



ปีการศึกษา 2532
เครื่องคัดเกรดผลไม้โดยใช้เกณฑ์น้ำหนัก
FRUIT GRADER BY WEIGHT

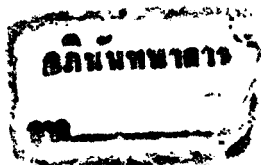
โดย

นายธงชัย ตั้งครุสรณ์	28.1510
นายนำโชค รัตนบริรักษ์	28.1515
นายวศิน วณิชยารัตน์	28.1519
นายอริคม เกียรติวิภากรณ์	28.1529

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

อาจารย์มิ่ง โลกกิจแสงทอง



ปฏิทินแผนปีการศึกษา 2532

เรื่อง เครื่องตัดเกรดผลไม้โดยใช้เกวียนน้ำหนัก

ผู้จัดทำ

1. นายธงชัย ตั้งครุสุรณ 28.1510
2. นายนำโชค รัตนบริรักษ์ 28.1515
3. นายวติน วณิชยวารนันต์ 28.1519
4. นายอริคม เกียรติวรกาญจน์ 28.1529

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์มี้ง ไกลกิจแสงทอง)



เครื่องคัดเกรดผลไม้ โดยใช้เกณฑ์น้ำหนัก

นายธงชัย ตั้งคุรุสรณ์

นายนำโชค รัตนบริรักษ์

นายวศิน วชิษฐ์วรนันต์

นายอติคม เกียรติวรกาญจน์

ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์มีง โลกกิจแสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

ปัญหาที่ธุรกิจส่งออกผลไม้ต้องประสบเสมอขึ้นคือ ความยากลำบากในการแบ่งเกรดผลไม้ออกเป็นประเภทๆตามน้ำหนักมาตรฐานที่ผู้ส่งออกต้องการ การใช้แรงงานมนุษย์ในการคัดแบ่งเกรดผลไม้ที่มีความแตกต่างกันไปตามธรรมชาติ อาจไม่คุ้มค่า มีความล่าช้า รวมทั้งเกิดความผิดพลาดได้ง่าย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว เครื่องคัดเกรดผลไม้โดยน้ำหนัก (Fruit Grader by Weight) จึงถูกสร้างขึ้น

เครื่องคัดเกรดผลไม้โดยน้ำหนัก ประกอบไปด้วยระบบทางกลประยุกต์เข้ากับระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ระบบที่สมบูรณ์แบบและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

FRUIT GRADER BY WEIGHT

Mr. TONGCHAI TUNGKURUSON

Mr. NUMCHOKE RATTANABORIRUK

Mr. VASIN VANICHVORANUN

Mr. ATIKOM KIATTIVORAKAN

ADVISOR Dr. MONGKOL MONGKOLVONGROJ

ADVISOR Mr. MING LOKITSANGTONG

ACADEMIC YEAR 1988

Abstract

This project deals with the design and development of an electronic fruit grader by weight. The system consists of a 16 bit micro computer, A/D converter, load cell, and amplifier to control the mechanical part of solenoids. Computer programs are developed in Turbo Pascal language. Test results showed that the system performance is good but it still needs some modification, especially on elimination of noise in the electronic circuits.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ข้อกำหนดของเครื่องตัดเกรดผลไม้โดยน้ำหนัก	1
1.2 ลักษณะและการทำงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ینگ์ชั้นทางทฤษฎี	4
2.2 การติดต่อกับคอมพิวเตอร์	8
2.3 โหลดเซลล์	17
2.4 การขยายสัญญาณ	22
2.5 การควบคุมโซลินอยด์	26
บทที่ 3 การคำนวณและการจัดสร้าง	29
3.1 การออกแบบโครงสร้างทางกล	29
3.2 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์	34
3.3 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์	40
บทที่ 4 ผลการทดลอง	42
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	44
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2.3.1: สเตรนเกจและการติดตั้ง	
เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2.3.2: โหลดเซลล์และรายละเอียด	
เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3.1.1: ตารางนํ้าเฉลี่ย	
แบบพิมพ์เขียวการจัดสร้างทางกล	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบัน ธุรกิจต่างๆให้ความสนใจกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เป็นอันมาก ทั้งนี้เพื่อความ สะดวก-ยุติธรรม ในการจัดซื้อ-ขายผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆด้วย ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า มาตรฐานของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยเบื้องต้นประการหนึ่ง ในการ กำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หากผลิตภัณฑ์ใดไม่เข้าข่ายมาตรฐานแล้ว แม้รูปลักษณ์จะดีเลิศสัก เพียงใดก็ตามก็ไม่อาจถือว่ามีความหมายได้

ธุรกิจด้านผลไม้ก็ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย ประเทศที่มีการส่งออก ของผลไม้เป็นจำนวนมาก ยิ่งต้องให้ความสำคัญกับเรื่องนี้เป็นพิเศษ ในการที่จะพัฒนามาตรฐาน ของผลิตภัณฑ์และขีดความสามารถในด้านต่างๆ เช่น การตัดขนาด การเก็บรักษา การบรรจุ เก็บห่อ การจัดส่ง ฯลฯ ให้ดีขึ้น เพื่อให้ผลไม้จากประเทศเราเป็นที่ยอมรับ และมีการส่งออกสู่ ต่างประเทศในเวลาต่อไป

การกำหนดมาตรฐานของผลไม้หนึ่ง อาจอาศัยน้ำหนักเป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรดของผลไม้ โดยแบ่งออกเป็นขนาดน้ำหนักแตกต่างกันไป ทั้งนี้การแบ่งเกรดโดยทั่วไป จะใช้แรงงานของมนุษย์ ทำการชั่งน้ำหนักผลไม้ และแยกออกเป็นกองๆตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งเห็นได้ว่า เกิดการสูญเสีย แรงงานโดยไม่จำเป็นและอาจมีความผิดพลาดได้มาก อีกทั้งยังสามารถทดแทนด้วยวิธีที่ดีกว่าได้ โดยการ ใช้เครื่องคัดเกรดผลไม้ด้วยน้ำหนัก (Fruit Grader)

เครื่องตัดเกรดผลไม้ด้วยน้ำหนักที่นำเสนอในปฏิญยานี้ฉบับนี้ มุ่งที่จะนำเทคโนโลยีอัน ทันสมัยในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม และพัฒนาขีดความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพ ของผลไม้เป็นสำคัญ โดยมีลักษณะและความสามารถต่างๆดังจะแสดงไว้ในหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้

