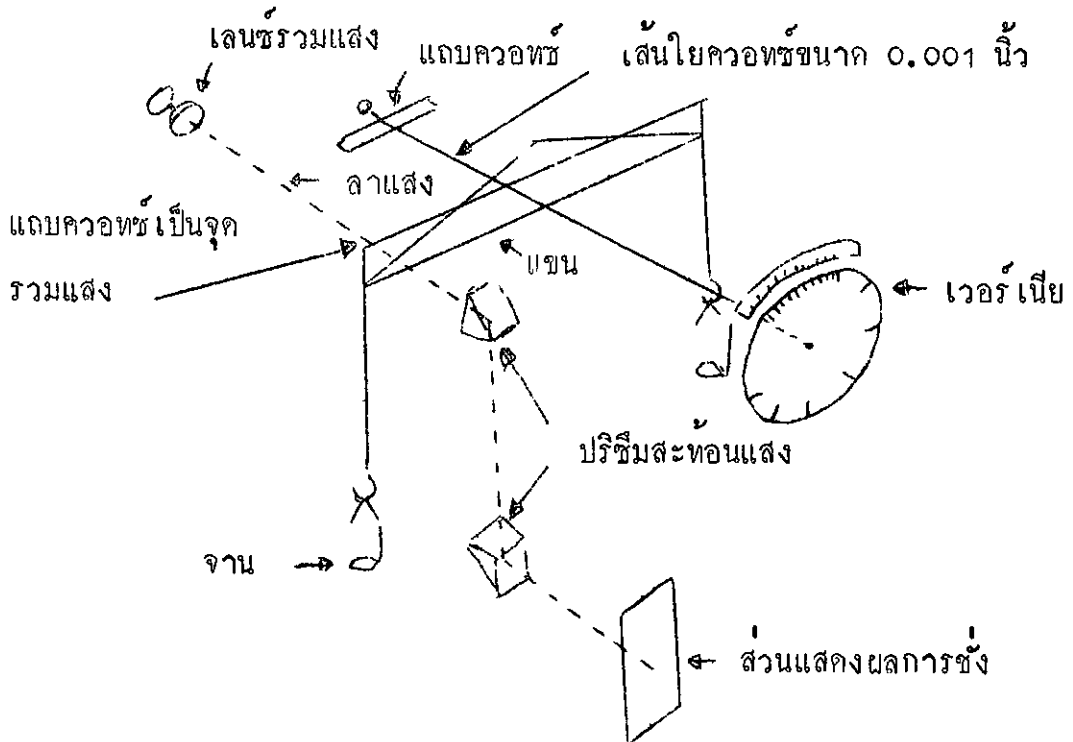
เครื่องชั่งแบบแม่เหล็ก มีความละเอียดในการชั่งจาก ช่วงในการวัดแบ่งเป็น ช่วงมวลหลายช่วง กระบี่จะช่วยในการทำงานของระบบในเครื่องชั่งอยู่ที่แหล่งจ่ายไฟ (Hirsch, 1969 : A7) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในองค์ประกอบของ เครื่องชั่งแบบนี้อย่างมาก คือไฟเลี้ยงกัลวาโนมิเตอร์ที่ใช้ และความละเอียดของตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ ซึ่งใช้ปรับ การเข้าสู่สมดุลของแขน

6. เครื่องชั่งแบบอุลตราไมโคร (Ultramicrobalance)

เป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียดที่สุด มีระบบในการสร้าง 3 แบบ คือ

1. ชั่งแบบเซนเซอร์รวมค่า
2. ชั่งแบบสปริง
3. ชั่งแรงบิด

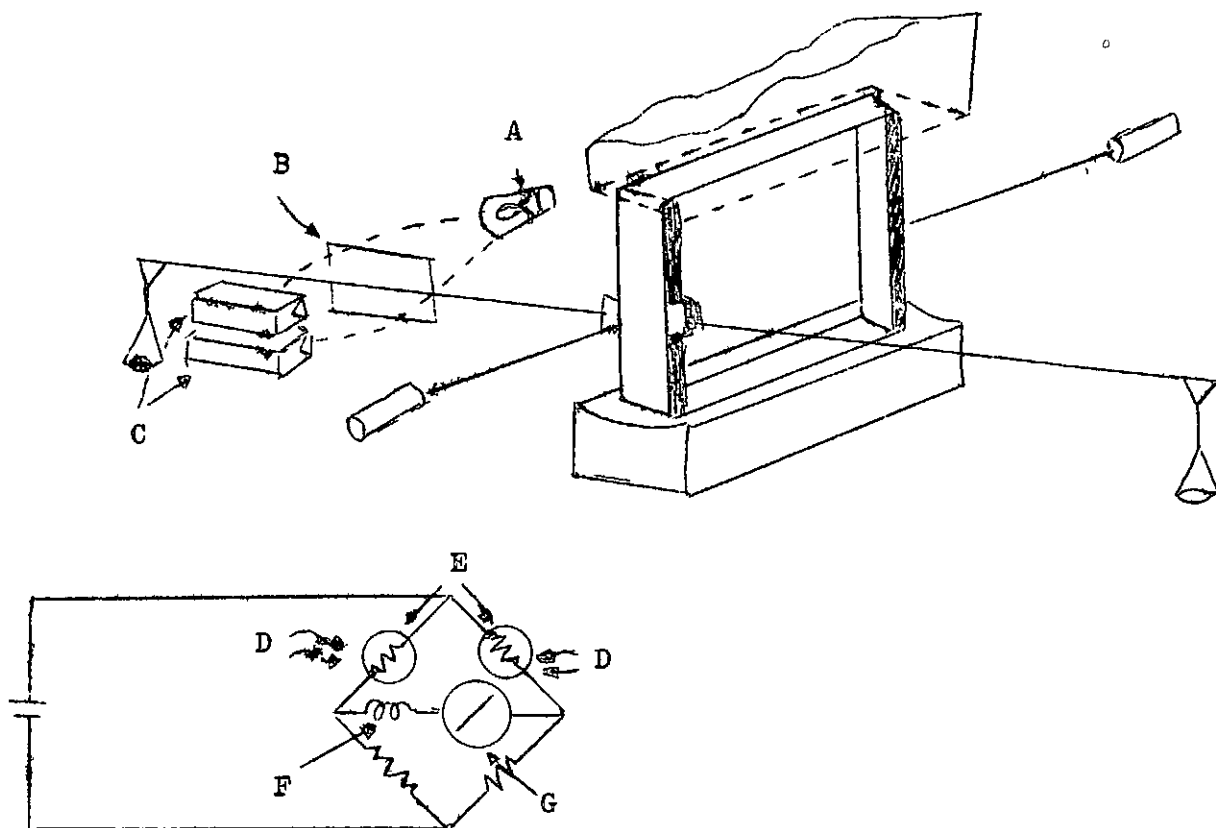
เครื่องชั่งชนิดนี้ บางครั้งมีความละเอียดถึง 2×10^{-8} กรัม ส่วนใหญ่ใช้ การสะท้อนแสงผ่านเวอร์เนีย (Vernier) เป็นตัวบอกมวลของสาร คังภาพประกอบ 8 เครื่องชั่งชนิดนี้มีกวางว่องไวต่อสิ่งรบกวนมาก โดยเฉพาะอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 8 แสดงลักษณะของ เครื่องชั่งแบบอุลตราไมโครที่ใช้แรงบิด

7. เครื่องชั่งแบบไมโคร (Microbalance)

เครื่องชั่งแบบไมโคร เป็นเครื่องชั่งที่ใช้ชั่งในกรณีที่ต้องการทราบค่าน้อย ๆ บางชนิดชั่งได้ละเอียดตั้งแต่ 10^{-4} ถึง 10^{-6} กรัม (Gregg and Sing. 1969 : 329) เช่น เครื่องชั่งไมโครของ ซีไอ อิเล็กทรอนิกส์ ดังภาพประกอบ 9



A คือ แหล่งกำเนิดแสง

B คือ ชัตเตอร์

C คือ โฟโตเซลล์

D คือ แสงที่กระทบโฟโตเซลล์

E คือ โฟโตเซลล์

F คือ ขดลวดที่หมุนได้

G คือ ภาวแสดงผล

ภาพประกอบ 9 แสดงหลักการของเครื่องชั่งไมโครแบบ 2 แขน ของซีไออิเล็กทรอนิกส์

หลักในการสร้าง จะใช้หลักการของเครื่องซึ่งชนิดใดเป็นแบบในการสร้างก็ได้ เช่น เครื่องซึ่งแบบแรงปิก เครื่องซึ่งแบบแซน เป็นต้น ลักษณะการสร้างส่วนใหญ่ใช้หลักของ เครื่องซึ่งแบบแม่เหล็กไฟฟ้า โดยหามวลจากแรงดันไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบ แล้วแสดงผลออกมา เป็นระบบดิจิทัล นอกจากนี้ยังมีการดัดแปลงเครื่องซึ่งชนิดนี้ ให้ใช้งานต่าง ๆ ตามต้องการได้

ครอสและสมอลเลย์ (Cross and Smalley. 1969 : 633) ได้ดัดแปลง เครื่องซึ่งแบบไมโครที่ใช้ขั้วลวดในสนามแม่เหล็กไปใช้งานแม่เหล็ก ปรากฏว่าได้ผลการซึ่ง ออกมาเป็นที่น่าพอใจ ในปี ค.ศ. 1957 ซานเคอร์น่า และโฮนิค (Zanderna and Honig. 1957 : 1206 - 1210) ได้สร้างเครื่องซึ่งชนิดที่แซนเครื่องซึ่งทำด้วยควอทซ์ แล้วนำเครื่องซึ่งดังกล่าวมาทดลองหามวลของออกซิเจนที่ถูกแพลทินัมไดออกไซด์ (Platinum Dioxide) ดูดซับไว้ ก็สามารถซึ่งได้ละเอียดถึง 5×10^{-8} กรัม นอกจากการสร้างแล้ว อาจดัดแปลงเครื่องซึ่งแบบไมโคร เข้ากับระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัย เช่น คอมพิวเตอร์ และอื่น ๆ ได้ เช่น ในปี ค.ศ. 1973 เครียร์ และ เอเคอซา (Creer and Ade Sa. 1973 : 923 - 924) ร่วมกันใช้เครื่องซึ่งแบบไมโครในการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยา ออกซิเคชั่น - รีดักชั่น แล้วต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ก็สามารถซึ่งได้เป็นอย่างดี

ในการใช้หรือสร้างเครื่องซึ่งแบบไมโคร ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น การเท่ากันของแซน รูปแบบของตัวเรือนเครื่อง เป็นต้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่ง คือ แรงลอยตัวที่มีผลต่อความโน้มถ่วงของเครื่องซึ่ง ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิและปริมาตรของสาร ตัวอย่าง และความของแซนข้างหนึ่งกับมวลที่ถ่วงอีกด้านหนึ่ง ถ้าให้อุณหภูมิของคานงานที่มีสาร เป็น T_B และอุณหภูมิของคานที่มีมวลถ่วงเป็น T_C ปริมาตรของสารและคานน้ำหนักเป็น V_B และ V_C ตามลำดับ ถ้าไปพิจารณาชนิดของก๊าซที่อยู่ในเครื่องซึ่งว่าเป็นก๊าซชนิดใด ค่าความแตกต่างของมวลระหว่างแซนทั้ง 2 ข้าง เป็น

$$\Delta W = \frac{M}{R} \left(\frac{V_C}{T_C} - \frac{V_B}{T_B} \right) P' \quad (15)$$

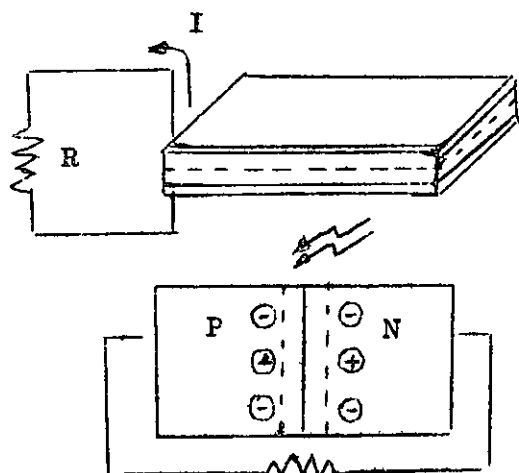
เมื่อ P' เป็นความดันและ M เป็นมวลโมเลกุลของก๊าซ ถ้า $\frac{V_C}{T_C} = \frac{V_B}{T_B}$ จะไม่มีค่า ΔW แตกต่างกับ แต่ถ้า $\frac{V_C}{T_C} \neq \frac{V_B}{T_B}$ จะมีค่า ΔW เกิดขึ้น

ในปี ค.ศ. 1959 บิ๊ก (Bigg. 1959 : 359 - 361) ได้ทำการทดลอง
 ชั่งมวล สารในเครื่องชั่งแบบไมโคร โดยไม่คิดแรงลอยตัวของอากาศที่มีต่อแฮชของ
 เครื่องชั่งในระยะเวลาต่างกัน พบว่าผลต่างในการชั่งสารต่างชนิดกัน ที่มีความหนาแน่น
 ต่างกัน โดยให้ P_a เป็นมวลของสารชนิดหนึ่ง และให้ P_b เป็นมวลของสารอีกชนิดหนึ่ง
 จะได้ว่า $P_a/P_b = 0.999929$ นั่นคือ เกือบไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นในการสร้าง
 เครื่องชั่ง 2 ฐาน อาจไม่คิดค่าของแรงลอยตัวที่มีต่อมวลของเครื่องชั่งที่เท่ากันได้

โฟโตเซลล์ (Photocell)

1. ลักษณะทั่วไปของโฟโตเซลล์

โฟโตเซลล์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง หนาแน่นที่เปลี่ยน
 พลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง (มนตรี แยมวงษ์ 2526 : 31) ซึ่งใช้
 กระบวนการซึ่งเรียกว่ากิริยาโวลเทอิก (Voltaic Action) (มนตรี ศรีทับทิม
 2526 : 27) ตัวอุปกรณ์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพีเอ็น (PN) ที่ประกอบเป็น
 ตัวโฟโตเซลล์ และเมื่อประกอบเป็นวงจร ไม่จำเป็นต้องต่อกับแหล่งจ่ายไฟภายนอก โดย
 จะมีกระแสไฟไหลผ่านวงจรได้เอง ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 โครงสร้างและการทำงานของโฟโตเซลล์

สารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำโฟโตเซลล์ส่วนใหญ่ทำเป็น 2 แบบ (ลิตซ์ วิจิณวัจนะ

2520 : 10) ดังนี้ คือ

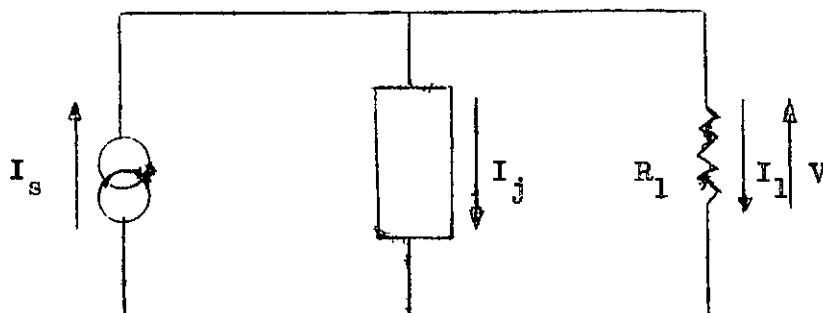
1. แบบใช้เซเลเนียม (Selenium) เป็นชนิดที่วัดความไวต่อแสงสีตอนกลาง แถบสีเขียว จึงนิยมใช้กับมิเตอร์และรีเลย์ เช่น โฟโตมิเตอร์ (Photometer) ขั้วลบของเซลล์ปกติทำด้วยเงิน ส่วนขั้วบวกทำด้วยเหล็กหรืออลูมิเนียมหรือทองเหลืองเคลือบด้วยเงิน

2. แบบใช้ซิลิคอน (Silicon) เป็นแบบที่มีความไวต่อแสงในช่วงสีแดง (ถิ่น ภูววรรณ 2524 : 211) จึงนิยมใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์และเตาเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นเสียง ในเครื่องฉายภาพยนตร์ (Optical Sound) โฟโตเซลล์แบบซิลิคอนผลิตขึ้นได้ 2 แบบ คือ แบบใช้ผลึกซิลิคอนและแบบซิลิคอนอสัณฐาน ซึ่งปัจจุบันใช้แบบซิลิคอนอสัณฐาน เนื่องจากง่ายในการสร้างและราคาถูกกว่า (มนตรี เข้มวงศ์ 2526 : 32)

โฟโตเซลล์ประกอบด้วยชั้นบาง ๆ ของโลหะซิลิคอนสองชั้น ที่มีสมบัติต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติต่างกันคือ สารแบบเอ็น (N-type) และสารแบบพี (P-type) สารชนิดที่มีสมบัติรับอิเล็กตรอน ส่วนสารชนิดเอ็นมีสมบัติให้อิเล็กตรอน เมื่อนาสารชนิดเอ็นและพีชนกัน จะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยต่อของสารทั้งสอง (บุญกุล กระจ่าง และรัตนา 2524 : 16) เมื่อแสงกระทบโฟโตเซลล์ อิเล็กตรอนจะหลุดจากอะตอมของสารดังกล่าว สนามไฟฟ้าจะผลักอิเล็กตรอนไปทางหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดสภาพการขาดอิเล็กตรอนในทิศทางตรงข้าม อันเป็นส่วนที่พร้อมที่จะรับอิเล็กตรอน เมื่อต่อขั้วโลหะทองแดงหรือเงินเข้าทางด้านหน้าและด้านหลังของโฟโตเซลล์ แล้วต่อเข้ากับวงจรอื่นหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าให้ครบวงจร จะเกิดการไหลของกระแสขึ้นได้

2. สมบัติทางไฟฟ้าของโฟโตเซลล์

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของโฟโตเซลล์ สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลง่าย ๆ ดังในภาพประกอบ 11 ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟกระแสคงที่ (I_s) อิมพีแดนซ์ที่รอยต่อ (Nonlinear Junction Impedance) ส่วนจากความต้านทานอนุกรม (Series Resistance) จะไปนำมาพิจารณา ขณะที่โฟโตเซลล์ได้รับแสง จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่แหล่งพลังงาน (R_L) และจ่ายกระแส I_j ไหลผ่านรอยต่อ



ภาพประกอบ 11 แสดงวงจรสมมูลย์ (Equivalent Circuit) ของโฟโตเซลล์

สมการการไหลของกระแสเขียนได้ดังนี้ (สวรัช วงษ์เมตตา และคนอื่น ๆ
2527 : 3/5)

$$I_l + I_j = I_s \quad (16)$$

ส่วนกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ จะมีสมการดังนี้

$$I_j = I_0 (e^{qv/kT} - 1) \quad (17)$$

โดยที่ I_0 คือค่ากระแสอิ่มตัวย้อนกลับ
 q คือค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน
 k คือค่าคงที่ของโบลทซ์มานน์ (Boltzmann's constant)
 T คือค่าอุณหภูมิที่รอยต่อ (K)
 v คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่รอยต่อ

เมื่อแทนค่า I_j ลงในสมการ (16) จะได้

$$I_j = I_s - I_0 (e^{qv/kT} - 1) \quad (18)$$

จากผลของสมการ (18) พิจารณาจากระแสไฟฟ้ชณะล้กวงจร (I_{sc}) ก็ จะ เห็น ไคว่าชณะล้กวงจรกาแรงจัน I_j จะ มี ก้านอยมาก ซึ่ง มี ผลทาใมีค่าเข้าสูศูนย์ คังนั้น กระแส ที่ โฟโต เซล จายออกบาจึง มี ค่าปรมาณ I_s หรือ

$$I_1 = I_{sc} \approx I_s \quad (19)$$

คังนั้น วังครพิจารณาว่า I_s เปลี่ยนแปลงไปบ่างไรกับอุณหภูมิ เนื่องจากค่าของ I_s ที่ เกิดขึ้น มี ความสัมพันธ์กับช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) ของสารกึ่งตัวนำ โดยพลังงานที่ ไครับบาเป็นวะต้อง มี ค่ามากกว่าช่องว่างพลังงานส่วนนี้ จึง จะ สามารถไป กระตุ้นให้ เกิด อิเล็กตรอนอิสระได้ และปรากฏว่าช่องว่างพลังงานนี้ จะ ลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตามสมการต่อไปนี้

$$E_G(T) = E_G(0) - BT \quad (20)$$

โดยที่ $E_G(T)$ เป็นช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิใด ๆ

$E_G(0)$ เป็นช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาเคลวิน

B เป็นอัตราการลดลงของช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

ช่องว่างพลังงานจะลดลงน้อยมากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สำหรับซิลิกอน ช่องว่างพลังงานจะลดลงด้วยอัตรา $3.6 \times 10^{-4} \text{ eV/K}$ (ไพรัช ชัชชพงษ์ และ สมเกียรติ ศุภเดช 2521 : 24) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้กระแสที่ไคจากแหล่งพลังงานเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอุณหภูมิ

จากสมการ (18) เมื่อพิจารณาแรงดันไฟฟ้าชณะวงจรเปิด ค่ากระแส $I_1 = 0$ จะไคว่า

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_s}{I_0} + 1 \right) \quad (21)$$

เนื่องจากค่ากระแส I_g เปลี่ยนไปน้อยมากกับอุณหภูมิ ดังนั้น ค่าที่มีผลต่อ V_{oc} ก็คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ I_o ซึ่งมีค่าตามสมการดังต่อไปนี้ (Backus. 1978 : 110 - 117)

$$I_o = qAn_i^2 \left(\frac{D_p}{N_D L_p} + \frac{D_n}{N_A L_n} \right) \quad (22)$$

เมื่อ	A	คือพื้นที่ที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำ
	D_n	คือสัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รอยต่อ n
	D_p	คือสัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รอยต่อ p
	L_n	คือระยะการแพร่ของอิเล็กตรอน
	L_p	คือระยะการแพร่ของโฮล
	N_D	คือความหนาแน่นของอะตอมของสารเจือทางก้าน n
	N_A	คือความหนาแน่นของอะตอมของสารเจือทางก้าน p
	n_i^2	คือผลคูณของอิเล็กตรอนและโฮลภายในสารกึ่งตัวนำ

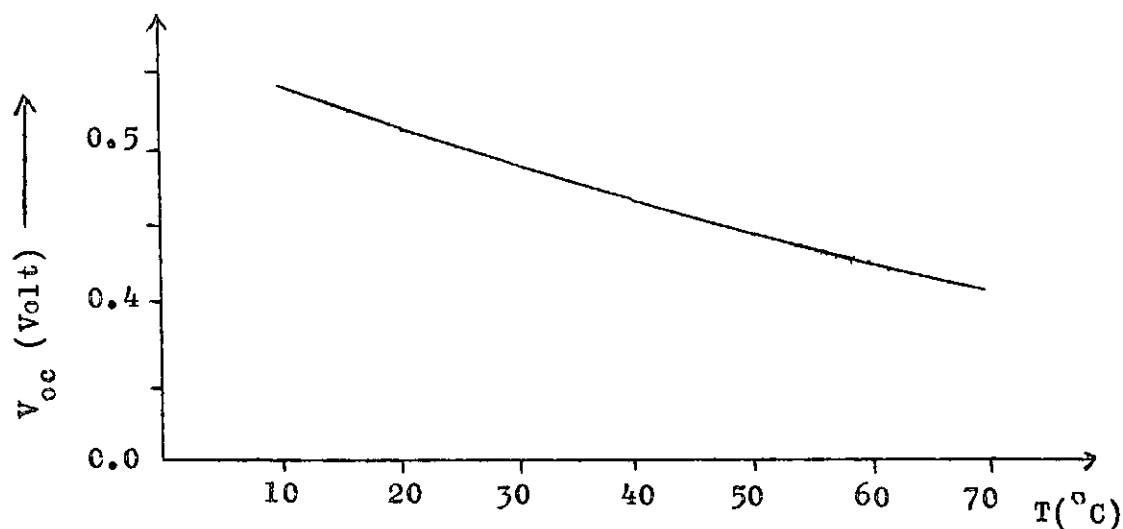
ค่า n_i^2 เป็นค่าซึ่งเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว และมีค่าดังนี้ (สมชัย วงษ์เมตตา และคนอื่น ๆ 2527 : 3/5 อ้างอิงมาจาก Angrist. 1977 : 202)

$$n_i^2 = 15 \times 10^{32} T^3 e^{-1.21/kT} \quad (23)$$

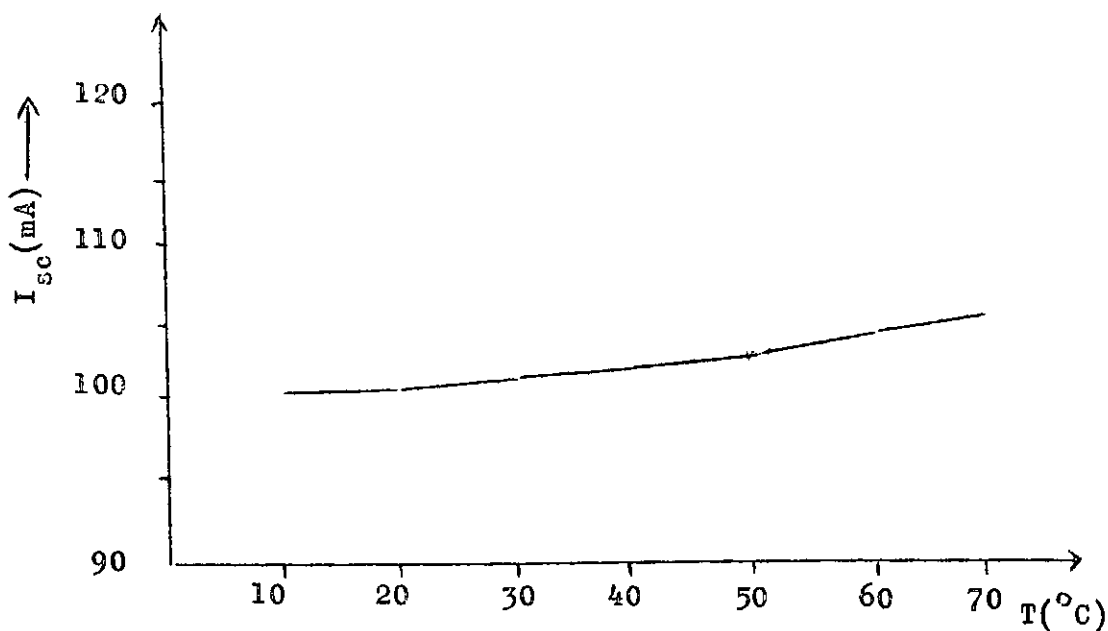
จากสมการ (22) กระแส I_o ที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ จะมีผลต่อ V_{oc} ทำให้ค่า V_{oc} มีค่าลดลง

ในปี ค.ศ. 1968 ปีตัน (Beaton. 1969 : 254) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิต่อซิลิคอนโฟโตเซลล์ (Silicon Photocell) พบว่า อุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกจากโฟโตเซลล์ แรงดันจะเริ่มลดลงถ้าอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับวงจรสูงถึง 55 องศาเซลเซียส นอกจากนั้น สมชัย วงษ์เมตตา และคนอื่น ๆ (สมชัย วงษ์เมตตา และคนอื่น ๆ 2527 : 3/5) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อโฟโตเซลล์ ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 10 - 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่มักจะนำโฟโตเซลล์ไปใช้งาน พบว่า

ค่าของกระแสเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิด้วยอัตรา 0.08 มิลลิแอมแปร์/องศาเซลเซียส ($\text{mA}/^{\circ}\text{C}$) ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงด้วยอัตรา 2.05 มิลลิโวลต์/องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 12 และภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 12 แสดงการลดลงของแรงดันไฟฟ้าขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 13 แสดงการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ดังนั้น การใช้โฟโตเซลล์ที่อุณหภูมิสูง ๆ จะต้องมี การควบคุมอุณหภูมิระหว่างการ ใช้งานเพื่อให้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่

ภาคแสดงผล

1. ระบบการวัดปริมาณทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ในระบบอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่ว ๆ ไป ประกอบขึ้นจากการรวมเอาอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Devices) มาต่อกันเพื่อทำหน้าที่ที่กำหนดให้ เมื่อ พิจารณาลักษณะการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์คือสัญญาณที่เข้าสู่ระบบและการตอบสนอง สามารถแบ่งระบบอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 2 ระบบ (ประทีป ปัญญิตินพรรัตน์ 2526 : 1 - 4) ดังนี้ คือ

1.1 ระบบอนาลอก (Analog Electronic System) คือ ระบบที่ ทำงานต่อจำนวนที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Varying Quantities) เช่น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า เป็นต้น จำนวนดังกล่าว เรียก จำนวนอนาลอก (Analog Quantity) ซึ่งสามารถแทนค่าได้ด้วยตัวเลขจำนวนจริง ได้แก่ ปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น แรงดันไฟฟ้า ความยาว เวลา เป็นต้น

1.2 ระบบดิจิทัล (Digital Electronic System) คือ ระบบที่ ทำงานต่อจำนวนที่ไม่ต่อเนื่องกัน (Discrete) ปริมาณที่นับได้เรียกว่า ปริมาณดิจิทัล (Digital Quantity) ปริมาณเหล่านี้สามารถเขียนแสดงเป็นค่าแรงดันได้ เรียกว่า แรงดันดิจิทัล (Digital Voltage) ซึ่งแรงดันนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ แต่เป็นการเปลี่ยนแปลง แบบไม่ต่อเนื่อง

แรงค่าน้อยที่สุด ที่สามารถมีและนำมาใช้ประโยชน์ได้คือ แรงดัน สองระดับ ซึ่งเรียกว่า ระบบไบนารี (Binary System) หรือระบบสองสถานะ (Two-State System) และระบบสองสถานะนี้ เป็นระบบที่นำมาใช้ในวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากระบบทั่วไปส่วนใหญ่มี่ 2 สถานะ เช่น สวิตช์ไฟฟ้า วงจรรีเลย์ ไดโอด เป็นต้น

2. หลักการของอุปกรณ์ทางดิจิทัล

อุปกรณ์ทางดิจิทัลที่ทำงานในระบบอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 วงจรเกท (GATE) เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การตัดสินใจระบบไบนารีของวงจรดิจิทัล ซึ่งวงจรมีตารางความจริง (Truth Table) แสดงแทนสถานะระบบไบนารี ทำให้สามารถเลือกเกทชนิดต่าง ๆ มาใช้งานได้ เกทแบ่งออกเป็น

1. แอนด์เกท (AND GATE)
2. ออร์เกท (OR GATE)
3. นอทเกท (NOT GATE)
4. นอร์เกท (NOR GATE)
5. แนนด์เกท (NAND GATE)

2.2 วงจรฟลิปฟล็อป (Flip Flop) เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการจาสัญญาที่เข้าสู่ตัวมันเองในระบบไบนารี วงจรฟลิปฟล็อปสามารถนำมาใช้งานประกอบเป็นวงจรมับ (Counter) หรือวงจรเก็บข้อมูล (Register) ได้

วงจรดิจิทัลแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. วงจรแบบคิสิกส์ (Discrete Circuit) ซึ่งเป็นวงจรที่นำเอาอุปกรณ์ย่อย เช่น ไดโอดทรานซิสเตอร์ (Diode Transistor) ตัวต้านทาน (Resistor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) ต่าง ๆ มาต่อรวมกัน

2. วงจรแบบรวม (Integrated Circuit, IC) เป็นวงจรที่รวมเอาอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกันบนฐานเดียวกัน ที่เรียกว่าชิป (Chip) อุปกรณ์ต่าง ๆ ถูกห่อหุ้มด้วยแพ็คเกจ (Package) ซึ่งสามารถป้องกันการแตกหักเสียหายได้

ในการใช้วงจรดิจิทัลโดยทั่วไปในปัจจุบัน ใช้แผงวงจรรวม เนื่องจากใช้สะดวกไม่เปลืองเนื้อที่ เสียเวลาในการออกแบบน้อย และตรวจสอบง่ายกว่าวงจรแบบคิสิกส์

3. หลักการสร้างเครื่องมือที่ใช้ระบบดิจิทัล

หลักการในการสร้างเครื่องมือที่แสดงผลเป็นตัวเลข ซึ่งเรียกว่า เครื่องมือดิจิทัล มีหลักการสร้าง 2 แบบ (ประสงค์ สิริพิทุโชวรรณ 2523 : 3 - 4 อ้างอิงมาจาก Oliver and Cage. 1971 : 213 - 230) ดังนี้ คือ

3.1 แบบนินอินทิเกรต (Non Integrated Type)

เครื่องมือชนิดนี้ใช้ในกรณีที่เปลี่ยนค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่จะทำการวัด เช่น กระแสไฟฟ้า (หน่วยเป็นแอมแปร์) ให้อยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนต่อกัน แล้ววัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยสร้างเครื่องมือที่มีเทคนิคการวัด 2 แบบ คือ

3.1.1 เทคนิคการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าภายนอก โดยเทียบศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานภายใน วิธีนี้ใช้ระบบการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยมอเตอร์ (Servo System) หรือใช้ระบบการปรับความต่างศักย์ด้วยตรรกไฟฟ้า (Electronic Logic) ในระบบนี้จะเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าเทียบภายในสมดุลกัน ระบบของเครื่องจะลดค่าศักย์ไฟฟ้าเทียบภายในออกให้เป็นศูนย์ ลักษณะการเพิ่มขึ้นของปริมาณอนาลอก จากศักย์ไฟฟ้าเทียบภายในจะเป็นขั้น ๆ วิธีนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การประมาณค่าเบ็ดเสร็จ

3.1.2 เทคนิคของแรมป์ (Ramp Technique) ศักย์แรมป์ คือ ศักย์ไฟฟ้าที่อัตราการเพิ่ม แปรผันกับเวลา ซึ่งมีอยู่ 2 ระบบ คือ ศักย์แรมป์เชิงเส้น กับ ศักย์แรมป์แบบขั้น (Staircase Ramp)