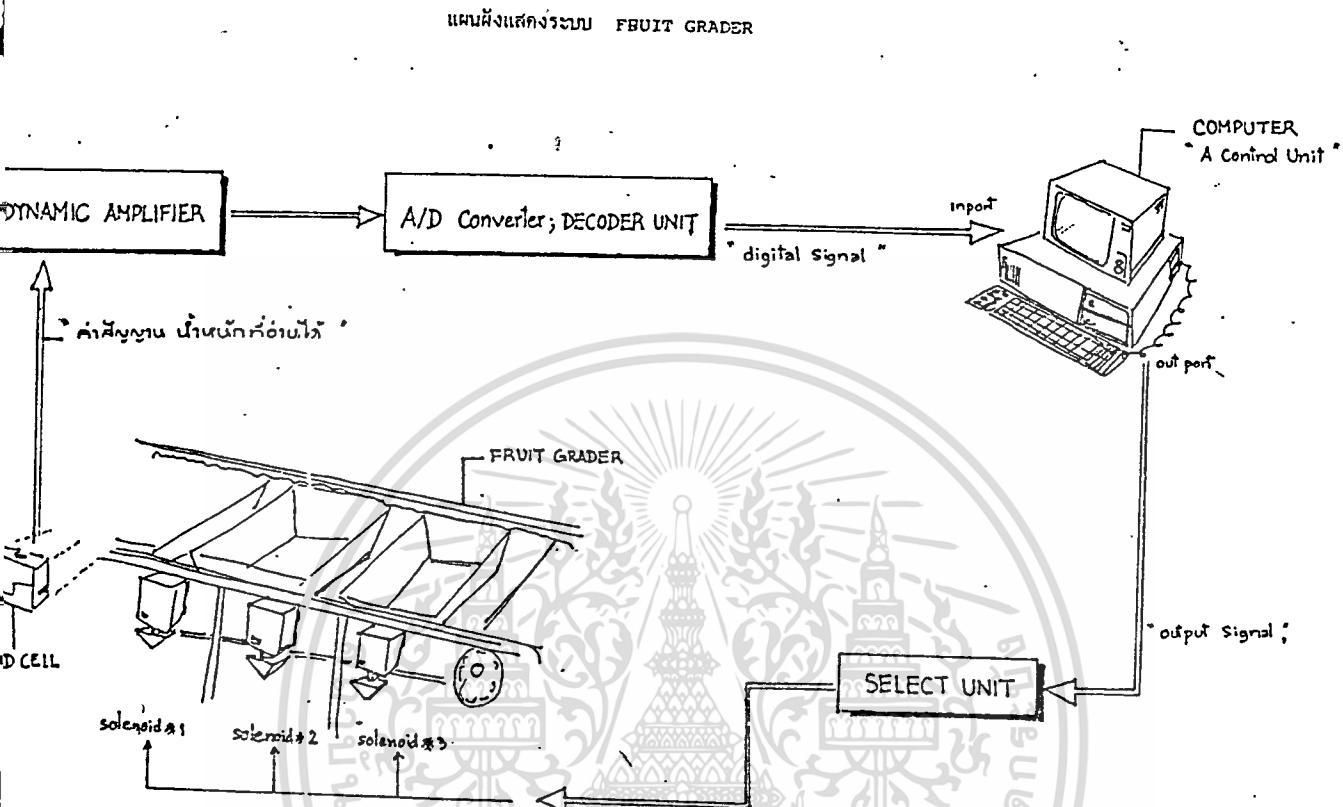
1.1 ความสามารถและข้อกำหนด

เจตนาเบื้องต้นของการจัดสร้างเครื่องคัดเกรดผลไม้ด้วยน้ำหนัก คือ ต้องการให้คัดเกรด "ส้มโอ" เป็นประการสำคัญ แต่ภายหลังการออกแบบได้ครอบคลุม ให้สามารถคัดเกรดผลไม้ชนิด อื่นๆได้อีกด้วย ทั้งนี้อ้างอิงจากข้อมูล-ข้อกำหนดของระบบข้างล่างนี้ คือ

น้ำหนักผลไม้ที่คัดได้	0-3 kg
ความแตกต่างของช่วงน้ำหนัก	1 ซีด = 100 g
ขนาดของผลไม้	ไม่ใหญ่เกินขนาดส้มโอ
ประสิทธิภาพในการคัด	1040 ลูก/ชม.
การคัดเกรด	แบ่งเป็น 3 ช่วงน้ำหนักแล้วแต่การกำหนด ของการใช้งาน แต่น้ำหนักสูงสุดในการคัด ไม่เกิน 3 kg

1.2 ลักษณะและการทำงาน

ลักษณะโดยคร่าวๆของระบบแสดงให้เข้ันดังรูป 1.2.1 ข้างล่างนี้



รูปที่ 1.2.1 ผังแสดงระบบเครื่องคัดเกรดผลไม้โดยน้ำหนัก

จะเห็นได้ว่า การทำงานของเครื่องคัดเกรดผลไม้โดยน้ำหนักเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ผลไม้จะถูกปล่อยลงบนกระเช้าที่ด้านปลายของเครื่อง จากนั้นกระเช้าจะเคลื่อนออกไปให้กระเช้าใบใหม่เข้าแทนที่ กระเช้าที่บรรจุผลไม้เรียบร้อยแล้วจะเลื่อนต่อเนื่องผ่านโหลดเซลล์ (Load Cell) ไป

ในขณะที่กระเช้าและผลไม้วิ่งผ่านโหลดเซลล์ น้ำหนักของกระเช้าและผลไม้จะถูกอ่านค่าโดยโหลดเซลล์และถูกส่งต่อไปเข้าคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับกับข้อมูลของตัวมันเพื่อตัดสินใจว่า ผลไม้สมควรจัดอยู่ในเกรดน้ำหนักรัดใน 3 เกรด จากนั้นคอมพิวเตอร์จะสั่งการให้เปิดช่องที่เหมาะสมโดยให้โซลินอยด์ทำงาน ทำให้ผลไม้ตกลงสู่ช่องนั้น นั่นคือผลไม้ถูกคัดเกรดเรียบร้อยแล้ว

เครื่องคัดเกรดผลไม้โดยน้ำหนัก ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ถูกออกแบบให้ยืดหยุ่นเพื่อปรับใช้งานได้กว้างขวาง และสามารถกำหนดขอบเขตน้ำหนักของแต่ละเกรดได้ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

การทำงานของเครื่องตัดเกรดผลไม้อัตโนมัติโดยน้ำหนัก เกิดจากการประสานงานกันระหว่าง ระบบทางกล ส่วนควบคุม วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทฤษฎี หรือหลักการที่เกี่ยวข้องนั้น สามารถแบ่งออกเป็นส่วนแต่ละส่วน ได้ดังนี้

ก) ส่วนระบบทางกล นับตั้งแต่การออกแบบโครงสร้างทางกลของเครื่องตัดเกรดผลไม้อัตโนมัติ การออกแบบส่วนส่งกำลัง ซึ่งจะเป็นการสะดวกกว่า หากจะกล่าวรวมๆกัน ไปทั้งทฤษฎีและการคำนวณออกแบบในบทที่ 3 (3.1 การออกแบบโครงสร้างทางกล)

ข) ส่วนควบคุมและวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ เริ่มตั้งแต่ เมื่อกระแสเข้าผลไม้อัตโนมัติเคลื่อนที่ผ่านโหลดเซลล์ (2.3 โหลดเซลล์) โหลดเซลล์จะส่งสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กมาก จนไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที จะต้องผ่านส่วนขยายสัญญาณ (หัวข้อ 2.4 การขยายสัญญาณ) โดยสัญญาณที่ออกมาจะอยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก (Analog) จะต้องแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเสียก่อน ข้อมูลดิจิทัลที่ออกมาจะถูกส่งเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลต่อไป (2.3 การติดต่อกับคอมพิวเตอร์) เมื่อประมวลผลแล้วจะส่งสัญญาณเพื่อไปควบคุมการเปิด-ปิดของโซลินอยด์ที่ใช้ในการตัดผลไม้อัตโนมัติต่อไป (2.5 การควบคุมอุปกรณ์กำลังและโซลินอยด์)

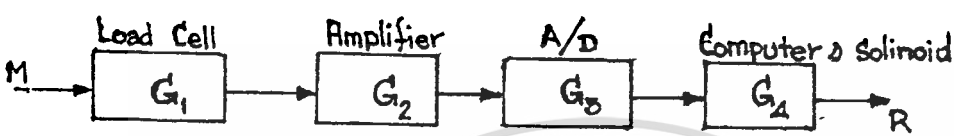
ค) ส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นโปรแกรมควบคุมการทำงาน ซึ่งในส่วนของโปรแกรมนั้นได้ใช้เทอร์โบปาสคาลเป็นภาษาในการออกแบบโปรแกรม (3.3 โปรแกรมควบคุม)

2.1 ฟังก์ชันทางทฤษฎี

ในการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ นั้น จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับส่วนดังกล่าว ซึ่งมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบดังนี้

2.1.1 Block Diagram

ในการออกแบบเครื่องตัดผลไม้น้ำโดยน้ำที่นั่น จะต้องพิจารณาแบบจำลอง Block Diagram ของระบบ ดังรูปที่ 2.1.1 คือ