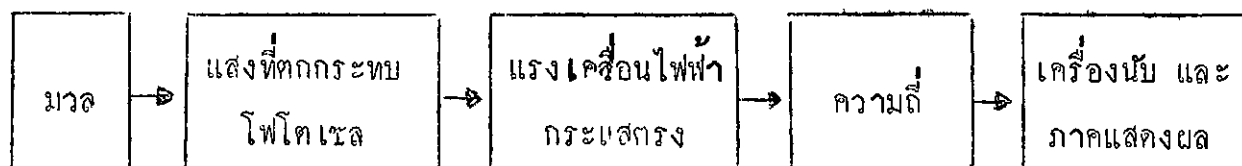
ข้อเสียของระบบนินอินทิเกรต คือ การวัดจะขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานภายใน ความเป็นเชิงเส้นของตัวแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เวลาที่ใช้ทำให้ ศักย์ไฟฟ้าสมดุลกับระดับสัญญาณรบกวนที่เข้ามา กับสัญญาณที่จะวัด ซึ่งจำกัดความเร็วในการวัดและที่จำกัดของจำนวนตัวเลขที่ใช้แสดงผล

3.2 แบบอินทิเกรต (Integrated Type)

เครื่องมือชนิดนี้ ใช้ระบบการเปลี่ยนความต่างศักย์เป็นความถี่ ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถวัดสัญญาณรบกวนที่แทรกเข้ามา กับสัญญาณที่จะทำการวัดได้ การวัด

ไม่ขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้าเทียบภายใน ซึ่งทำให้วัดได้เร็วขึ้น ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่ใช้ไม่มีผลต่อความเที่ยงตรงของระบบ แต่ความเที่ยงตรงของระบบจะขึ้นอยู่กับขนาดและความมีเสถียรภาพของการป้อนประจุคัมไปยังจุดรวมสัญญาณ ซึ่งกระทำโดยการใส่ วงจรกำเนิดพัลส์ (Pulse)

จากหลักการของการสร้างเครื่องชั่ง หลักการของโฟโตเซลล์ การสร้างเครื่องมือในระบบดิจิทัล และอื่น ๆ ดังกล่าวข้างต้น แสดงว่า เมื่อซึ่งมวลของวัตถุด้วยเครื่องชั่งที่สร้างขึ้น มวลของวัตถุที่ชั่งจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณของแสงที่ไปตกกระทบที่โฟโตเซลล์ เนื่องจากขนาดของช่องที่ชัตเตอร์ (Shutter) เปิดให้แสงผ่านเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลของวัตถุที่ชั่ง ปริมาณแสงที่ตกกระทบโฟโตเซลล์ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อแปลงค่าเป็นความถี่ แล้วส่งสัญญาณเข้ากับเครื่องนับและภาคแสดงผล ก็จะสามารถอ่านค่ามวลเป็นกิโลกรัม ซึ่งมีหลักการสร้างเครื่องชั่งสองสิ่ง เชป คิงแมนยูมิ



ภาพประกอบ 14 แผนภูมิแสดงหลักการสร้าง เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี

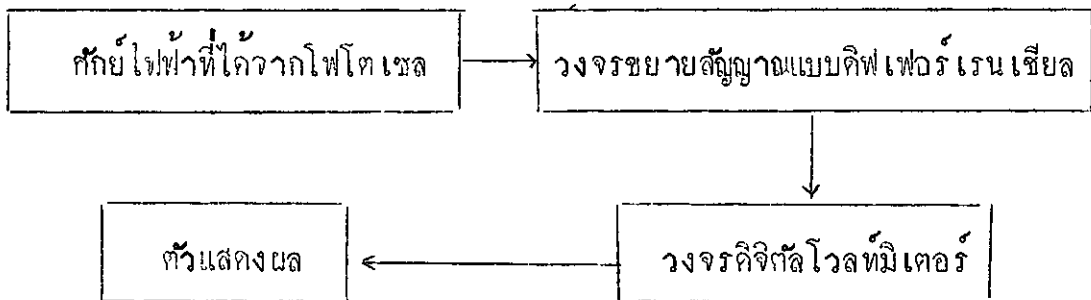
บทที่ 3

วิธีดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องจักร

การออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือแบบ คีอีเอ็มบี

จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้อาจการศึกษาเอกสารต่าง ๆ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องจักรแบบ คีอีเอ็มบี ผู้วิจัยได้ออกแบบวงจร และแผนวงจรพิมพ์ โดยใช้อุปกรณ์ราคาถูก หาซื้อง่าย และมีประสิทธิภาพในการทำงานดีพอสมควร เครื่องจักรแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างขึ้น มีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

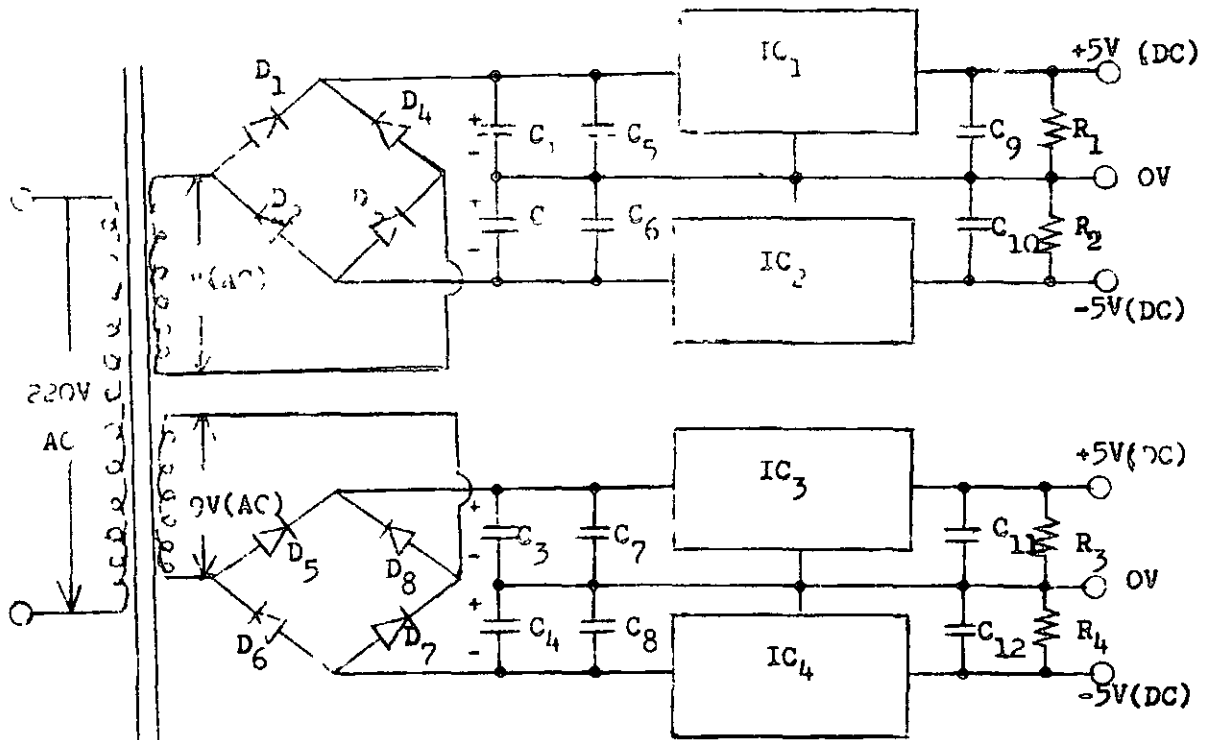
1. แผนภูมิแสดงการออกแบบวงจร (Block Diagram)



ภาพประกอบ 15 แผนภูมิแสดงการออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องจักรแบบ คีอีเอ็มบี

จากแผนภูมิตามภาพประกอบ 15 โฟโตเซลล์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นศักย์ไฟฟ้าตรง จากนั้นศักย์ไฟฟ้าตรงที่ได้จะเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเพอร์เรนเซียล เพื่อให้สัญญาณมีกำลังแรงขึ้นแล้วเข้าสู่วงจรกิจิตัลโวลท์มิเตอร์ เพื่อแสดงผล เป็นตัวเลข

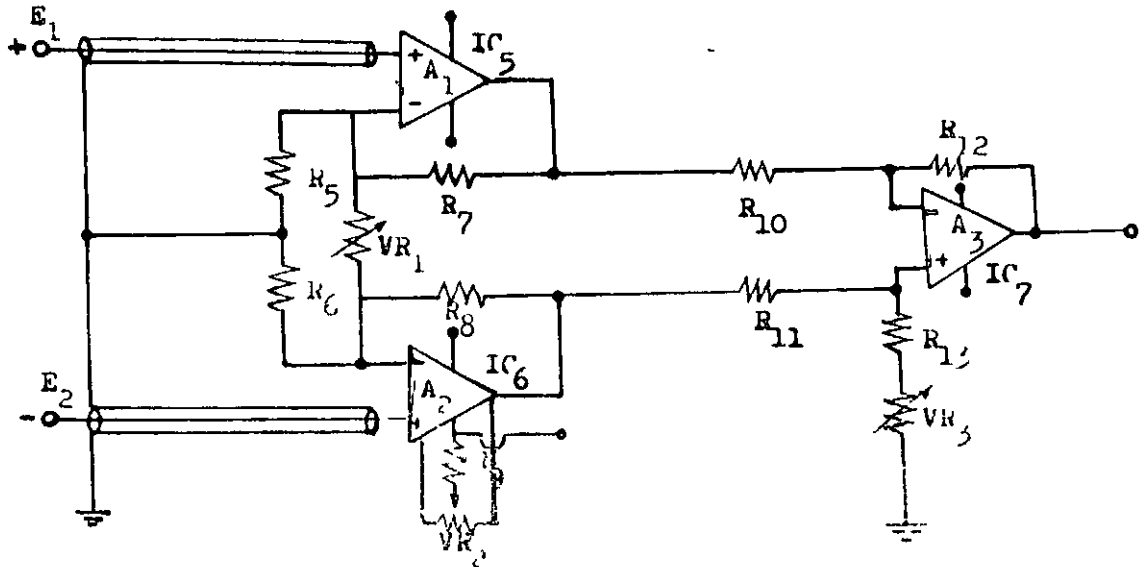
2. วงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC, Power Supply)



ภาพประกอบ 16 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC, Power Supply)

วงจรในภาพประกอบ 16 ทำหน้าที่จ่ายศักย์ไฟฟ้าตรงให้แก่วงจรต่าง ๆ ในเครื่องซึ่งแบบ คีอีเอ็มบี การทำงานของวงจรเริ่มจาก หม้อแปลง (T_1) ทำหน้าที่แปลงศักย์ไฟฟ้าสลับให้ค่าอง ศักย์ไฟฟ้านี้จะถูกเรกติไฟร์ (Rectifier) โดยไดโอด (Diode) เป็นศักย์ไฟฟ้าตรง ต่อมานั้นศักย์ไฟฟ้าตรงจะเข้า IC_1 ถึง IC_4 เพื่อควบคุมศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ ± 5 โวลต์

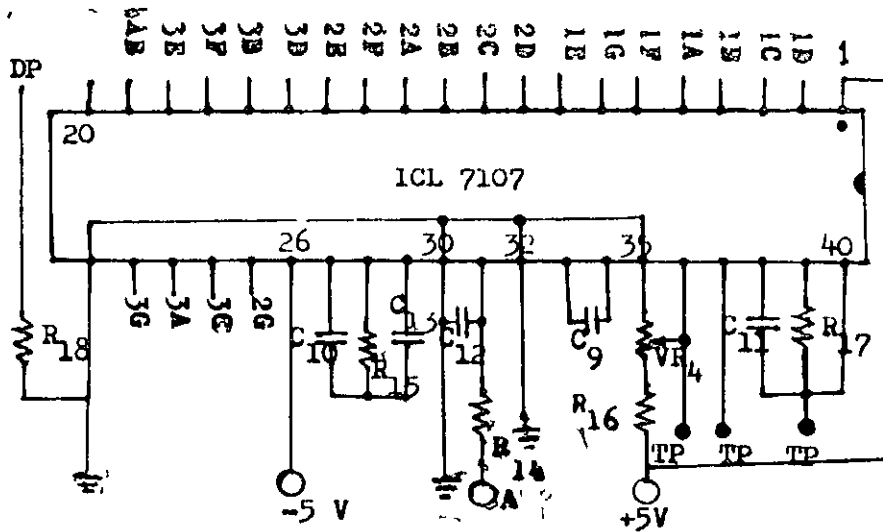
3. วงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล (Differential Amplifier)



ภาพประกอบ 17 วงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล (Differential Amplifier)

การทำงานของวงจรตามภาพประกอบ 17 เป็นดังนี้ เมื่อภาคขยายสัญญาณ A_1 รับสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล (E_1) จากโฟโตเซลล์ 1 จะมีการขยายสัญญาณแบบนออินเวอร์ตติ้ง (Non-inverting Amplifier) ในขณะเดียวกัน ภาคขยายสัญญาณ A_2 ก็จะรับสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล (E_2) จากโฟโตเซลล์ตัวที่ 2 โดยผ่านภาคขยายสัญญาณ A_2 A_2 จะขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ตติ้ง (Inverting Amplifier) ซึ่งอัตราการขยายขึ้นอยู่กับค่าปรับค่า VR_1 ที่ปรับค่าได้ จากนั้นสัญญาณจะเข้าสู่ A_3 ซึ่งขยายสัญญาณแบบนออินเวอร์ตติ้ง ด้วยค่าสังขยายเท่ากับ R_{12} / R_{10} เพื่อให้สัญญาณมีความแรงพอที่จะเข้าสู่วงจรคิฟเฟอร์เรนเซียล

4. วงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ (Digital Voltmeter)



ภาพประกอบ 18 วงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ (Digital Voltmeter)

การทำงานของวงจรในภาพประกอบ 18 เริ่มจาก สัญญาณจากวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียลเข้าสู่ภาครับสัญญาณ (Input, A) ของไอซี (ICL 7107) จากนั้นจะมีการสัทวงจรเพื่อปรับศูนย์อัตราไมตรีที่ขา 30, 31 และ 32 ของไอซีนี้ ในขณะที่ตัวเก็บประจุ C_9 ก็จะประจุสัญญาณที่เข้ามาเพื่อเป็นแรงดันอ้างอิง (V_{REF}) ที่ขา 35 และ 36 หลังจากนั้นภาครับสัญญาณก็จะเปิดวงจรและทำงานเป็นปกติ โดยรับสัญญาณเข้าอีกครั้ง แล้ว C_{10} จะประจุแรงดันให้สูงขึ้น เมื่อถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งกำหนดจากจำนวนพัลส์ (Pulse) ของสัญญาณนาฬิกาที่ออสซิลเลต (Oscillate) จาก C_{11} และ R_{17} ที่ขา 38, 39 และ 40 ของไอซี ซึ่งมีค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.45/RC$ วงจรนี้ก็จะหยุดทำงาน แล้วสัญญาณดังกล่าวจะถูกสัทวงจรเข้ากับขา 32 ของไอซีอย่างภายใน และขา 31 ของไอซีก็จะถูกโยงเข้ากับ C_9 อย่างภายในด้วย วงจรภายใน จะจัดชั่วให้ถูกทิศทาง เพื่อให้วงจรทำงานที่กำหนดให้แรงดันที่คร่อม C_{10} ที่ต่อกับภาคสัญญาณออก (Out put) เพื่อเข้าสู่ภาคแสดงผลแรงดันที่ประจุขึ้นดังกล่าวจะคอยลดลงเป็นศูนย์ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการทำให้เป็นศูนย์จะเป็นอัตราส่วนกับแรงดันเข้า และจะถูกแปลงให้เป็นตัวเลขบนแผงตัวแสดงผลแบบ แอลอีดี (LED) เวลาที่ใช้ในการแสดงผลจะมีค่าเท่ากับ $1000 V_{IN}/V_{REF}$

การดำเนินการสร้างเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี

เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ดังแสดงในภาพประกอบ 19 - 25 มีส่วนประกอบสำคัญ ดังต่อไปนี้

1. เรือนเครื่อง

ตัวเรือนเครื่องของเครื่องชั่งที่สร้างขึ้น มีขนาดสูง 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ด้านข้างตลอดทั้งตัวเรือน ประกอบติดด้วยพลาสติกหนา 2 มิลลิเมตร ภายในประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1.1 แท่นรองเครื่องคานล่าง ทำด้วยอลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 30×30 เซนติเมตร ส่วนนี้เป็นส่วนที่ติดตั้งวงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ให้กับวงจรไฟฟ้าอื่น ๆ ทั้งหมด

1.2 แท่นรองเครื่องคานบน ทำด้วยอลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 30×30 เซนติเมตร ส่วนนี้เป็นส่วนที่ติดตั้ง วงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์ เรนเซียล และวงจรดิจิทัลโวลท์มิเตอร์ และใบขณะเดียวกันก็ใช้เป็นส่วนที่รองรับส่วนประกอบอื่น ๆ ของเครื่องชั่งด้วย

1.3 ส่วนที่เป็นสนามแม่เหล็ก ประกอบด้วยเหล็กอ่อนของหม้อแปลงไฟฟ้า ข้อนกันขนาด 10×10 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร ตรงกลางเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/2$ นิ้ว ภายในมีขดลวดทองแดงพันเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 0.8×0.8 เซนติเมตร อยู่ระหว่างสนามแม่เหล็ก ซึ่งประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรสองแท่งติดอยู่

1.4 ส่วนที่เป็นแขนของเครื่องชั่ง เป็นทองเหลืองขนาดกว้างคานละ 5 มิลลิเมตร ยาว 27 เซนติเมตร ติดอยู่กับลวดแขวนลอยที่ติดกับขดลวดทองแดงในสนามแม่เหล็ก ปลายทั้ง 2 ข้าง เจาะรูเพื่อร้อยกับแขนที่ยึดจานใส่สารรูปสี่เหลี่ยมขนาด 2×2 เซนติเมตร

1.5 ชัตเตอร์ (Shutter) เป็นโลหะขนาด 1×2 เซนติเมตรติดอยู่บนแขนของเครื่องชั่ง ตามหลักการในภาพประกอบ 9 หน้า 19

1.6 แหล่งกำเนิดแสง มีลักษณะเป็นหลอดสี่เหลี่ยมขนาด 3x3 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร ปลายด้านหนึ่งมีตัวสะท้อนแสงและหลอดไฟ 6 โวลต์ติดอยู่ปลายอีก ด้านหนึ่งครอบแกนของเครื่องซิงตรงซ์เตอร์ โดยมีโฟโตเซลล์รับแสง 2 แผ่นขนาดแผ่นละ 1 x 2 เซนติเมตรติดอยู่

2. อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนหน้าปัด

2.1 ปุ่มปรับ 2 ปุ่ม ประกอบด้วยปุ่มปรับศูนย์ และปุ่มปรับอัตราขยาย

2.2 แฉงตัวเลขแสดงผลแบบ แอลอีดี สีแดง ชนิด 3 หลักครึ่งขนาด 1/2 นิ้ว อยู่ทางคานซ้ายมือของหน้าปัดคานบน

3. อุปกรณ์ที่ติดตั้งด้านหลังของเครื่องซิง

3.1 แผ่นโลหะอลูมิเนียมเจาะรูพรุน เพื่อทำเป็นตัวระบายความร้อน ขนาด 30 x 10 เซนติเมตร

3.2 สวิตช์เปิด-ปิด ติดตั้งอยู่บนแผ่นโลหะอลูมิเนียม

3.3 ปลั๊กเสียบกระแสสลับ 220 โวลต์

3.4 พิวส์ขนาด 1 แอมแปร์ ติดตั้งอยู่บนแผ่นโลหะอลูมิเนียมที่เจาะรูพรุน

4. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแผงวงจรไฟฟ้าในเครื่องซิงแบบ ซีอีเอ็มบี

4.1 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 5 โวลต์

หมายเลขอ้างอิง

รายละเอียดประกอบ

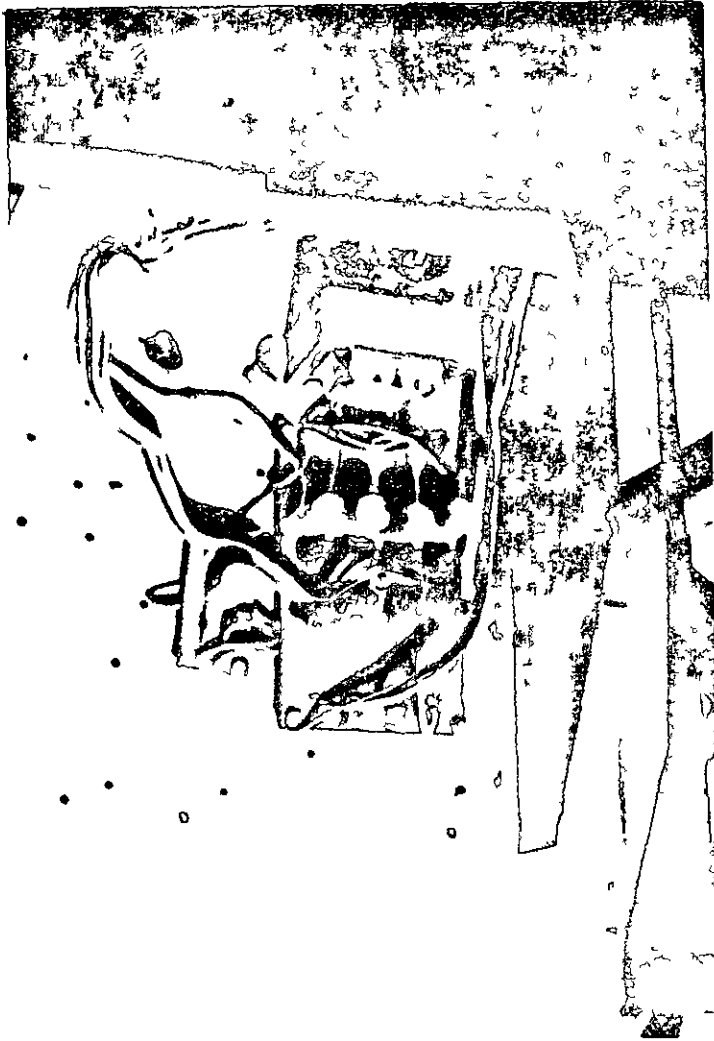
$C_1 - C_4$	1,000 μ F/50 V	Electrolytic capacitor
$C_5 - C_8$	470 nF/100 V	Mylar capacitor
$C_9 - C_{12}$	220 nF/100 V	Mylar capacitor
$D_1 - D_8$	1 Amp.	Rectified diode
IC_1, IC_4	7805	Regulator Integrated Circuit
IC_2, IC_3	7905	Regulator Integrated Circuit
T_1 9 - 0 - 9	Volt(AC) 800mA.	Transformer
$R_1 - R_4$	4.7 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 5 % Fixed carbon resistor

4.2 วงจรขยายสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Amplifier)

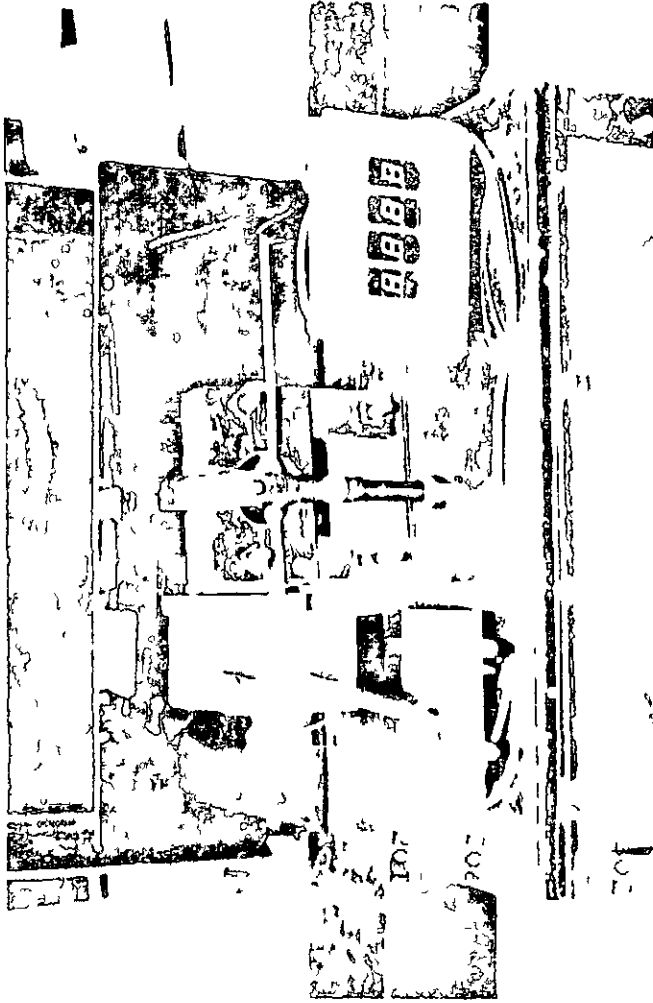
หมายเลขอ้างอิง		รายละเอียดประกอบ
IC ₅ - IC ₆	LM 081	Operational amplifier
IC ₇	LM 725	Instrumental amplifier
R ₅ - R ₆	1 M Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
R ₇ - R ₈	40 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
R ₉	100 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
R ₁₀ - R ₁₁	10 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
R ₁₂	330 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
R ₁₃	350 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
VR ₁	40 k Ω lin.	Variable resistor
VR ₂	10 k Ω lin.	Variable resistor
VR ₃	100 k Ω lin.	Variable resistor

4.3 วงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ (Digital Voltmeter)

หมายเลขอ้างอิง		รายละเอียดประกอบ
C ₉ , C ₁₂	0.1 μ F/25 V	Polypropylene capacitor
C ₁₀	0.22 μ F/25 V	Polypropylene capacitor
C ₁₁	100 pF	Tantalum capacitor
C ₁₃	0.047 μ F/25 V	Polypropylene capacitor
R ₁₄	1 M Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
R ₁₅	470 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
R ₁₆	24 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
R ₁₇	100 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
R ₁₈	150 k Ω	$\frac{1}{2}$ Watt 1 % Fixed carbon resistor
VR ₄	25 k Ω lin.	Variable resistor



ภาพประกอบ 19 แสดงส่วนประกอบค้ำอঁางของเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง

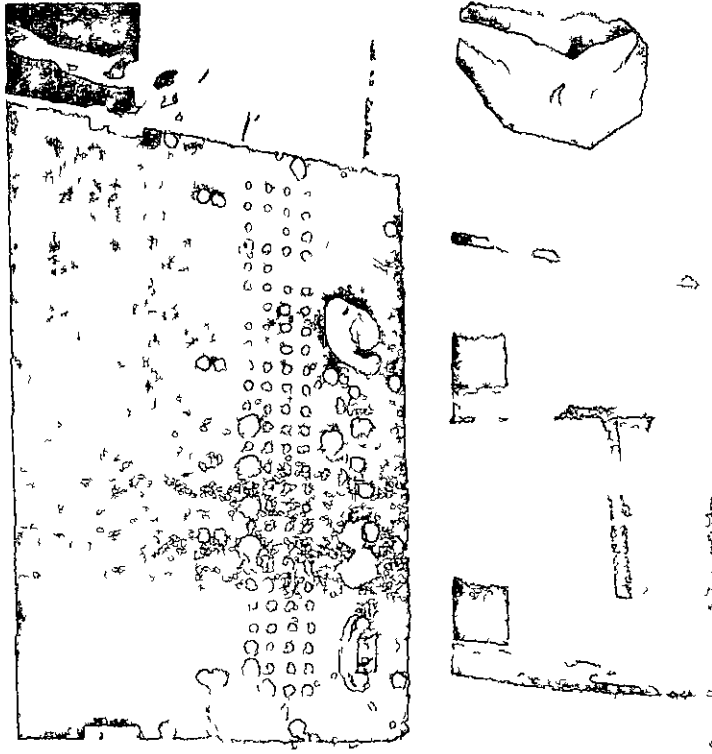


ภาพประกอบ 20 แสดงส่วนประกอบส่วนหนึ่งของเครื่องจักรที่ใช้

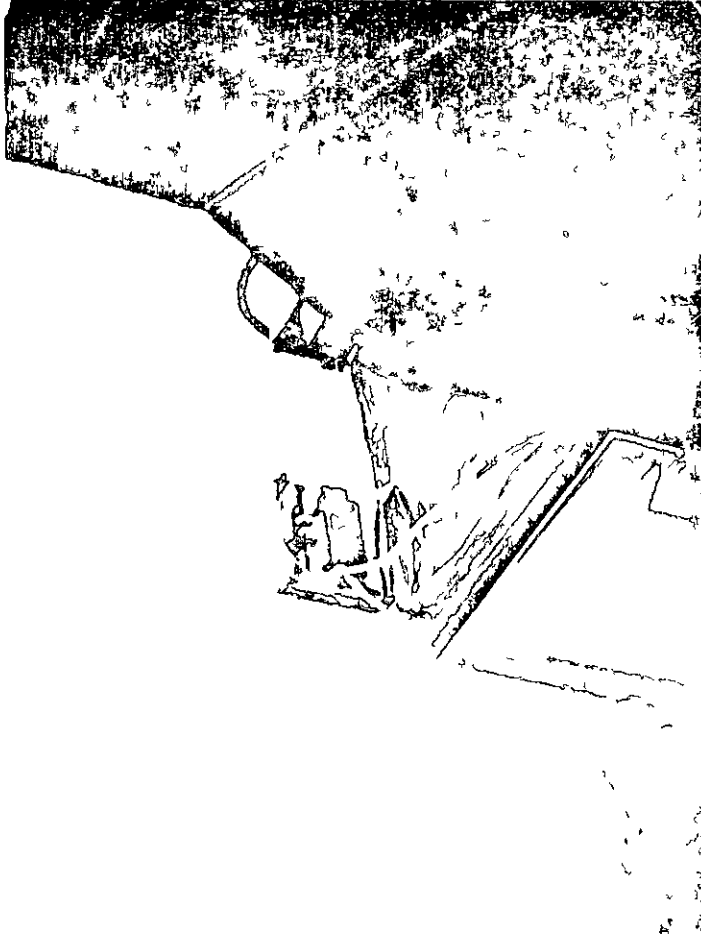
๐๒๐

๐๓๐

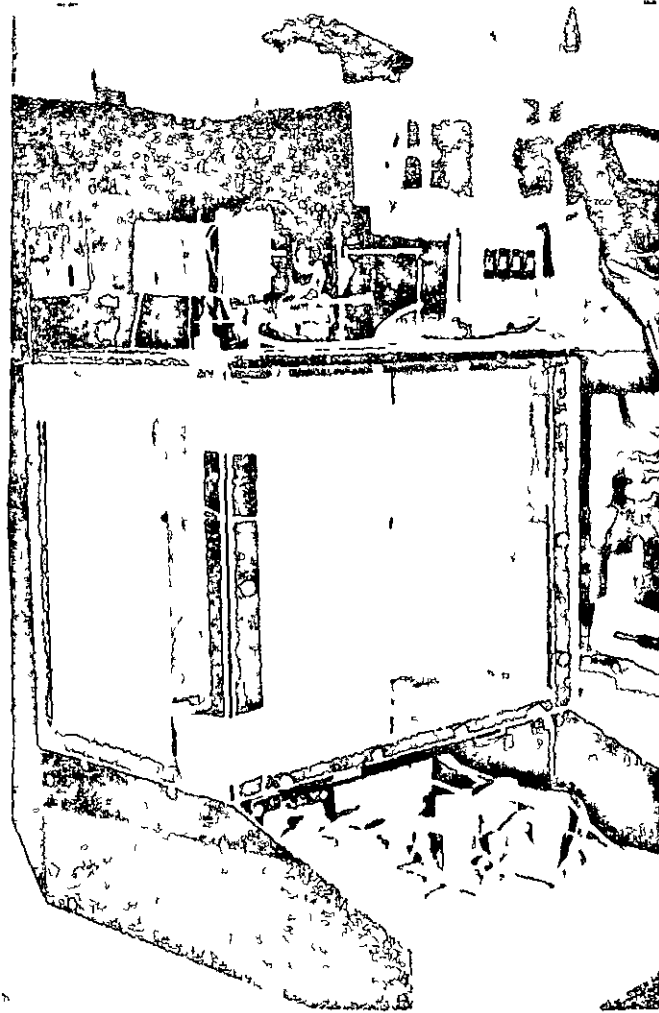
๐๔๐



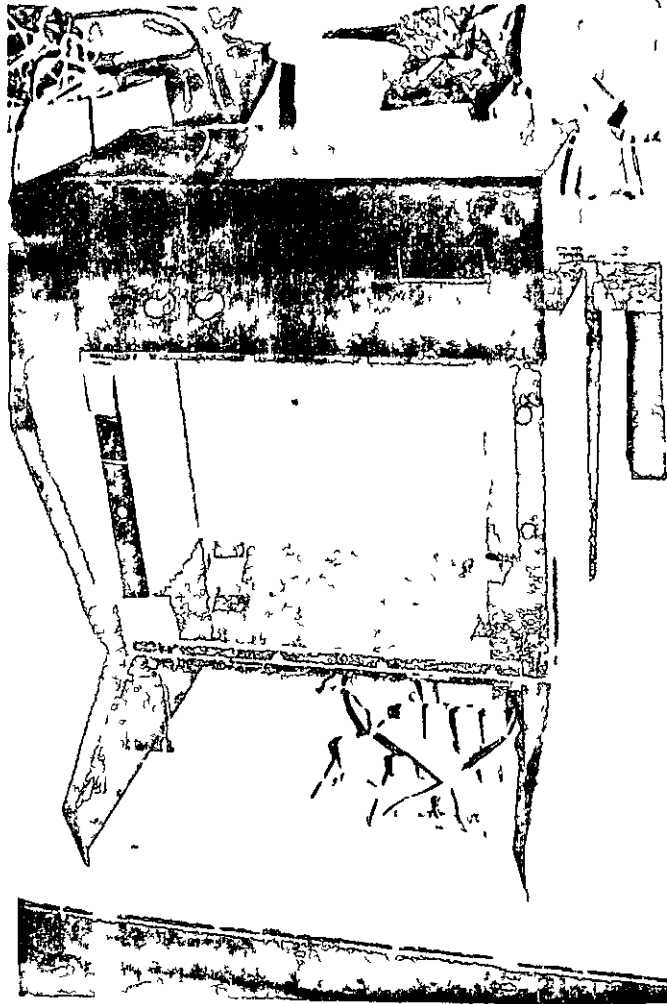
ภาพประกอบ 21 แสดงส่วนประกอบความแข็งแรงของเครื่องรางแบบ ทึบ เอ็มมี