โดย M : Mass Input

G_1, G_2, G_3, G_4 : Transfer Function

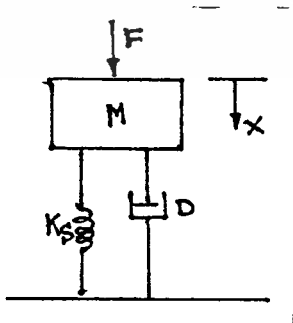
R : Output Responce

รูปที่ 2.1.1 Block Diagram

Block Diagram เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ จะต้องพิจารณาประกอบกับ Transfer Function ด้วย ซึ่งทฤษฎีที่ต้องพิจารณาในการหา Transfer Function จะกล่าวได้ดังนี้

A) Force Measurement Transfer Function

โดยคำจำกัดความของแรง (Force) แรงจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ (Motion) และระยะที่เปลี่ยนแปลง (Deflection) การวัดแรงสามารถกระทำได้โดยใช้ Transducer ซึ่งสร้างโดยวัสดุที่มีความยืดหยุ่น ทั้งนี้ระยะที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นฟังก์ชันของแรงกระทำ โดยมีแบบของ Ideal Elastic Transducer เป็นดังรูปที่ 2.1.2



โดย D : Damping Coefficieent

K_s : Stiffness of Spring

M : Mass

F : Forcing Function

รูปที่ 2.1.2 Ideal Elastic Transducer

ซึ่งเป็น Second Order System และสมการที่แสดงระบบ ดังกล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำ Laplace Transform และจัดรูปใหม่ จะได้

$$\frac{F(s)}{X(s)} = K_s (S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2)$$

โดย ω_n : Natural Frequency

ζ : Damping Coefficient

ความสัมพันธ์ของสมการนี้ เป็นการวัด Deflection ของวัสดุยืดหยุ่น จำเป็นต้องใช้ Transducer โดยจะแปลงระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า กรณีที่ Deflection มีค่าไม่มาก ระยะที่เปลี่ยนแปลงจะถูกวัดเป็น Unit Strain

Strain กำหนดโดย $\epsilon = \frac{dL}{L}$

เมื่อ dL : ระยะที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีแรงมากระทำ

L : ความยาวเดิม

ค่า Deflection ที่น้อยๆจะถูกวัดในหน่วย microstrain (10^{-6}) โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดใน Transducer ในกรณีของไหลดเซลจะใช้ Strain-measurement Transducer ในการวัดค่า

B) สเตรนเกจ (Strain Gauge)

- ทฤษฎี

สเตรนเกจจะทำตัวเป็นไปตามหลักของตัวนำไฟฟ้า ที่มีหน้าตัด A คงที่ และมีความยาว L ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงขนาดของมันเมื่อมีแรงมากระทำ เป็นผลทำให้ความต้านทานทางไฟฟ้า R เปลี่ยนไป

$$\text{จาก } R = \frac{lL}{A} \quad ; \quad A = \frac{\pi D^2}{4}$$

โดย l : Resistivity of The Conductor Material

D : Diameter Conductor

ทำ partial differential ; $\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} + \frac{dL}{L} - 2\frac{dD}{D}$

$$\text{หารด้วย } \frac{dL}{L} ; \quad \frac{dR}{R} \frac{L}{dL} = \frac{dl}{l} \frac{L}{dL} + 1 - 2\frac{dD}{D} \frac{L}{dL}$$

โดยที่ $\frac{dL}{L}$: Axial Strain (ϵ_a)

$\frac{dD}{D}$: Transverse Strain (ϵ_t)

$(\frac{dD}{D})(\frac{L}{dL})$: Poisson' Ratio ($\nu = \epsilon_t/\epsilon_a$)

$(\frac{dR}{R})(\frac{L}{dL})$: Gauge Factor (G)

$$\text{ดังนั้น } G = (\frac{dl}{l} \epsilon_a) + 1 + 2\nu$$

จะสังเกตได้ว่า ϵ_a , ϵ_t มีเครื่องหมายตรงข้ามกัน

แต่ในทางปฏิบัติ ค่า G และ R จะถูกกำหนดจากการผลิตสเตรนเกจ

$$\text{ดังนั้น จากนิยาม } G = \left[\frac{dR}{R} \right] \left[\frac{L}{dL} \right] = \frac{dR}{R \epsilon_a}$$
$$dR = RG \epsilon_a$$

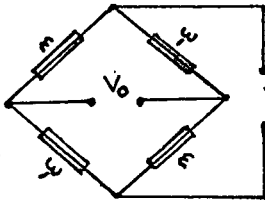
สมการดังกล่าวจะใช้วัดสเตรนเกจ

วิธีทั่วไปที่ใช้ในการตรวจสอบและวัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานคือ การติดสเตรนเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. ผลิตขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะ 5 ข้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Wheatstone Bridge เพื่อวัดค่าสมมูลในขณะเริ่มต้น และวัดค่าที่ไม่สมดุลเมื่อมีแรงกระทำ ซึ่งโหลดเซลล์ ที่ใช้งานมีลักษณะเป็น Full Bridge Arrangement ดังรูปที่ 2.1.3



ξ : Strain Gauge

รูปที่ 2.1.3 Full Bridge Arrangement

โดยที่

$$V_o = G V_1$$

V_o : Output Voltage

V_1 : Input Voltage

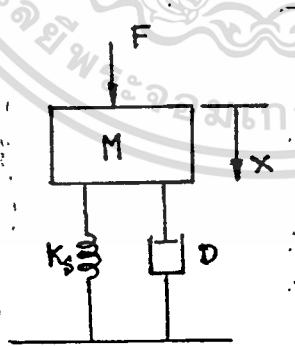
ซึ่งค่ามาตรฐานของ Output Voltage สำหรับโหลดเซลล์ จะมีค่าที่ 1mV/V ถึง 2mV/V เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นสัญญาณที่ออกมาจึงต้องขยายต่อไป สำหรับโหลดเซลล์ ที่มีค่า Capacity 20 kgf จะมี Rated Output = 1497 μ V/V

การคำนวณในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเป็นไปดังต่อไปนี้

1) โหลดเซลล์ เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับ Rate Output แปรผันตรงต่อกัน อัตราการขยาย (Gain) คือ

$$K = 1497/20 = 74.85$$

แบบจำลองของ โหลดเซลล์ สมมติว่าเป็น Second Order System ดังรูปที่ 2.1.4



รูปที่ 2.1.4 Second Order System

ซึ่งจะได้ว่า

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{[s^2 + 2\omega_n \zeta s + \omega_n^2]}$$

ดังนั้น Transfer Function ของระบบ คือ

$$G_1 = \frac{K}{s^2 + 2\omega_n \zeta s + \omega_n^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Amplifier ที่ใช้เป็นการขยายสัญญาณโวลต์เตจ (Voltage) จาก 0-3mV ไปเป็นสัญญาณขนาด 0-5 V

ดังนั้น อัตราขยาย ; $K_2 = 5 / (3 * 10^{-3}) = 1.66 * 10^3$

ประมาณว่าค่า Time Constant ของ Amplifier = 1 ดังนั้น

ค่า Transfer Function คือ

$$G_2 = K_2$$

3) A/D เป็นการแปลงสัญญาณจากอนาล็อก ไปเป็น ดิจิตอล ซึ่งจะมีเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ (Conversion Time) = τ_3 ดังนั้น Transfer Function คือ

$$G_3 = e^{-\tau_3 s}$$

4) Computer และ Solinoid เป็นการทำงานทางโปรแกรม ซึ่งมีการใช้เวลาในการทำงาน = τ_4 ดังนั้น Transfer Function คือ

$$G_4 = e^{-\tau_4 s}$$



2.2 การติดต่อกับคอมพิวเตอร์

INTERFACING TO THE COMPUTER

ในที่นี้จะกล่าวถึง การติดต่อกับคอมพิวเตอร์ (INTERFACING TO THE COMPUTER) เน้นเฉพาะการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ภายนอก (I/O Devices) เท่านั้น เนื่องจากเกี่ยวข้องกับารออกแบบส่วนควบคุม (FRUIT GRADER CONTROLLER) โดยตรง อนึ่ง คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม FRUIT GRADER ได้แก่ IBM PERSONAL COMPUTER ⁽¹⁾ หรือ IBM COMPATIBLE ⁽²⁾ ด้วยเหตุนี้ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานโคจจึงล้วนแต่วางอยู่บนรากฐานของคอมพิวเตอร์ดังกล่าวทั้งสิ้น (เพื่อความสะดวกจะขอเรียก IBM PERSONAL COMPUTER แทนด้วย พีซี (PC) ต่อไป)