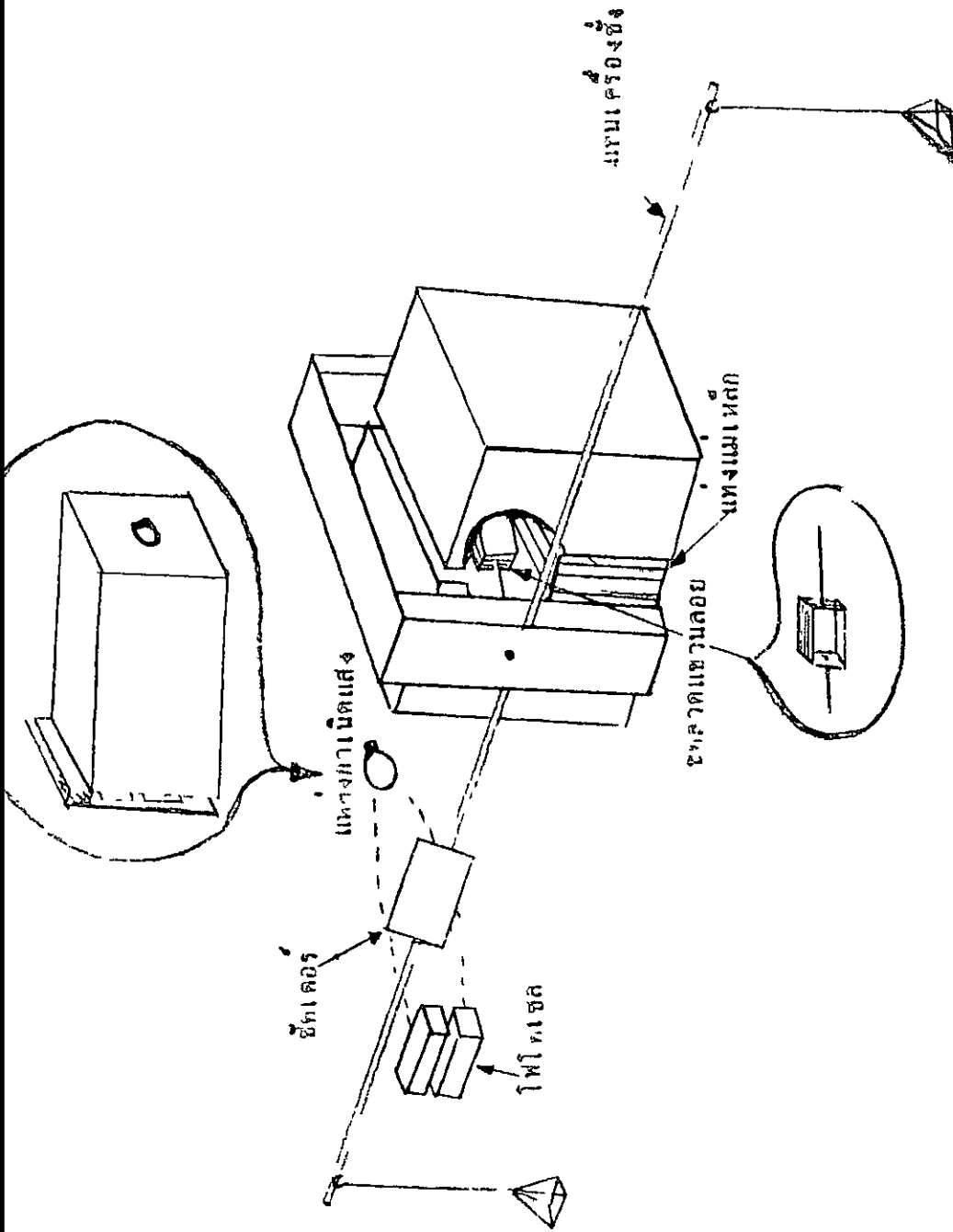
ภาพประกอบ 22 แสดงส่วนที่เป็นวงจรถักถือไวอิมเคอร์ในเครื่องขังแบบ ซีซีเอ็มบี



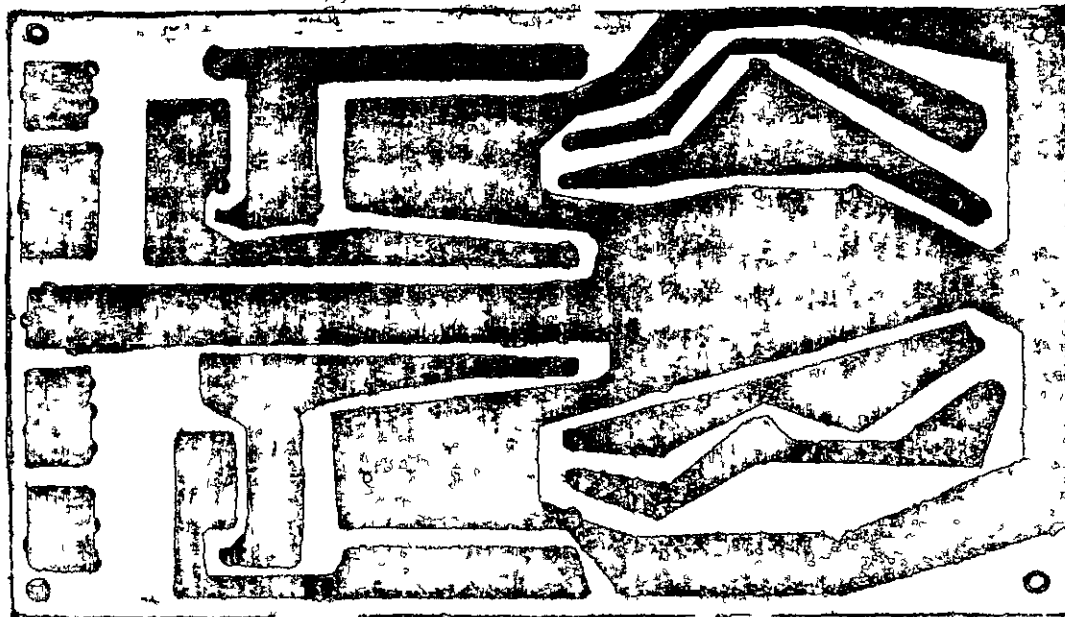
ภาพประกอบ 23 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของวางจรและองค์ประกอบอื่น ๆ
ของเครื่องรีงแบบ คีซีเอ็มบี



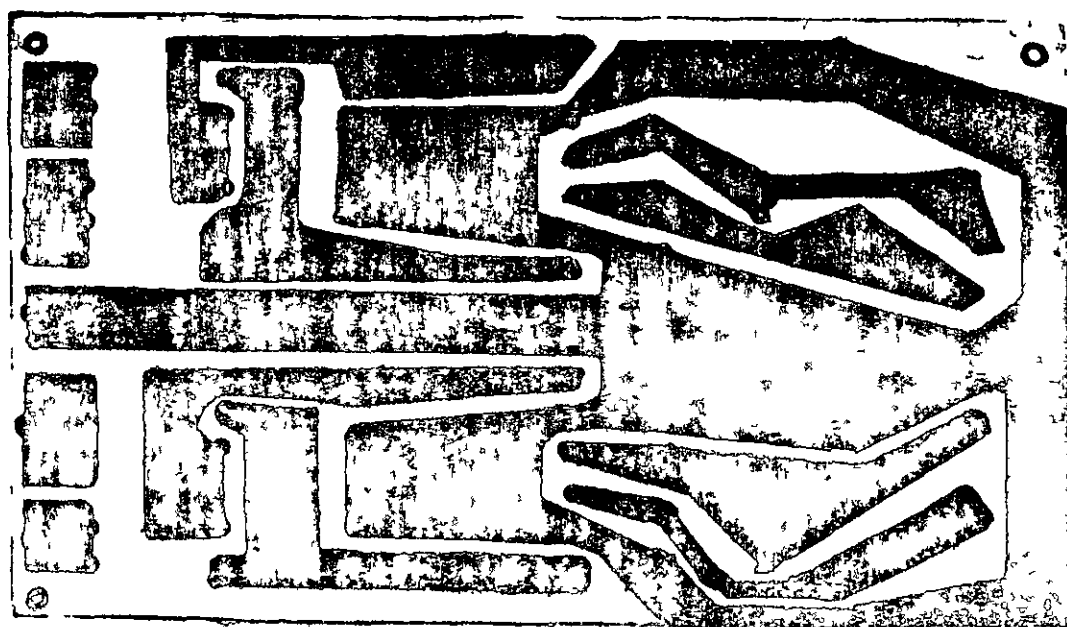
ภาพประกอบ 24 แสดงลักษณะส่วนรวมของเครื่องรีงแบบ คีซีเอ็มบี



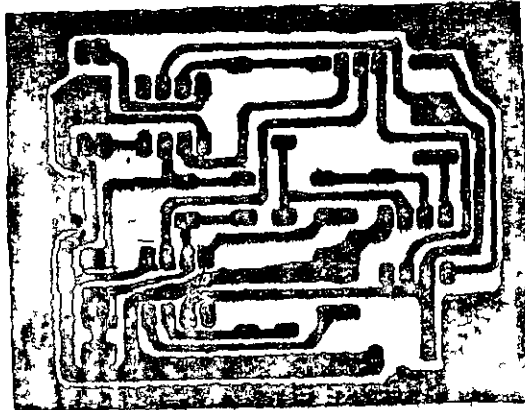
ภาพประกอบ 25 แสดงองค์ประกอบของส่วนที่เป็นแม่เหล็กและส่วนที่เป็นสนามแม่เหล็กของเครื่องรังแคบ คิวซีเอ็มบี



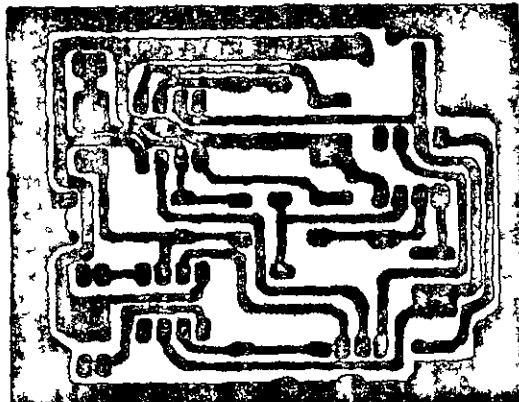
ภาพประกอบ 26 แสดงลักษณะแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรถ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง
± 5 โวลต์ ที่ใช้ในเครื่องซิงแบบ ดี อี เอ็ม บี ด้านบน



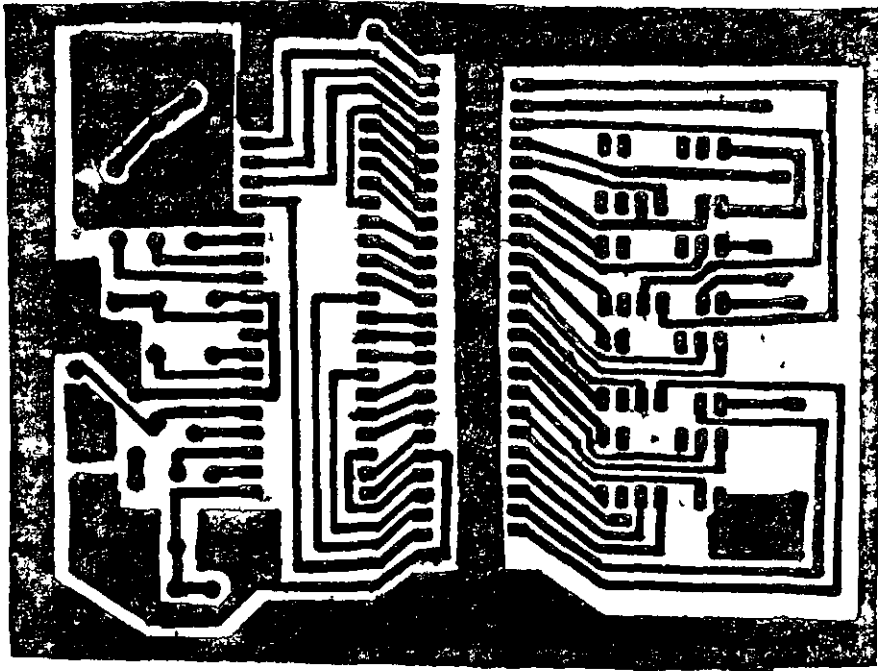
ภาพประกอบ 27 แสดงลักษณะแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรถ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง
± 5 โวลต์ ที่ใช้ในเครื่องซิงแบบ ดี อี เอ็ม บี ด้านล่าง



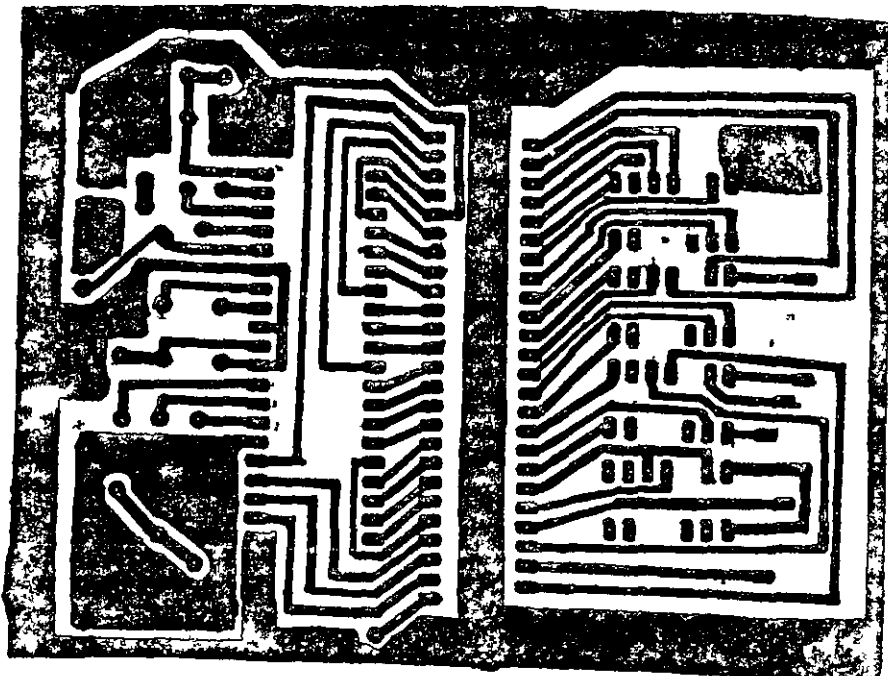
ภาพประกอบ 28 แสดงลักษณะแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรถยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียด
ที่ใช้ในเครื่องซังแบบ คีอีเค็มบี ล้านเบน



ภาพประกอบ 29 แสดงลักษณะแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรถยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียด
ที่ใช้ในเครื่องซังแบบ คีอีเอ็มบี ล้านด่าง



ภาพประกอบ 30 แสดงลักษณะแผนวงจรพิมพ์ของวงจรถักถือไวลท์มิเตอร์
ที่ใช้ในเครื่องช่างแบบ คีอีเอ็มบี ค้าแมน



ภาพประกอบ 31 แสดงลักษณะแผนวงจรพิมพ์ของวงจรถักถือไวลท์มิเตอร์
ที่ใช้ในเครื่องช่างแบบ คีอีเอ็มบี ค้านล่าง

การทดลองและการปรับแต่งเครื่องชั่ง

1. การทดลองและการปรับแต่งเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า

1.1 การทดลองวงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ กระทำโดยการผ่านสวิตช์ไฟฟ้าสลับเข้าวงจร แล้ววัดแรงดันที่ได้ให้มีความ ± 5 โวลต์ ตามที่กำหนด

1.2 การทดลองวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล ทำโดยการปรับคูนัยที่ไอซี 5 และไอซี 6 แล้วทดลองชั่งตุ้มน้ำหนักที่ทราบค่าแน่นอน หากความแตกต่างของแรงดันที่โฟโตเซลล์ให้ออกมา หากความแตกต่างของมวล จากนั้นนำมาความแตกต่างทั้งสองอย่างดังกล่าวมาหาอัตราการขยาย โดยปรับค่าความต้านทานที่ปรับค่าได้ ให้ได้อัตราการขยายตามต้องการ

1.3 การทดลองวงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ ทดลองโดยผ่านสวิตช์ไฟฟ้าตรงที่มีความแน่นอนเข้ากับวงจรที่สร้างขึ้น แล้วปรับตัวเลขแสดงผลให้ใกล้เคียงตามต้องการ นำตุ้มน้ำหนักออกแล้วปรับคูนัยหลังจากนั้นทดสอบวงจรอีกครั้ง เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนจากสัญญาณภายนอก

2. การทดลองหาความแม่นยำในการชั่ง ทำโดยชั่งมวลที่ทราบค่าแน่นอนแล้ว ซึ่งได้จากการชั่งกับเครื่องชั่งมาตรฐานระบบดิจิทัลของ เมทเลอร์ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร โดยใช้มวลตั้งแต่ 10 มิลลิกรัม ถึง 2 กรัม โดยเพิ่มมวลเป็นช่วง ๆ กระทำซ้ำกัน 10 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

3. การทดลองหาความละเอียดในการชั่งทำโดยการชั่งมวลน้อย ๆ แล้วปรับค่าอัตราการขยายให้สูงขึ้น สังเกตผลการชั่งที่ได้

4. การทดลองหาความแน่นอนในการชั่ง กระทำโดยใช้ตุ้มน้ำหนักที่ทราบค่าแล้ว ชั่งเปรียบเทียบกับเครื่องชั่งที่สร้างขึ้น จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการทางสถิติ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่

1.1 ค่าเฉลี่ย (ชูศรี วงศ์รัตน์ 2527 : 41)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ \bar{X} แทน ค่าเฉลี่ยของการชั่งมวล

$\sum X$ แทน ผลรวมของค่าที่ได้จากการชั่งมวล

n แทน จำนวนครั้งในการชั่ง

1.2 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ชูศรี วงศ์รัตน์ 2527 : 73)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ s แทน ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} แทน ค่าเฉลี่ยของการชั่งมวล

X แทน ค่าที่ได้จากการชั่งมวลแต่ละครั้ง

n แทน จำนวนครั้งของการชั่ง

2. t-test Independent แบบกลุ่มตัวอย่างเดียว (ชูศรี วงศ์รัตน์

2527 : 157)

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

เมื่อ	t	แทน ค่าสถิติที่ใช้พิจารณาใน t-test
	\bar{x}	แทน ค่าเฉลี่ยของมวลในการชั่ง
	μ_0	แทน ค่าของมวลมาตรฐานที่นำมาเปรียบเทียบ
	n	แทน จำนวนครั้งในการชั่งแต่ละมวล
	s	แทน ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของมวลที่ชั่งได้ เมื่อ เปรียบเทียบมวลมาตรฐาน

โดยหาก df (degree of freedom) จากสูตร $df = n - 1$

3. วิธีกำลังสองน้อยสุด (Method of least squares) (คู่มือ วงศ์รัตน์
2527 : 330 - 337) สูตรที่ใช้มีดังนี้

$$Y' = a_{yx} + b_{yx} \cdot X$$

$$b_{yx} = \frac{\Sigma X \cdot Y - (\Sigma X \cdot \Sigma Y) / N}{\Sigma X^2 - [(\Sigma X)^2 / N]}$$

$$a_{yx} = \frac{\Sigma Y - b_{yx} \cdot \Sigma X}{N}$$

$$r = \frac{N \Sigma X \cdot Y - \Sigma X \cdot \Sigma Y}{\sqrt{[N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2] [N \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}}$$

$$s_y = \sqrt{\frac{N \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2}{N(N - 1)}}$$

$$s_{yx} = s_y \sqrt{1 - r^2}$$

เมื่อ	Y'	แทน ค่า Y ที่ได้จากการพยากรณ์
	b_{yx}	แทน ความชันของกราฟเส้นตรงสำหรับพยากรณ์ค่า Y เมื่อทราบค่า X
	a_{yx}	แทน จุดที่เส้นกราฟตัดแกน Y
	r	แทน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
	X	แทน ผลรวมของค่าที่ได้จากการชั่งด้วย เครื่องชั่งมาตรฐาน
	Y	แทน ผลรวมของค่าที่ได้จากการชั่งด้วย เครื่องชั่งที่สร้าง
	X^2	แทน ผลรวมกำลังสองของค่าที่ได้จากการชั่งด้วย เครื่องชั่งมาตรฐาน
	Y^2	แทน ผลรวมกำลังสองของค่าที่ได้จากการชั่งด้วย เครื่องชั่งที่สร้าง
	$X.Y$	แทน ผลรวมของผลคูณค่าตัวแปร X กับค่าตัวแปร Y
	N	แทน จำนวนความวลที่ใช้ในการชั่ง
	S_y	แทน ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการชั่งทั้งหมดของ เครื่องชั่งที่สร้าง
	S_{yx}	แทน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ค่าที่ชั่งได้จากเครื่องชั่งที่สร้างเมื่อทราบค่ามวลที่แท้จริง

การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผล

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการชั่งมวลเปรียบเทียบระหว่างมวลมาตรฐาน กับ เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง ในตำแหน่งที่โฟโต เซลล์รับแสงได้ที่ดีที่สุด

1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล จากการชั่งของ เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี เพื่อหาความแม่นยำ (Precision) ด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล จากการชั่งถ้วยเครื่องชั่งแบบ ทีอีเอ็มบี เพื่อ
หาความแม่นยำด้วยความเป็นเบี่ยงเบนมาตรฐาน

มวล (กรัม)	\bar{X}	$\Sigma(x - \bar{X})^2$	n	S
0.099	0.092	0.00022	10	0.0049
0.198,	0.179	0.00029	10	0.0057
0.291	0.271	0.00089	10	0.0099
0.395	0.370	0.0014	10	0.0124
0.496	0.470	0.0032	10	0.0189
0.597	0.567	0.00109	10	0.0105
0.696	0.676	0.00164	10	0.0135
0.795	0.785	0.00045	10	0.0071
0.893	0.877	0.001922	10	0.0146
1.000	0.991	0.00093	10	0.0102
1.099	1.096	0.00164	10	0.0135
1.198	1.217	0.00061	10	0.0082
1.297	1.320	0.0007	10	0.0088
1.395	1.414	0.0014	10	0.0125
1.498	1.514	0.00104	10	0.0107
1.597	1.582	0.00072	10	0.0089
1.696	1.687	0.00041	10	0.0067
1.794	1.789	0.00049	10	0.0074
1.893	1.877	0.00181	10	0.0142
1.999	1.991	0.00029	10	0.0057

$$\bar{S} = 0.01023$$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 1 แสดงว่าเครื่องชั่งที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำในการชั่งดังนี้

1. มีความแม่นยำในการชั่งสูงสุดที่ 0.099 กรัม (0.0049)
2. มีความแม่นยำในการชั่งต่ำสุดที่ 0.496 กรัม (0.0189)
3. มีความแม่นยำในการชั่งเท่ากันที่ 0.198 และ 1.999 กรัม (0.0057)
4. มีความแม่นยำในการชั่งเท่ากันที่ 0.696 และ 1.099 กรัม (0.0135)
5. มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยในการชั่งในช่วง 0.099 ถึง 1.999 กรัม

เท่ากับ 0.0102

1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการชั่งเปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่ง คือ เอ็มมี ที่สร้างขึ้นด้วย t-test ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยที่ได้ออกจากการชั่งเปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐาน
กับเครื่องชั่ง คีอีเอ็มบี ที่สร้างขึ้น

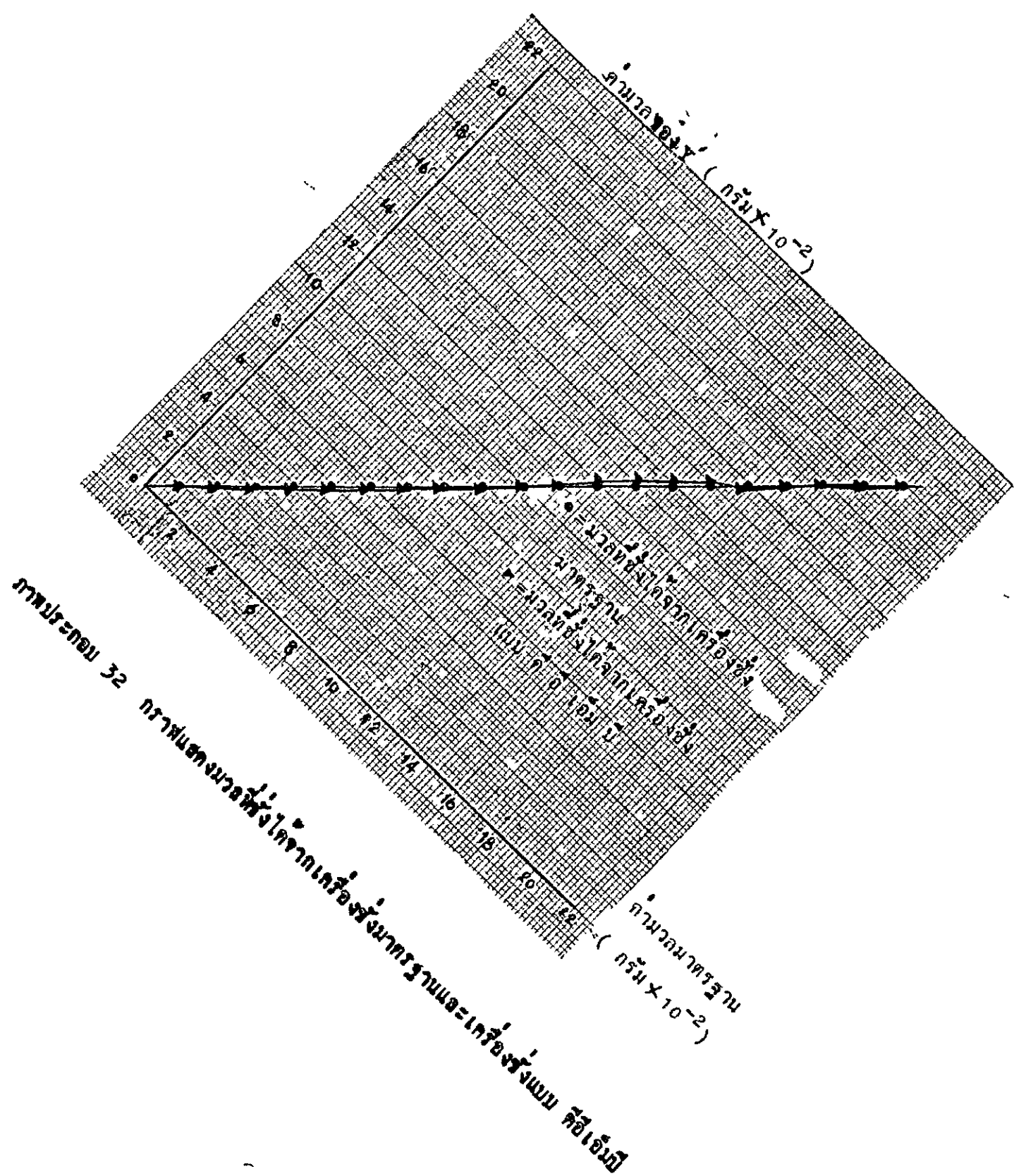
มวล (กรัม)	μ_0	\bar{x}	$x - \mu_0$	s	n	t
0.099	0.099	0.092	-0.007	0.0049	10	- 4.5175*
0.198	0.198	0.179	-0.019	0.0057	10	-10.5409*
0.251	0.251	0.271	-0.026	0.0099	10	- 8.3049*
0.395	0.395	0.370	-0.025	0.0124	10	- 6.3756*
0.496	0.496	0.470	-0.028	0.0189	10	- 4.6849*
0.597	0.597	0.567	-0.030	0.0106	10	- 8.9498*
0.696	0.696	0.676	-0.020	0.0135	10	- 4.6849*
0.795	0.795	0.785	-0.010	0.0071	10	- 4.4539*
0.893	0.893	0.877	-0.016	0.0146	10	- 3.4655*
1.000	1.000	0.991	-0.009	0.0102	10	- 2.7902
1.099	1.099	1.076	-0.023	0.0135	10	- 0.7027
1.198	1.198	1.217	0.019	0.0082	10	7.3272*
1.297	1.297	1.320	0.023	0.0088	10	8.2650*
1.395	1.395	1.414	0.019	0.0125	10	4.8067*
1.498	1.498	1.514	0.016	0.0107	10	4.7286*
1.597	1.597	1.582	-0.015	0.0089	10	- 5.3297*
1.696	1.696	1.687	-0.009	0.0067	10	- 4.2478*
1.794	1.794	1.789	-0.005	0.0074	10	- 2.1367
1.893	1.893	1.877	-0.016	0.0142	10	- 3.5631*
1.999	1.999	1.991	-0.008	0.0057	10	- 4.4383*

$$t (df = 9, \alpha 0.01) = \pm 3.250$$

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง ๔ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการชั่งมวล
 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอี เอ็มบี ที่สร้าง ที่มวล
 1.000, 1.099 และ 1.794 กรัม มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่
 ระดับ 0.01 ส่วนมวลชั่งอื่น ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

กราฟแสดงผลการชั่งมวลจากเครื่องชั่งมาตรฐานและเครื่องชั่งแบบ คีอี เอ็มบี
 ที่สร้างแสดงในภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความหนาแน่นของอากาศที่ระดับความสูงต่าง ๆ

1.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งมาตรฐาน และเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งมาตรฐานและเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างขึ้น ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

มวลมาตรฐาน (กรัม) X	มวลที่ชั่ง(กรัม) Y	X ²	Y ²	X.Y	r
0.099	0.092	0.00980	0.00846	0.00912	r ² =0.99971
0.198	0.179	0.03920	0.03204	0.03544	
0.297	0.271	0.08821	0.07344	0.08049	
0.395	0.370	0.15603	0.13690	0.14615	
0.496	0.470	0.24602	0.22090	0.23406	
0.597	0.567	0.35641	0.32149	0.33849	
0.696	0.676	0.48441	0.45698	0.47049	
0.795	0.785	0.63203	0.61623	0.62408	
0.893	0.877	0.79745	0.76913	0.78316	
1.000	0.991	1.00000	0.98208	0.99100	
1.099	1.096	1.20780	1.20122	1.20450	
1.198	1.217	1.43520	1.48109	1.45797	
1.297	1.320	1.68221	1.74240	1.71204	
1.395	1.414	1.94603	1.99939	1.97253	
1.498	1.514	2.24400	2.29210	2.26797	

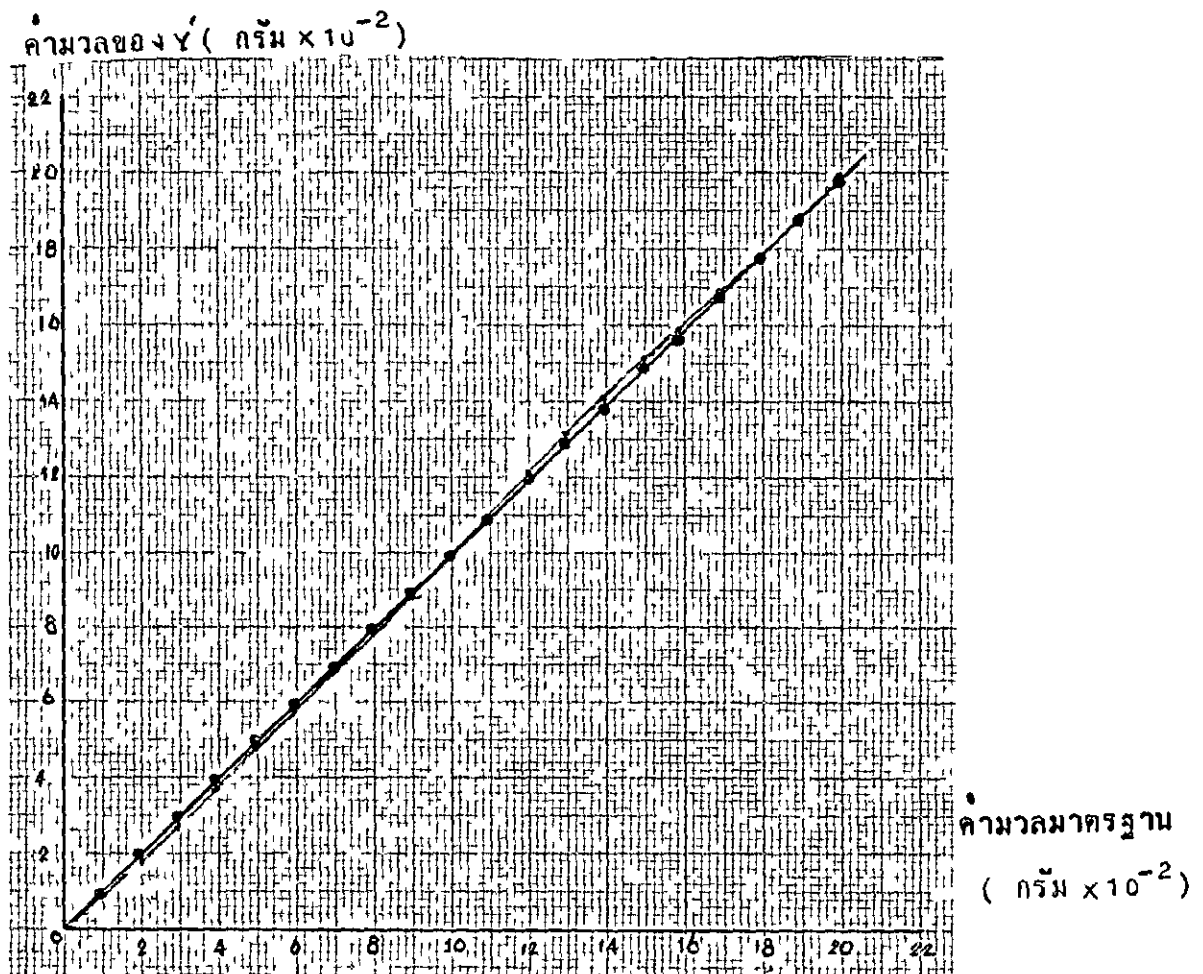
ตาราง 3 (ต่อ)