(1) IBM PERSONAL COMPUTER เป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลขนาด 16 Bit ผลิตโดยบริษัท IBM Corp. ปัจจุบันมีขายด้วยกัน 2 รุ่น คือ รุ่น PC/XT ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 8088 ทำงานด้วยความถี่สัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) 4.77 MHz และรุ่น PC/AT ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 80286 ทำงานด้วยความถี่สัญญาณนาฬิกา 8 MHz ทั้งไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 8088 และ 80286 ต่างจัดว่าเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ในตระกูล 80286

ค่าสัญญาณนาฬิกาดังกล่าว เป็นมาตรฐานสำหรับการผลิตของ IBM Corp. เองซึ่งในปัจจุบันผู้ผลิตเครื่องเลียนแบบ สามารถผลิตคอมพิวเตอร์ทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาที่สูงกว่านี้ได้แล้ว เช่น เครื่องเลียนแบบ PC/XT ปัจจุบันสามารถทำงานภายใต้สัญญาณนาฬิกาสูงถึง 10 MHz ผลคือ การทำงานต่างๆของพีซีเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น เป็นต้น

จะไม่กล่าวถึงความแตกต่างระหว่าง PC/XT และ PC/AT ในที่นี้ เนื่องจากไม่มีผลต่อการออกแบบส่วนควบคุม โดยทั่วไป ถือว่า PC/AT เป็นรุ่นที่ใหญ่และครอบคลุมความสามารถของ PC/XT ในปริมาณหนึ่งฉบับนี้ จะยึดถือเอา PC/XT ทำงานได้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 4.77 MHz เป็นหลัก ซึ่งหากจะนำไปประยุกต์ใช้กับ PC/AT ก็ได้เช่นกัน

(2) IBM COMPATIBLE หมายถึง คอมพิวเตอร์ที่สร้างเลียนแบบ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของบริษัท IBM Corp. แต่ใช้งานได้เหมือนคอมพิวเตอร์ IBM 100%



2.2.1 IBM PERSONAL COMPUTER (PC)

พีซี ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ตระกูล 80286 เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Center Processor Unit=CPU) ทำงานภายใต้ระบบจัดการ (OperatingSystem) MS-DOS ⁽³⁾ ซึ่งอ้างอิงหน่วยความจำได้จำนวน 640 Kb ⁽⁴⁾ สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้โดยผ่านช่อง SLOT ทั้ง 8 ช่องบนแผงวงจรหลัก(MAIN BOARD) ของพีซี และอ้างอิงตำแหน่งอุปกรณ์ภายนอกได้จำนวน 1024 PORT

เพื่อเป็นแนวทางพื้นฐานไปสู่ความเข้าใจ เรื่องการติดต่อกับคอมพิวเตอร์จะต้องกล่าวถึงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์(HARD WARE) ของพีซีไว้คร่าวๆไว้เป็นเบื้องต้นดังต่อไปนี้

(ก) System Unit Processor Board เป็นส่วนสำคัญอันดับหนึ่งในพีซี ลักษณะเป็นแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ซึ่งเป็นที่อยู่ของอุปกรณ์ต่างๆคือ

- 8088/80286 ไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ทำหน้าที่ประมวลข้อมูลตามคำสั่งต่างๆที่ได้รับ
- วงจรให้สัญญาณนาฬิกา ให้ความถี่สัญญาณนาฬิกา(Clock Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมจังหวะขั้นตอนการทำงานของพีซี
- System Board ROM (ROM = Read Only memory) คือหน่วยความจำที่บรรจุคำสั่ง, โปรแกรม, ข้อมูลไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว System Board ROM คือ ROM ขนาด 40KB ที่บรรจุขั้นตอนการดำเนินการส่วนพื้นฐานของระบบในพีซี เช่น การตรวจสอบข้อบกพร่องของระบบ BIOS (โปรแกรมควบคุมการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆของระบบพีซี) เป็นต้น
- System Board RAM (RAM = Random Access Memory) คือหน่วยความจำหลักของพีซี เป็นที่เก็บข้อมูล, โปรแกรมใช้งานต่างๆ(RAM คือหน่วยความจำที่สามารถลบบันทึกข้อมูลใหม่ได้ตลอดเวลา และข้อมูลจะสูญหายไปเพื่อตัดไฟเลี้ยงออก)

(3) MS-DOS เป็นระบบจัดการ(Operating System) ที่จัดสร้างโดยบริษัท MICROSOFT เป็นซอฟต์แวร์(Software) ควบคุมการทำงานพื้นฐานของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล IBM หรือ IBM COMPATIBLE

(4) ไมโครโปรเซสเซอร์ 8088 มีโครงสร้างซึ่งสามารถอ้างอิงหน่วยความจำ (Memory) ได้ 1 MEGABYTE (1 MEGABYTE=1024 kb) แต่เมื่อเป็น CPU ภายใต้ MS-DOS จะสามารถอ้างอิงหน่วยความจำได้ 640 kb

ส่วนไมโครโปรเซสเซอร์ 80286 อ้างหน่วยความจำได้ 1 MEGABYTE เช่นกัน เมื่อใช้งานใน Real Mode ภายใต้ระบบจัดการ MS-DOS แต่จะอ้างอิงหน่วยความจำได้ > 1 MEGABYTE เมื่อใช้งานใน Protected Mode ซึ่งยังต้องรอการพัฒนาระบบจัดการใหม่ที่จะดึงความสามารถนี้มาใช้ในอนาคต

- System Board Timer/Counter เป็นวงจรมับเวลาของระบบพีซี

- System Board DMA; DMA(Direct Memory Access) เกิดขึ้นเมื่อมีการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกในจังหวะที่เร็วกว่าจังหวะที่ไม่โครโปรเซสเซอร์จะตามทันได้ System Board DMA จะทำการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกและหน่วยความจำโดยตรงแทนไมโครโปรเซสเซอร์พร้อมกับควบคุมสายสัญญาณต่างๆโดยตัดไมโครโปรเซสเซอร์ออกจากระบบจนกว่า การรับส่งข้อมูลจะเสร็จสิ้นลง จึงจะคืนการควบคุมให้กับไมโครโปรเซสเซอร์ต่อไป

- System Board Interrupts เมื่ออุปกรณ์ภายนอกต่างๆติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งสัญญาณขัดจังหวะ (Interrupt) ขัดจังหวะการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ให้มาสนใจและมาติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกดังกล่าว System Board Interrupts นี้มีประโยชน์มากคือ ทำให้ไมโครโปรเซสเซอร์ไม่ต้องเสียเวลาและมาสนใจกับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆจนกว่ามีความจำเป็นจะต้องติดต่อกันเท่านั้น

- System Board Integrated I/O Adapters เป็นตัวจัดการติดต่ออุปกรณ์ที่สร้างไว้สำเร็จรูปแล้วทำหน้าที่ติดต่อรหว่างระบบกับอุปกรณ์ 3 ชนิด คือ คีย์บอร์ด(Key Board) ลำโพง และเครื่องเล่นเทป (Audio Cassette) อุปกรณ์ต่างๆบนแผงวงจรหลัก จะถูกเชื่อมต่อกันโดยสัญญาณที่เรียกว่าบัส(Bus)