มวลมาตรฐาน (กรัม) X	มวลที่ชั่ง(กรัม) Y	X ²	Y ²	X.Y	r
1.5๗7	1.982	2.55041	2.50272	2.52645	
1.696	1.6๘7	2.87642	2.845๑7	2.86115	
1.794	1.78๗	3.21844	3.20052	3.20๗47	
1.893	1.877	3.58345	3.52313	3.55316	
1.99๗	1.๗91	3.99600	3.๑6408	3.๑8001	

$$\begin{aligned} \bar{X} &= 1.04660 & \Sigma X^2 &= 28.54951 & \Sigma X &= 20.92000 & N &= 20 & \bar{Y} &= 1.03825 \\ \Sigma Y &= 20.76500 & \Sigma Y^2 &= 28.37037 & \Sigma X.Y &= 28.45773 & r &= 0.99985 \\ b_{yx} &= 0.98289 & a_{yx} &= 0.00956 & s_y &= 0.59873 & s_{yx} &= \pm 0.01019 \end{aligned}$$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 3 แสดงว่า การชั่งของเครื่องชั่งมาตรฐาน กับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.99985 มีความเป็นเชิงเส้น 0.9๗971 มีค่าความชันของเส้นกราฟ 0.98289 นอกจากนี้ เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายผล ± 0.01019 แสดงว่า ในการทำนายค่ามวลของการชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี เมื่อทราบค่ามวลที่แท้จริง มีความคลาดเคลื่อนในการทำนาย ± 0.01019 กรัม

กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการชั่งมวลของเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง แสดงในภาพประกอบ 33



ภาพประกอบ 33 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการรั้งค้ำยเครื่องรั้งมาตรฐาน
และเครื่องรั้งแบบ คีซีเจ็มบี

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการชั่งมวล เปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสงบางจุด

2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล จากการชั่งของเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง เพื่อหาความแม่นยำ (Precision) ด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี เพื่อหาความแม่นยำด้วยควมเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในตำแหน่งโฟโตเซลล์รับแสงบางจุด

มวล (กรัม)	\bar{x}	$\Sigma(x - \bar{x})^2$	n	s
0.099	0.010	0.02995	10	0.0576
0.198	0.030	0.00004	10	0.0022
0.297	0.056	0.00006	10	0.0026
0.395	0.099	0.00019	10	0.0046
0.498	0.192	0.00426	10	0.0217
0.597	0.328	0.00092	10	0.0101
0.696	0.553	0.00487	10	0.0233
0.795	0.727	0.00019	10	0.0046
0.893	0.839	0.00297	10	0.0018
1.000	0.995	0.00004	10	0.0022
1.099	1.21	0.0002	10	0.0047
1.198	1.417	0.0003	10	0.0058
1.297	1.817	0.0002	10	0.0047
1.350	1.932	0.00070	10	0.0278

$$\bar{s} = \pm 0.0124$$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 4 แสดงว่า ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสง บางจุดที่ไม่เหมาะสม เครื่องชั่งที่สร้างมีความแม่นยำในการชั่งดังนี้

1. มีความแม่นยำในการชั่งสูงสุดที่ 0.893 กรัม (0.0018)
2. มีความแม่นยำในการชั่งต่ำสุดที่ 0.099 กรัม (0.0576)
3. มีความแม่นยำในการชั่ง เท่ากันที่ 0.198 และ 1.000 กรัม (0.0022)
4. มีความแม่นยำในการชั่ง เท่ากันที่ 1.099 และ 1.297 กรัม (0.0047)
5. มีความแม่นยำในการชั่ง เท่ากันที่ 0.395 และ 0.795 กรัม (0.0046)
6. มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยในการชั่งช่วง 0.099 ถึง 1.35 กรัม

เท่ากับ 0.0124

2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการชั่ง เปรียบเทียบระหว่าง เครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่ง คีอีเอ็มบี ที่สร้าง ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสงบางจุด ด้วย t-test ดังในตาราง 5

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไต่จากการชั่งเปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง ในตำแหน่งที่โฟโตเซลรับแสงบางจุด

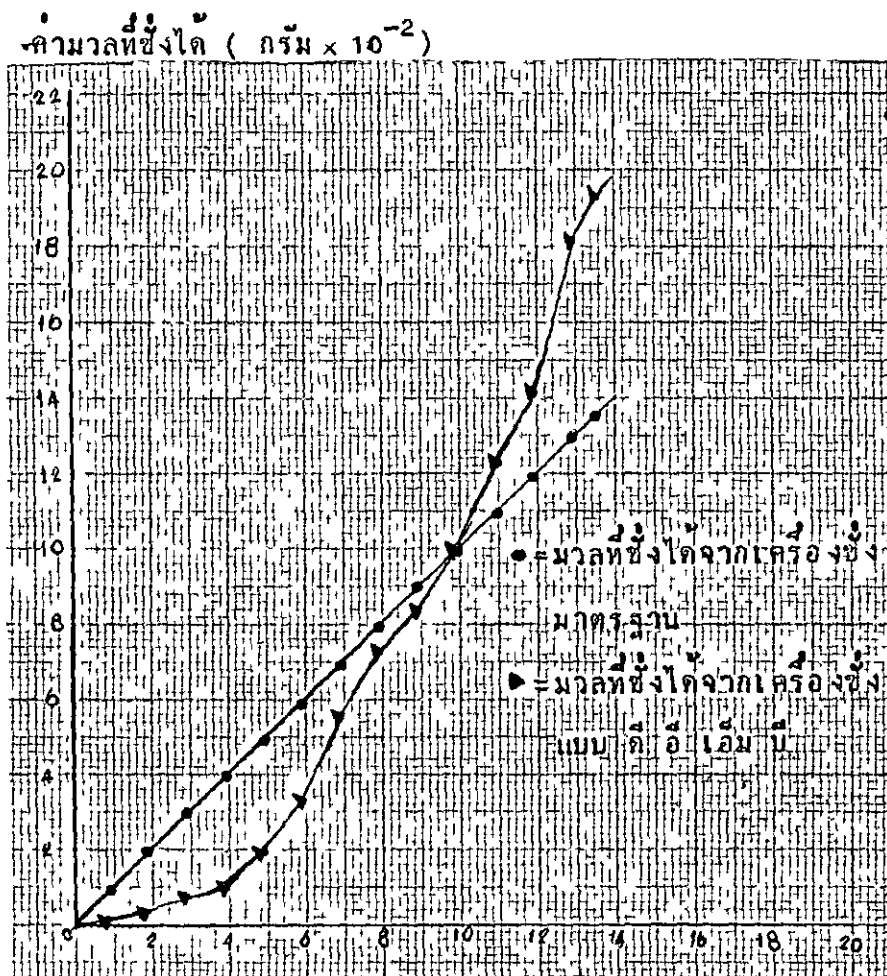
มวล (กรัม)	μ_0	\bar{x}	$\bar{x} - \mu_0$	s	n	t
0.099	0.099	0.010	-0.089	0.0576	10	- 4.8794*
0.198	0.198	0.030	-0.168	0.0022	10	-249.8513*
0.297	0.297	0.056	-0.241	0.0026	10	-293.9024*
0.395	0.395	0.099	-0.296	0.0046	10	-200.0000*
0.498	0.498	0.192	-0.306	0.0217	10	- 44.4767*
0.597	0.597	0.328	-0.269	0.0101	10	- 84.0625*
0.696	0.696	0.553	-0.044	0.0233	10	- 18.9404*
0.795	0.795	0.727	-0.068	0.0046	10	- 45.9459*
0.893	0.893	0.839	-0.054	0.0018	10	- 93.9649*
1.000	1.000	0.995	-0.005	0.0022	10	- 7.2464*
1.099	1.099	1.210	0.111	0.0047	10	47.4359*
1.198	1.198	1.417	0.219	0.0058	10	118.3784*
1.297	1.297	1.817	0.520	0.0047	10	403.1001*
1.350	1.350	1.932	0.582	0.0278	10	69.6591*

$$t (df = 9, \alpha 0.01) = \pm 3.25$$

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 5 แสดงว่า ข้อมูลที่ไต่จากการชั่งมวลเปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างในตำแหน่งที่โฟโตเซลรับแสงบางจุด ทุกช่วงมวลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

กราฟแสดงผลการชั่งมวล จากเครื่องชั่งมาตรฐานและเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างในตำแหน่งที่โฟโตเซลรับแสงบางจุด แสดงในภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 กราฟแสดงค่ามวลที่ขี้ังด้วยเครื่องขี้ังมาตรฐานและเครื่องขี้ังแบบ คี อี เอ็ม บี ในตำแหน่งที่โฟโตเซอรับแสงบางจุด

2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งมาตรฐาน และเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างขึ้น ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสงบางจุด เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งมาตรฐานและเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างขึ้น ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสงบางจุด

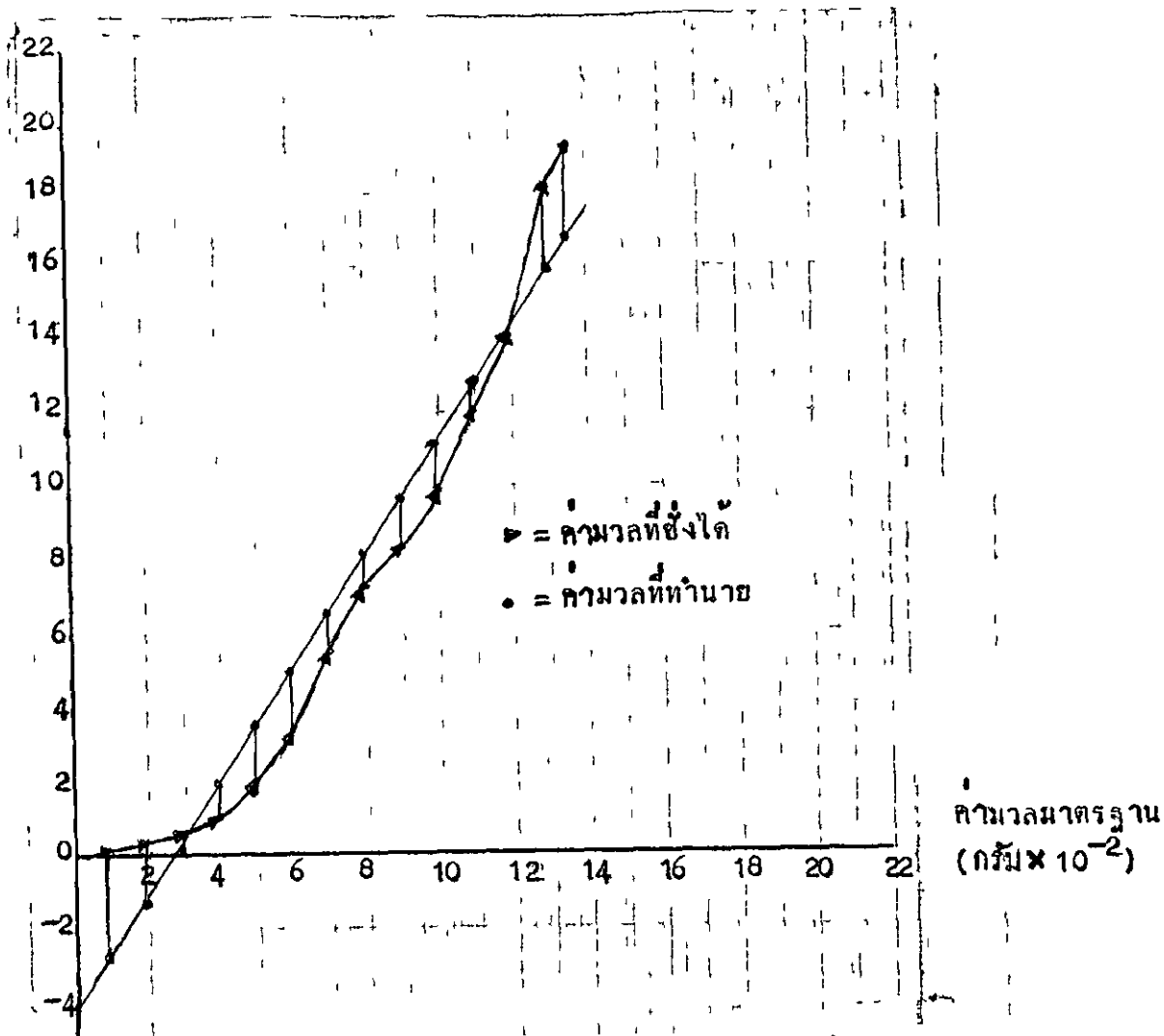
มวลมาตรฐาน (กรัม)	มวลที่ชั่ง (กรัม)	x^2	y^2	$x \cdot y$	r
x	y				
0.099	0.010	0.00980	0.00010	0.00099	
0.198	0.030	0.03920	0.00090	0.00594	
0.297	0.056	0.08821	0.00314	0.01663	
0.395	0.099	0.15603	0.00980	0.03911	
0.498	0.192	0.24800	0.03686	0.09562	
0.597	0.328	0.35641	0.10758	0.19582	
0.696	0.553	0.48441	0.30581	0.38489	
0.795	0.727	0.63203	0.52853	0.57797	$r^2=0.94107$
0.893	0.839	0.79745	0.70392	0.74923	
1.000	0.995	1.00000	0.99003	0.99500	
1.099	1.210	1.20780	1.46410	1.32979	
1.198	1.417	1.43520	2.00789	1.69757	
1.297	1.817	1.68221	3.30149	2.35665	
1.350	1.932	1.82250	3.73262	2.60820	

$$\begin{aligned} \bar{X} &= 0.74371 & \Sigma X^2 &= 9.95926 & \Sigma X &= 10.41200 & N &= 14 & \bar{Y} &= 0.72893 \\ \Sigma Y^2 &= 13.19277 & \Sigma Y &= 10.20500 & \Sigma X \cdot Y &= 11.05341 & r &= 0.97009 \\ b_{yx} &= 1.56329 & a_{yx} &= 0.43371 & s_y &= 0.44262 & s_{yx} &= \pm 0.10745 \end{aligned}$$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการาง 6 แสดงว่า การชั่งของเครื่องชั่งมาตรฐาน กับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ในตาแหน่งที่โฟโต เซลรับแสงบางจุด มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.97009 นอกจากนี้ที่โฟโต เซลรับแสงในตาแหน่งนี้ของ เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายผล ± 0.10745 และมีค่าความชันของกราฟ 1.56329 กรัมต่อโวลท์

กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการชั่งของ เครื่องชั่งมาตรฐานกับ เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง ในตาแหน่งที่โฟโต เซลรับแสงบางจุด แสดงในภาพประกอบ 35

ค่ามวลของ γ' (กรัม $\times 10^{-2}$)



ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการชั่งด้วยเครื่องชั่งมาตรฐาน และเครื่องชั่งแบบ คีซีเอ็มบี ในตำแหน่งที่โฟโตเซอรับแสงบางจุด

บทที่ 5

บทย่อ สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องชั่งที่มีประสิทธิภาพ ชั่งมวลได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม และแสดงผลการชั่งออกมาเป็นตัวเลขระบบดิจิทัล
2. เพื่อหาความแม่นยำของเครื่องชั่งที่สร้างขึ้น โดยเปรียบเทียบกับเครื่องชั่งมาตรฐานที่ผลิตจากต่างประเทศ ดังนี้
 - 2.1 เปรียบเทียบความไวของเครื่องชั่ง
 - 2.2 เปรียบเทียบความแน่นอนในการอ่านค่ามวล
 - 2.3 เปรียบเทียบความแม่นยำในการชั่ง

วิธีสร้าง

1. ออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องชั่งแบบ คีอี่เอ็มบี ให้มีลักษณะเหมาะสมกับการใช้งาน
2. สร้างแบบประกอบส่วนต่าง ๆ ของเครื่องชั่ง โดยใช้วัสดุที่หาซื้อง่ายในประเทศไทย
3. ออกแบบและทดลองวงจรไฟฟ้าของเครื่องชั่งแบบ คีอี่เอ็มบี
4. สร้างวงจรไฟฟ้าที่ประกอบในตัวเรือนของเครื่องชั่ง ที่ออกแบบไว้ในข้อ 3
5. นำค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่ชั่งจากเครื่องชั่งมาตรฐานระบบดิจิทัล ของเมทเลอร์ ที่มีความละเอียดในการชั่ง 0.0001 กรัม ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร มาชั่งกับเครื่องชั่งที่สร้างขึ้น แล้วเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องชั่ง

วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลจากการชั่งมวลของเครื่องชั่งที่สร้างขึ้น ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสงได้ที่ดีที่สุด
 - 1.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากการชั่ง เพื่อหาความแม่นยำด้วยความเป็นเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - 1.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐาน กับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างด้วย t -test
 - 1.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากการชั่งระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างเพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด
 - 1.4 วิเคราะห์ข้อมูลจากการชั่งระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างเพื่อหาความไวของเครื่องชั่ง ด้วยค่าความชันของเส้นกราฟ
2. วิเคราะห์ข้อมูลจากการชั่งมวลของเครื่องชั่งที่สร้าง ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสงบางจุด
 - 2.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากการชั่ง เพื่อหาความแม่นยำในการชั่ง ด้วยความเป็นเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - 2.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการชั่งเปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างด้วย t -test
 - 2.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการชั่งจากเครื่องชั่งมาตรฐานและเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างเพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด
 - 2.4 วิเคราะห์ข้อมูลจากการชั่งระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างเพื่อหาความไวของเครื่องชั่ง ด้วยค่าความชันของกราฟ

สรุปและอภิปรายผล

1. เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างและปรับโฟโตเซลล์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพการทำงานดังนี้
 - 1.1 มวลที่อ่านค่าได้อยู่ในช่วง 0.100 ถึง 2.000 กรัม ถ้าต้องการอ่านค่าให้ละเอียดกว่านี้ ต้องเพิ่มอัตราการขยายสัญญาณ แต่ปรากฏว่าจะมีการรบกวนจาก

สัญญาณภายนอก ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าได้ จึงอาจกล่าวได้ว่า เครื่องชั่งที่สร้างขึ้นมีช่วงการใช้งานจำกัด

1.2 เครื่องชั่งที่สร้างขึ้น สามารถอ่านค่าได้ถึงหลักจุดทศนิยมตำแหน่งที่สามของกรัม แสดงว่า ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งที่สร้างขึ้นนี้ อ่านได้ละเอียดถึง 0.001 กรัม แต่อย่างไรก็ตามเครื่องชั่งดังกล่าวก็ยังไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้คือ 0.0001 กรัม

1.3 เครื่องชั่งที่สร้าง มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการชั่ง ± 0.0102 กรัม แสดงว่า มีความแม่นยำในการชั่งสูง

1.4 การชั่งเปรียบเทียบระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบคีย์เอ็มบี ที่สร้างควยค่า t -test ที่มวล 1.000, 1.099 และ 1.794 กรัม ให้ผลในการชั่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนความมวลอื่น ๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติแสดงว่าเครื่องชั่งที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเป้าหมายอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการปรับศูนย์และการปรับกำลังขยายของเครื่องชั่งไม่เต็มที่ควร รวมทั้งผลจากการแปรปรวนอันเนื่องมาจากคุณภาพของอุปกรณ์จำพวกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้

1.5 ความสัมพันธ์ของการชั่งระหว่างเครื่องชั่งมาตรฐานกับเครื่องชั่งแบบคีย์เอ็มบี ที่สร้าง มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.99985 มีความเป็นเชิงเส้น 0.99971 มีความชันของเส้นกราฟ 0.98289 และมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย ± 0.01019 แสดงว่า ข้อมูลที่ได้จากการชั่งของเครื่องชั่งทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันมาก และมีความไวในการชั่งของเครื่องชั่ง 0.98289 กรัมต่อโวลต์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเครื่องชั่งที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพในเชิงเป็นเส้นตรงของการชั่งดีมาก

2. เครื่องชั่งที่สร้างขึ้นมีลักษณะการทำงานไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากโฟโตเซลล์ที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดมีพื้นที่ผิวที่รับแสงไม่เท่ากัน และโฟโตเซลล์แต่ละตัวก็ยังมีประสิทธิภาพในการรับแสงไม่เท่ากัน จึงเป็นผลทำให้การทำงานของเครื่องชั่งที่สร้างไม่สม่ำเสมอจะมีเพียงบางจุดเท่านั้นที่มีการรับแสงได้เหมาะสมและพอที่จะใช้งานได้

ขอเสนอแนะ

1. เครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้าง สามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและเป็นที่น่าพอใจได้ ถ้าได้รับการปรับปรุงดังต่อไปนี้

1.1 เลือกใช้โฟโตเซลล์ที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดที่มีคุณภาพสูง มีความเป็นเชิงเส้นในการรับแสงเท่ากัน

1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควรมีคุณภาพสูง ปีเพอร์ เชนต์ความกลาดเคลื่อน

1.3 ควรหาวิธีการให้มีสัญญาณรบกวนวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ให้น้อยที่สุด เนื่องจากมีผลต่อภาคแสดงผลของวงจรดิจิทัล โวลท์มิเตอร์

1.4 ใช้วงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความคงที่มากที่สุด

2. ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรสร้างเครื่องชั่งที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

2.1 ควรสร้างเครื่องชั่งที่มีความละเอียดและมีความแน่นอนในการชั่งสูงกว่านี้ โดยใช้ระบบเดียวกันกับเครื่องชั่งแบบ คีอีเอ็มบี ที่สร้างขึ้น

2.2 ควรศึกษาถึงผลของแรงบิดของลวดที่แขวนลอยกาน และผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อชกวดคในส่วนบนของเครื่องชั่ง กับผลของการชั่งมวล

2.3 ควรมีการสร้างเครื่องชั่งไฟฟ้า ระบบดิจิทัล ที่มีระบบการชั่งงานโดยใช้ตัวตรวจวัดต่างออกไป เช่น วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ปิดชกวดคในสนามแม่เหล็กกลับ

3. ควรนำหลักการบางประการของเครื่องชั่ง ไปประยุกต์สร้างเครื่องมือชนิดอื่น เช่น ดิจิทัล พี-เวซมิเตอร์ เครื่องวัดการนำไฟฟ้า ระบบดิจิทัล

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- ชูศรี วงศ์รัตน์ เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย โรงพิมพ์และทาบกเจริญผล 2525,
252 หน้า
- นกุล กระจาย และ "รัตนา" (นามแฝง) "โซลาร์เซลล์ เปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้า"
ชัยพุกมหาวิทยาลัย 28(15) : 16 - 20 กรกฎาคม 2524
- ประทีป บัญญัตินรินทร์ ทฤษฎีและการใช้งานวงจรดิจิทัล เล่ม 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง 2526,
201 หน้า
- ประสงค์ สิริพิทไชวรรณ การออกแบบและสร้าง เครื่องนับดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ปรินญาพิมพ์
กค.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2523, 108 หน้า อีศำเนา
- ไพรัช รัชพงษ์ และ สมเกียรติ สุภเดช อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง 2521, 231 หน้า
- มนตรี แยม่วงษ์ "เซลล์สุริยะซิลิคอนอสัณฐาน" วารสารรวมควำแหง 9(1)
วิทยาศาสตร์ : 31 - 40 2526
- มนตรี สีทับทิม "เวลแสงอาทิตย์" โลกวิทยาศาสตร์ 3(5) : 27 - 33 สิงหาคม 2526
- ปิ่น ภูววรรณ ทฤษฎีการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 2 พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ
แผนกเทคโนโลยีการศึกษา ซีเอ็คยูเคชั่น 2521, 247 หน้า
- ลิขิต วิจิณวณะ "โฟโตโวลเทอิกเซลล์" อิเล็กทรอนิกส์โมเดล : 10 สิงหาคม 2520
วิทยาศาสตร์บริการ, กรม "การสอบเทียบมวลมาตรฐาน" ข่าวกรบวิทยาศาสตร์บริการ
ฉบับที่ 105 : 2 กรกฎาคม 2527
- "การตรวจสอบและสอบเทียบเครื่องชั่ง" ข่าวกรบวิทยาศาสตร์บริการ
ฉบับที่ 107 : 2 - 4 มกราคม 2528
- สมชัย วงษ์เมตตา "ละกนอื่น ๆ "ผลของอุณหภูมิต่อเซลล์แสงอาทิตย์" วิศวกรรมสาร
ลาดกระบัง : 3/5 กันยายน 2527

- Backus, Charles E. "Solar Cell," IEEE. 1 : 110 - 117, January, 1978.
- Balance Weights and Precise Laboratory, National Physical Laboratory, Note on Applied Science No. 7. H.M. Stationary Office, London, 1960. 51 p.
- Basset, J. and others. Vogel's Textbook of Quantitative Inorganic Analysis. William Clowes Ltd., Beccles and London, 1982. 925 p.
- Beaton, G.V. "An Automatic Force Balance for Gravimetric and Analysis," Journal of Scientific Instrument. 2 : 252 - 256, January, 1969.
- Bigg, P.H. "Weight in Air Basis of Adjustment of Precision Weights," Journal of Scientific Instrument. 36 : 359 - 361, August, 1959.
- Brown, G.E. and Sally, E. Quantitative Chemistry. Printice-Hall Inc., Englewood Clift, N.J., 1964. 661 p.
- Creer, K.M. and Ade Sa. "An Automatic Translation Balance for Recording Variation of Magnetization," Journal of Scientific Instrument. 3 : 74 - 75, January, 1973.
- Cross, J.D. and Smalley, C. "Electrical Measurement with an Electronic Microforce Balance," Journal of Scientific Instrument. 2 : 63, February, 1969.
- Czanderna, A.W. and Honig, J.M. "Sensitivity Quartz Beam Balance," Journal of Analytical Chemistry. 29 : 1206 - 1210, August, 1957.
- Department of Scientific and Industrial Research "Testing Laboratory Balance," Physics and Engineering Laboratory. New Zealand . 1 - 12, July, 1979.
- Dictionary of Scientific and Technological Terms, McGraw-Hill, New York, 1984. 1781 p.
- Erdea, U. "Force and Weight Measurement," Journal of Scientific Instrument. 15 : 857 - 871, August, 1982.
- Ewing, G.W. "Electronic Laboratory Balance," Journal of Chemical Education. 53 : A252 - A257, May, 1976.
- Gregg, S.J. and Sing, K.S.W. Adsorption, Surface Area and Porosity. Academic Press Inc., London, 1969. 371 p.

- Harris, W.E. and Kretschval, B. An Introduction to Chemical Analysis. Holt-Saunders, Tokyo, 1982. 611 p.
- Hirsch, R.I. "Modern Laboratory Balance," Journal of Chemical Education. 44 : A1023 - A1048, December, 1967.
- _____ "Modern Laboratory Balance," Journal of Chemical Education. 45 : A7 - A40, January, 1968.
- Hurst, P.B. and Bellis, S.E. "Procedures for Mass Calibration," Physical and Engineering Laboratory Report No. 172. Newzealand March, 1982. 51 p.
- Illustrated Science and Invention Encyclopedia International Edition.2 129 - 136, E.S. Stattman Inc., New York, 1971.
- Skogg, D.A. and West, D.M. Fundamental of Analytical Chemistry. Saunder Dollage Publishing, Tokyo, 1982. 859 p.
- Vogel, A.I. A Textbook of Quantitative Inorganic Analysis. Lowe and Brydone Ltd., London, 1972. 1216 p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการชั่งตวง เครื่องชั่งแบบ คิวเอ็มบี

ตาราง 1 แสดงผลการชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบ คี อี เอ็ม บี ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสงได้
เหมาะสมที่สุด

มวล (กรัม)	ผลการชั่ง									
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
0.099	0.090	0.100	0.090	0.090	0.080	0.090	0.090	0.090	0.100	0.090
0.198	0.180	0.180	0.180	0.170	0.180	0.180	0.170	0.180	0.190	0.180
0.297	0.290	0.270	0.260	0.260	0.270	0.260	0.280	0.270	0.280	0.270
0.395	0.360	0.360	0.360	0.370	0.390	0.360	0.370	0.390	0.360	0.380
0.498	0.470	0.440	0.460	0.490	0.470	0.490	0.500	0.460	0.450	0.470
0.597	0.570	0.550	0.560	0.580	0.580	0.560	0.570	0.560	0.580	0.560
0.696	0.650	0.670	0.680	0.690	0.680	0.660	0.690	0.670	0.690	0.680
0.795	0.770	0.790	0.780	0.790	0.790	0.790	0.780	0.790	0.780	0.790
0.893	0.870	0.860	0.890	0.900	0.890	0.870	0.860	0.870	0.890	0.890
1.000	0.990	0.990	0.980	1.000	0.990	0.980	0.990	0.990	0.990	0.990
1.099	1.110	1.120	1.080	1.090	1.090	1.110	1.100	1.080	1.090	1.090
1.198	1.210	1.230	1.220	1.210	1.220	1.210	1.230	1.210	1.220	1.210
1.297	1.330	1.310	1.320	1.320	1.330	1.320	1.310	1.310	1.330	1.320
1.395	1.430	1.400	1.400	1.410	1.430	1.400	1.420	1.420	1.410	1.420
1.498	1.500	1.510	1.510	1.530	1.520	1.520	1.500	1.530	1.510	1.510
1.597	1.580	1.590	1.580	1.570	1.570	1.590	1.600	1.590	1.580	1.570
1.696	1.690	1.690	1.690	1.680	1.690	1.700	1.680	1.690	1.680	1.680
1.794	1.790	1.800	1.780	1.790	1.800	1.790	1.780	1.790	1.780	1.790
1.893	1.860	1.890	1.890	1.870	1.890	1.860	1.890	1.890	1.860	1.970
1.999	1.990	1.990	1.990	2.000	1.990	1.980	1.990	1.990	1.990	2.000

ตาราง 2 แสดงผลการชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบ คี อีเอ็ม บี ในภาชนะที่โฟโตเซลล์รับแสงบางจุด

มวล (กรัม)	ผลการชั่ง									
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
0.0๗๗	0.010	0.011	0.010	0.00๗	0.008	0.012	0.011	0.00๗	0.010	0.011
0.1๗8	0.030	0.02๗	0.032	0.031	0.028	0.02๗	0.032	0.033	0.026	0.030
0.2๗7	0.056	0.058	0.059	0.057	0.058	0.056	0.055	0.054	0.060	0.051
0.3๗5	0.100	0.0๗8	0.101	0.100	0.0๗๗	0.102	0.1๐1	0.102	0.0๗7	0.086
0.4๗8	0.215	0.213	0.214	0.216	0.215	0.212	0.211	0.210	0.217	0.210
0.5๗7	0.330	0.331	0.32๗	0.๓32	0.328	0.334	0.337	0.335	0.327	0.301
0.6๗6	0.565	0.564	0.565	0.566	0.563	0.567	0.562	0.561	0.568	0.4๗4
0.7๗5	0.728	0.730	0.727	0.72๗	0.731	0.726	0.721	0.720	0.723	0.735
0.8๗3	0.831	0.835	0.830	0.832	0.834	0.82๗	0.835	0.83๗	0.837	0.8๗0
1.000	0.๗๗7	0.๗๗6	0.๗๗8	0.๗๗6	0.๗๗5	0.๗๗8	0.๗๗1	0.๗๗3	0.๗๗5	0.๗๗6
1.0๗๗	1.206	1.207	1.204	1.205	1.208	1.206	1.20๗	1.211	1.211	1.220
1.1๗8	1.415	1.414	1.415	1.413	1.418	1.41๗	1.417	1.411	1.416	1.432
1.2๗7	1.813	1.812	1.814	1.813	1.81๗	1.817	1.816	1.814	1.81๗	1.835
1.350	1.๗64	1.๗65	1.๗66	1.๗65	1.๗67	1.๗6๗	1.๗๗1	1.๗67	1.๗8๗	1.88๗

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทนายคำมวด y'
เมื่อทราบคำมวดมาตรฐาน (x)

ตาราง 3 แสดงค่ามวล Y' เมื่อทราบมวลมาตรฐาน (x) ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสง
 ที่ที่สุด

มวลมาตรฐาน	มวลเฉลี่ยที่ชั่งได้	ค่าที่ทำนาย (Y')
0.099	0.092	0.0919
0.198	0.179	0.1935
0.297	0.271	0.2855
0.395	0.370	0.3765
0.496	0.470	0.4703
0.597	0.567	0.5642
0.696	0.676	0.6561
0.795	0.785	0.7481
0.893	0.877	0.8391
1.000	0.991	0.9385
1.099	1.096	1.0305
1.198	1.217	1.1224
1.297	1.320	1.2144
1.395	1.414	1.3054
1.498	1.514	1.4011
1.597	1.582	1.4931
1.696	1.687	1.5849
1.794	1.789	1.6759
1.893	1.877	1.7679
1.999	1.991	1.8665

ตาราง 4 แสดงค่ามวล Y' เมื่อทราบมวลมาตรฐาน (x) ในตำแหน่งที่โฟโตเซลล์รับแสง
บางจุด

มวลมาตรฐาน	มวลเฉลี่ยที่ชั่งได้	ค่าที่ทำนาย (Y')
0.095	0.010	-0.2787
0.198	0.030	-0.1242
0.297	0.056	0.0306
0.395	0.099	0.1838
0.498	0.192	0.3448
0.597	0.328	0.4996
0.696	0.553	0.6543
0.795	0.727	0.8091
0.893	0.893	0.9623
1.000	0.995	1.1296
1.099	1.210	1.2844
1.198	1.417	1.3945
1.297	1.817	1.5938
1.350	1.932	1.6767