(ข) Disk Drive Controller and Disk Drive Disk drive คือ เครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลลงบนจานแม่เหล็กทำหน้าที่เป็นหน่วยบันทึก โปรแกรมและข้อมูลต่างๆที่ใช้งาน

(ค) Display Card และ จอภาพ คือแผงวงจรควบคุมการแสดงผลข้อมูลออกทางจอภาพ ในปัจจุบัน Display Card ที่ใช้งานกันอยู่อาจแบ่งได้เป็นประเภทดังนี้

- Hercules Card ควบคุมการแสดงผลทางจอภาพชนิดตรงดสีเดียว (Monochrome)
- CGA Card (Color Graphic Adaptor) ควบคุมจอภาพสี
- EGA Card (Enhance Color Graphic Adaptor) ควบคุมจอภาพสีให้ความละเอียดและจำนวนสีที่มากกว่า

โดยทั่วไปพีซีประกอบด้วยอุปกรณ์ดังข้อ (ก) (ข) (ค) สามารถทำงานได้แล้วอุปกรณ์อื่นนอกเหนือจากนี้เป็นอุปกรณ์เสริม เพื่อการใช้งานเฉพาะอย่างเช่น พรินเตอร์ (Printer) สำหรับพิมพ์ข้อมูลออกทางกระดาษ เป็นต้น

อุปกรณ์ในข้อ(ข) และ(ค) จะถูกเชื่อมเข้ากับแผงวงจรหลักข้อ (ก) โดยผ่านสล๊อต(Slot) ซึ่งรวมทั้งอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆจะถูกเชื่อมผ่านทางสล๊อตนี้เช่นกัน

2.2.2 สล๊อต (Slot)

ลักษณะของสล๊อตของพีซีแสดงให้เห็นดังรูป 2.2.1 ในหน้าถัดไป

SIGNAL	PIN	PIN	SIGNAL
GND	B1	A1	I/O CH CK
RESET DRV	B2	A2	D0
+5 V DC	B3	A3	D1
IRQ7	B4	A4	D2
-5 V DC	B5	A5	D3
DRQ2	B6	A6	D4
12 V DC	B7	A7	D5
NOT USED	B8	A8	D6
+12 V DC	B9	A9	D7
GND	B10	A10	I/O CH RDY
MEMA	B11	A11	AEN
MEMR	B12	A12	A19
IOW	B13	A13	A18
IOR	B14	A14	A17
DACK 3	B15	A15	A16
DRQ3	B16	A16	A15
DACK 1	B17	A17	A14
DRQ1	B18	A18	A13
DACK 0	B19	A19	A12
CLK	B20	A20	A11
IRQ7	B21	A21	A10
IRQ6	B22	A22	A9
IRQ5	B23	A23	A8
IRQ4	B24	A24	A7
IRQ3	B25	A25	A6
DACK 2	B26	A26	A5
T/C	B27	A27	A4
ALE	B28	A28	A3
+5 V DC	B29	A29	A2
OSC	B30	A30	A1
GND	B31	A31	A0

รูปที่ 2.2.1

สล๊อต คือ ตัวเชื่อมต่อสายสัญญาณของอุปกรณ์ภายนอก เข้ากับบัสหรือสายสัญญาณต่างๆบนแผงวงจรหลักของพีซีอีกทีหนึ่ง สล๊อตมีด้วยกันสองด้านแบ่งเป็นด้าน A และ B ด้านละ 31 ขา (Pin) แต่ละขาคะมีความหมายและหน้าที่ของสายสัญญาณที่แตกต่างกันไป เช่น ขา B3 จ่ายไฟ +5 V DC ขา B14คือ IOR เป็นสายสัญญาณให้สัญญาณอนุญาตให้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกได้ เป็นต้น

เนื่องจากสล๊อตเกี่ยวข้องกับการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกและแผงวงจรพีซีโดยตรง จึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงหน้าที่ของแต่ละขา(Pin) สัญญาณดังนี้

- ขา A1 (I/O CHCK) ทำหน้าที่รายงานความผิดพลาดในการเชื่อมต่อสายสัญญาณอุปกรณ์ภายนอกเข้ากับวงจร
- ขา A2-A9 (D0-D7) เป็นสายสัญญาณของข้อมูลรับส่งระหว่างอุปกรณ์และแผงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา A10 (I/O CH RDY) ถูกใช้เมื่ออุปกรณ์ภายนอกมีความเร็วต่ำกว่าแผงวงจรจนทำให้การรับส่งข้อมูลไม่ทันกันได้ I/O CH RDY นี้จะถูกใช้แสดงว่าอุปกรณ์นั้นพร้อมแล้วสำหรับการติดต่อ

- ขา A11 (AEN = Address Enable) ปรกติเมื่อ AEN ไม่ถูกใช้งาน จะมีค่าทางลอจิก = 0 แสดงว่า ขณะนั้นการติดต่อใดๆระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ พีซี เป็นไปภายใต้การควบคุมของไมโครโปรเซสเซอร์โดยตรง หาก AEN ถูกใช้งาน จะมีค่าทางลอจิก = 1 แสดงว่า อุปกรณ์ภายนอกนั้นจะติดต่อเข้ากับหน่วยความจำโดยตรง หรือ DMA (Direct Memory Access) โดยไม่ผ่านไมโครโปรเซสเซอร์

- ขา A12-A31 (A19-A0) เป็นสายสัญญาณที่ใช้อ้างอิงตำแหน่ง (Address)

- ขา B1, B10, B31 (GND) เป็นสายดิน (Ground) ของระบบ

- ขา B2 (Reset DRV) ตรวจจับที่ระบบทำงานปรกติในขอบเขตการทำงาน (Operating Range) สัญญาณ Reset DRV จะมีค่าทางลอจิก = 1 จนกระทั่งมีข้อบกพร่อง ณ ที่ใดที่หนึ่งสัญญาณนี้จะกลายเป็น 0

- ขา B3, B29 (+5VDC) ; B7 (-12VDC) ; B5 (-5VDC) ; B9 (+12VDC) เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ภายนอกที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟของตัวเอง

- ขา B4, B25, B24, B23, B22, B21 (IRQ2-IRQ7) สัญญาณขัดจังหวะ (Interrupt) การทำงานของ พีซี แบ่งออกเป็น 7 ระดับตามความสำคัญ (ระดับ 1 ถูกใช้โดย พีซี แล้ว ส่วนระดับ 2-7 อนุญาตให้เพิ่มเติมได้) สัญญาณขัดจังหวะถูกใช้ในกรณี ออกแบบอุปกรณ์ภายนอกให้เป็นอิสระจาก พีซี ให้อุปกรณ์ภายนอกทำงานด้วยตัวเองจนกว่าจำเป็นต้องมีการติดต่อกับ พีซี จึงใช้สัญญาณขัดจังหวะนี้ เรียกให้ พีซี มาจัดการต่อไป ประโยชน์ที่ได้คือ ไม่ต้องใช้ พีซี มาควบคุมการทำงานตลอดเวลา จึงสามารถนำ พีซี ไปทำงานอื่นได้อีก

- ขา B18, B6, B16 (DRQ1-3) เป็นสัญญาณขอให้มีการติดต่อกับหน่วยความจำโดยตรง (DRQ = Direct Memory Request) สัญญาณนี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ตามความสำคัญตั้งแต่ 1-3 สัญญาณที่สำคัญกว่าจะถูกดำเนินการก่อน

- ขา B11 (MEMW) สัญญาณแสดงว่า กำลังเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ

- ขา B12 (MEMR) สัญญาณแสดงว่า กำลังอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ

- ขา B13 (IOW) สัญญาณแสดงว่า กำลังเขียนข้อมูลสู่อุปกรณ์ภายนอก

- ขา B14 (IOR) สัญญาณแสดงว่า กำลังอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก

- ขา B19, B17, B26, B15 (DACK0-3) (DACK = Direct-memory Access Acknowledge) เป็นสัญญาณตอบสนองว่า พร้อมจะรับการติดต่อกับหน่วยความจำโดยตรงแล้ว

- ขา B20 (CLK) สายสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) ของระบบ

- ขา B27 (T/C) สัญญาณแสดงให้ทราบว่า พีซี ได้จัดการถ่ายทอดข้อมูลกับหน่วยความจำโดยตรงเรียบร้อยแล้ว

- ขา B28 (AEL = Address Latch Enable) เป็นสัญญาณแสดงให้ทราบว่า Address เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bus พร้อมที่จะทำงานอ้างอิงตำแหน่งได้แล้ว

- ขา B30 (OSC = Oscillator) ให้สัญญาณความถี่ขนาด 14.31818 MHz

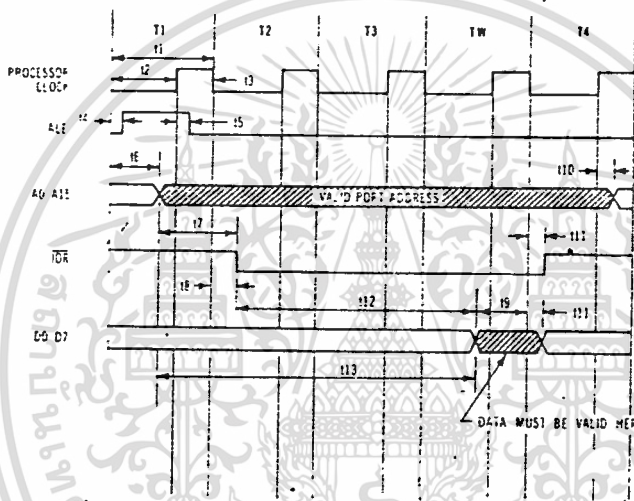
2.2.3 การออกแบบส่วนติดต่อกับ พีซี

นอกจากจะทราบรายละเอียดทั้งของ พีซี และสายสัญญาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการติดต่อกับ พีซี แล้ว ยังควรพิจารณาถึงแผนผังแสดงวงจรเวลาการทำงาน ดังต่อไปนี้

2.2.3.1 แผนผังวงจรเวลาการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก

(I/O Port Read Bus Cycle Timings)

แผนผังเวลาการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.2.2



รูป 2.2.2 แผนผัง เวลาการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก

Symbol	Max	Min
t_1	—	209.5
t_2	—	124.5
t_3	—	71.8
t_4	15	—
t_5	15	—
t_6	128	16
t_7	—	91.5
t_8	35	10
t_9	—	42
t_{10}	—	10
t_{11}	35	10
t_{12}	—	551.5
t_{13}	—	668

ตารางที่ 2.2.1 ตารางเวลาการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

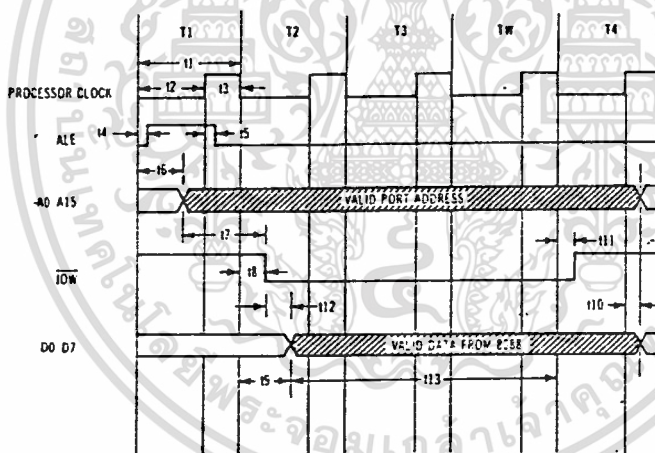
จะเห็นได้ว่า สัญญาณที่เกี่ยวข้องคือ สัญญาณนาฬิกา (CLK) , ALE , Address Bus (A0-A15) , IOR และ Data Bus (D0-D7) ซึ่งมีข้อมูลการทำงาน คือ

ALE จะถูกกระตุ้นเป็นสัญญาณสูง (High, ลอจิก= 1) พร้อมกับข้อมูลอ้างอิงตำแหน่ง (Port Address) จะถูกปล่อยออกมาในช่องที่ ALE เป็นสัญญาณสูง ดังนั้นเมื่อ ALE กลับสู่สภาพปรกติ (Low, ลอจิก = 0) ข้อมูลอ้างอิงตำแหน่งก็ถูกเตรียมพร้อมไว้ จากนั้นสัญญาณ IOR จะลงต่ำ เมื่อเวลาผ่านไป $=t_{12}$ หลังจากสัญญาณ IOR ลงต่ำ ข้อมูลจะถูกปล่อยออกทาง Data Bus ทั้ง 7 สาย จะเห็นว่าขณะนั้น ข้อมูล (Data) และตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ภายนอกที่ พีซี จะรับข้อมูลนั้น (I/O Port Address) ได้ปรากฏและพร้อมที่จะใช้งานได้แล้ว

2.2.3.2 แผนผังวงจรเวลาการเขียนข้อมูลสู่อุปกรณ์ภายนอก

(I/O Port Write Bus Cycle Timings)

แผนผังเวลาการเขียนข้อมูลสู่อุปกรณ์ภายนอก แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.2.3



รูป 2.2.3 แผนผังเวลาการเขียนข้อมูลสู่อุปกรณ์ภายนอก

Symbol	Max	Min
t1	—	209.5
t2	—	124.5
t3	—	71.8
t4	15	—
t5	15	—
t6	128	16
t7	—	91.5
t8	35	10
t9	122	14
t10	—	10
t11	35	10
t12	112	—
t13	—	506.5

ตารางที่ 2.2.2 ตารางเวลาการเขียนข้อมูลสู่อุปกรณ์ภายนอก

สัญญาณที่เกี่ยวข้องจะเหมือนกับกรณีที่แล้ว กล่าวคือ ALE จะถูกกระตุ้นเป็นสัญญาณสูง (High) เป็นช่วงเวลา = $t_2 - t_4 + t_5$ แล้วจะตกลงสู่สภาวะปรกติ (Low) ซึ่งข้อมูลอ้างอิงตำแหน่ง (Port Address) จะถูกเตรียมไว้ที่ Data Bus แล้ว จากนั้นสัญญาณ IOW จะต่ำลง จนเมื่อเวลาผ่านไป = t_7 นับจากสัญญาณ IOW ลง ข้อมูลจะถูกปล่อยออกมาทาง Data Bus ทั้ง 7 สาย ซึ่งข้อมูลและตำแหน่งอ้างอิงอุปกรณ์ภายนอกที่จะรับข้อมูลนั้น (I/O Port Address) ปรากฏพร้อมที่จะใช้งานต่อไปได้แล้ว

2.2.4 การกำหนดตำแหน่งอ้างอิงอุปกรณ์ภายนอก (I/O Port Address)

ในการออกแบบอุปกรณ์ภายนอกแต่ละครั้ง จะต้องกำหนดตำแหน่งอ้างอิงอุปกรณ์ภายนอกเสมอ เมื่อ นี้ซี จะได้ใช้ตำแหน่งอ้างอิงนี้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูล

ตำแหน่งอ้างอิงมีด้วยกัน 1024 Port แต่ไม่อาจนำมาใช้ได้ทั้งหมด เนื่องจากบางตำแหน่งถูกใช้งานแล้วในระบบของนี้ซี การออกแบบและการกำหนดตำแหน่ง จึงต้องหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่ถูกใช้งานแล้วดังกล่าว เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำซ้อนขึ้น โดยใช้ตำแหน่งที่ยังคงว่างอยู่

ตำแหน่งอ้างอิงที่ถูกใช้งานและตำแหน่งว่าง แสดงไว้ในตารางที่ 2.2.3 และ 2.2.4 ตามลำดับในหน้าถัดไป

เมื่อทราบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงได้เรียบร้อยแล้ว งานขั้นต่อไปก็คือ การออกแบบโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ ซึ่งการออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องคิดผลไม้นี้ โดยน้ำหนักรายนี้ จะแสดงไว้ในหัวข้อ 3.2 การออกแบบส่วนควบคุมในบทต่อไป

HEX RANGE DECODED	HEX ADDRESS USED	FUNCTION
0000H	0000 000FH 16	DMA CHIP (8237 S)
0010H	0020H 007FH 2	INTERRUPT CHIP (8259 A)
0020H	0040H 0043H 4	TIMER COUNTER CHIP (8253 S)
0030H	0060H 0063H 4	PPI CHIP (8255A S)
0040H	0080H 0083H 4	DMA PAGE REGISTERS (8242 S)
0050H	00A0H 1	NMI MASK BIT
0060H		
0070H		
0080H		
0090H		
00A0H		
00B0H		
00C0H		
00D0H		
00E0H		
00F0H		
0100H		
0110H		
0120H		
0130H		
0140H		
0150H		
0160H		
0170H		
0180H		
0190H		
01A0H		
01B0H		
01C0H		
01D0H		
01E0H		
01F0H		
0200H		
0210H		
0220H		
0230H		
0240H		
0250H		
0260H		
0270H		
0280H		
0290H		
02A0H		
02B0H		
02C0H		
02D0H		
02E0H		
02F0H		
0300H		
0310H		
0320H		
0330H		
0340H		
0350H		
0360H		
0370H		
0380H		
0390H		
03A0H		
03B0H		
03C0H		
03D0H		
03E0H		
03F0H		
0400H		
0410H		
0420H		
0430H		
0440H		
0450H		
0460H		
0470H		
0480H		
0490H		
04A0H		
04B0H		
04C0H		
04D0H		
04E0H		
04F0H		
0500H		
0510H		
0520H		
0530H		
0540H		
0550H		
0560H		
0570H		
0580H		
0590H		
05A0H		
05B0H		
05C0H		
05D0H		
05E0H		
05F0H		
0600H		
0610H		
0620H		
0630H		
0640H		
0650H		
0660H		
0670H		
0680H		
0690H		
06A0H		
06B0H		
06C0H		
06D0H		
06E0H		
06F0H		
0700H		
0710H		
0720H		
0730H		
0740H		
0750H		
0760H		
0770H		
0780H		
0790H		
07A0H		
07B0H		
07C0H		
07D0H		
07E0H		
07F0H		
0800H		
0810H		
0820H		
0830H		
0840H		
0850H		
0860H		
0870H		
0880H		
0890H		
08A0H		
08B0H		
08C0H		
08D0H		
08E0H		
08F0H		
0900H		
0910H		
0920H		
0930H		
0940H		
0950H		
0960H		
0970H		
0980H		
0990H		
09A0H		
09B0H		
09C0H		
09D0H		
09E0H		
09F0H		
0A00H		
0A10H		
0A20H		
0A30H		
0A40H		
0A50H		
0A60H		
0A70H		
0A80H		
0A90H		
0AA0H		
0AB0H		
0AC0H		
0AD0H		
0AE0H		
0AF0H		
0B00H		
0B10H		
0B20H		
0B30H		
0B40H		
0B50H		
0B60H		
0B70H		
0B80H		
0B90H		
0BA0H		
0BB0H		
0BC0H		
0BD0H		
0BE0H		
0BF0H		
0C00H		
0C10H		
0C20H		
0C30H		
0C40H		
0C50H		
0C60H		
0C70H		
0C80H		
0C90H		
0CA0H		
0CB0H		
0CC0H		
0CD0H		
0CE0H		
0CF0H		
0D00H		
0D10H		
0D20H		
0D30H		
0D40H		
0D50H		
0D60H		
0D70H		
0D80H		
0D90H		
0DA0H		
0DB0H		
0DC0H		
0DD0H		
0DE0H		
0DF0H		
0E00H		
0E10H		
0E20H		
0E30H		
0E40H		
0E50H		
0E60H		
0E70H		
0E80H		
0E90H		
0EA0H		
0EB0H		
0EC0H		
0ED0H		
0EE0H		
0EF0H		
0F00H		
0F10H		
0F20H		
0F30H		
0F40H		
0F50H		
0F60H		
0F70H		
0F80H		
0F90H		
0FA0H		
0FB0H		
0FC0H		
0FD0H		
0FE0H		
0FF0H		

ตารางที่ 2.2.3 Baseboard I/O port address usage

HEX ADDRESS	USES
0700H	NOT USED
0701H	GAME CONTROL ADAPTER
C752H	
0202H - 0277H	NOT USED
0278H - 027FH	SECOND PRINTER PORT ADAPTER
0280H - 027FH	NOT USED
0278H - 027FH	SECOND SERIAL PORT ADAPTER CARD
0300H - 0377H	NOT USED
0378H - 037FH	PRINTER PORT ADAPTER CARD
0380H - 03AFH	NOT USED
0380H - 03BFH	MONOCHROME AND PRINTER ADAPTER
03C0H - 03CFH	NOT USED
03D0H - 03DFH	CO. OR GRAPHICS ADAPTER
03E0H - 03EFH	NOT USED
03F0H - 037FH	5 1/4" DISKETTE DRIVE ADAPTER CARD
0378H - 037FH	SERIAL PORT ADAPTER CARD

NOTE: NEW FEATURES BY IBM AND OTHER MANUFACTURERS MAY USE SOME OF THE SPACE I/O ADDRESS DECODES

ตารางที่ 2.2.4 Card slot I/O port address usage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โหลดเซลล์ (Load Cell)

โหลดเซลล์เป็นอุปกรณ์วัดชนิดหนึ่งที่ใช้ในการวัดแรง (Force) หรือน้ำหนัก (Weight) ที่กระทำลงบนตัวของโหลดเซลล์ออกเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Signal) ด้วยเหตุนี้โหลดเซลล์จึงใช้กับงานได้มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในงานควบคุมหรืองานอัตโนมัติที่เกี่ยวข้องระหว่างระบบควบคุมทางไฟฟ้าและระบบทางกล (Mechanical System)

2.3.1 องค์ประกอบของโหลดเซลล์

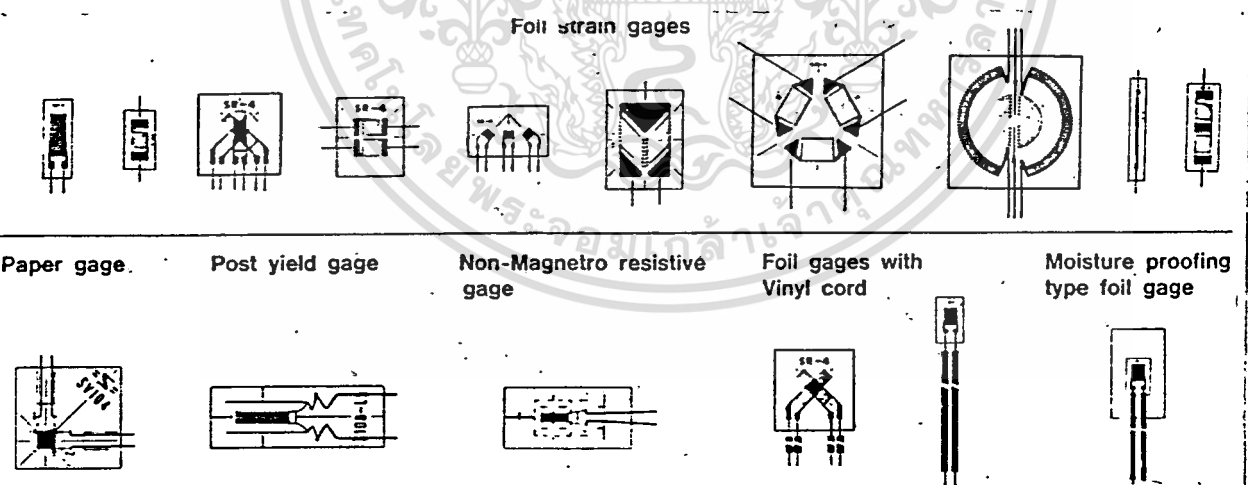
หน่วยย่อยพื้นฐานที่สุดของโหลดเซลล์ คือ สเตรนเกจ (Strain Gauge)

สเตรนเกจมีลักษณะเป็นแผ่นเซลล์ลวดยัดบางๆ ภายใต้เมื่อวัดความต้านทานขนาดเส้นเล็กมากหดตัวอย่างเป็นระเบียบ ใช้ติดกับวัสดุในการวัดความเปลี่ยนแปลงของวัสดุ เมื่อมีแรงมากระทำออกมาในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า กล่าวคือ เป็นการวัดความเปลี่ยนแปลงทางกลเป็นสัญญาณไฟฟ้านั่นเอง

การใช้งานสเตรนเกจไม่มีข้อยุ่งยากซับซ้อน แต่ต้องให้ความระมัดระวังอย่างยิ่งเนื่องจากสเตรนเกจจะถูกยึดติดกับผิวหน้าวัสดุที่ต้องการจะวัด ด้วยกาวชนิดพิเศษตามการออกแบบของผู้ผลิตเท่านั้น ผิววัสดุจะต้องเรียบสนิทและผ่านการเตรียมมาอย่างดี ขณะทำการติดกับผิวหน้าวัสดุจะต้องระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศขึ้นภายในอย่างเด็ดขาด เพราะอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดได้ (รายละเอียดการติดตั้งสเตรนเกจแสดงในเอกสารหมายเลข 2.3.1 หลังปริญญาบัตรฉบับนี้)

สเตรนเกจมีแบบต่างๆ ให้เลือกตามลักษณะการใช้งาน และได้นำบางส่วนมาแสดงใน รูปที่

2.3.1 ข้างล่างนี้



รูปที่ 2.3.1

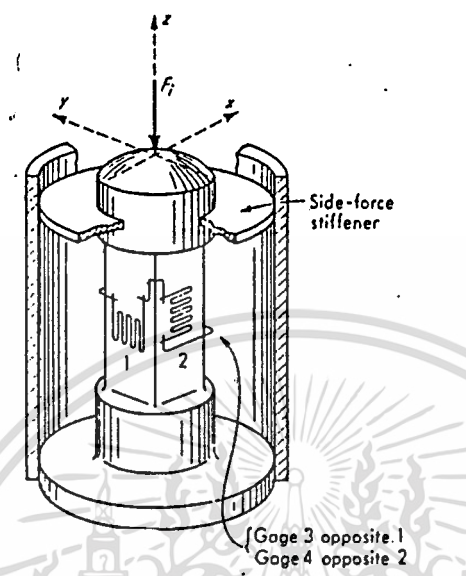
เมื่อสเตรนเกจติดสนิทกับผิววัสดุแล้ว ย่อมสามารถใช้วัดแรงได้ กล่าวคือ เมื่อมีแรงมากระทำกับวัสดุ จะทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของขนาดวัสดุในรูปของความเครียด (Strain) ขึ้น การเปลี่ยนแปลงในรูปของความเครียดจะส่งผลให้ สเตรนเกจยืด-หดตาม ไปด้วย ทำให้ขนาดนั้นที่หน้าตัดของขดลวดเปลี่ยนแปลง ผลคือ ความต้านทานและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของขดลวดจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.3.2 โหลดเซลล์

โครงสร้างอย่างง่ายของโหลดเซลล์
แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.3.2

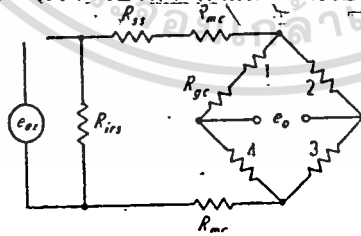
ที่ใช้สำหรับการวัดแรงอัด (Compressive



รูปที่ 2.3.2

จากรูปเห็นได้ว่า โหลดเซลล์ประกอบไปด้วยแกนรับแรง (Load-sensing Member) ที่ความยาวไม่มากนัก เพื่อป้องกันการแตกหักของแกน (Column Buckling) วัสดุที่นิยมใช้ทำแกนวัดแรง ได้แก่ SAE 4340 steel, 17-4PH stainless steel, 2024-T4 aluminum alloy ทั้งนี้ชนิดของวัสดุที่ใช้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตโหลดเซลล์ โดยต้องคำนึงถึงขอบเขตของแรงที่ต้องการวัด รวมทั้งความแข็งแรงทนทาน ความยืดหยุ่นของวัสดุ และ Linearity เป็นประการสำคัญ

แต่ละด้านของแกนวัดแรง จะถูกยึดติดด้วยสเตรนเกจด้านละ 1 ตัว รวม 4 ด้าน 4 ตัว โดยสเตรนเกจทั้ง 4 ตัว จะถูกต่อเป็นวงจรบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3.3



รูปที่ 2.3.3

การต่อสเตรนเกจ เป็นวงจรบริดจ์มีข้อดีคือ สามารถป้องกันการกระทบอันเนื่องมาจาก ความเค้นดัด (Bending Stress) ซึ่งเกิดจากแรงกระทำในตำแหน่งเยื้องศูนย์กลาง (Off Center) หรือแรงกระทำที่ก้ำกั้มกับแกนวัดแรงได้ ผลที่วัดได้ จึงเป็นค่าความเครียด (ดึง/อัด) อย่างแท้จริง ซึ่งสามารถแสดงให้เห็น โดยการแทนค่าแรงเยื้องศูนย์กลางด้วยแรงเทียบเท่าที่ตำแหน่งศูนย์กลางและแรงคู่ควบ 1 ชุด แยกแรงคู่ควบดังกล่าวออกไปในแนวแกน X-Y ทำให้เกิดความเค้นดัดในสเตรนเกจแต่ละตัว นิยามเฉพาะแรงคู่ควบในแนวแกน Y หากสเตรนเกจอยู่ในตำแหน่งสมมาตรกันแล้ว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นดัดในสเตรนเกจ 1 และ 3 จะมีเครื่องหมายตรงข้ามกัน ทำให้ เอาท์พุท (Output) $e_o=0$ (เป็นไปตามกฎของวงจรบริดจ์ที่ว่า เอาท์พุท เนื่องจากความเค้นดัด = 0) นั่นคือแรงคู่ควบในแนวแกน Y จะไม่มีผลกระทบใดๆต่อการวัดครั้งนี้

สำหรับแรงคู่ควบในแนวแกน X ที่เหลืออยู่ จะมีผลเป็นความเค้นดัดในสเตรนเกจ 2 และ ด้วยเหตุผลเดียวกับข้างบน แรงคู่ควบในแนวแกน X นี้จะไม่มีผลกระทบต่อการวัดครั้งนี้เช่นกัน

คงเหลือแต่แรงที่ทำมุม ณ ตำแหน่งศูนย์กลางเท่านั้นที่มีผลต่อการวัด โดยแรงทำมุมดังกล่าวสามารถแยกออกได้เป็นแรงตั้งฉาก 1 แรง และ แรงในระนาบ X-Y อีก 1 แรง เนื่องจากใน โหลดเซลล์มี Side-force Stiffener อยู่ จึงลดแรงในระนาบ X-Y ออกไปได้โดยมีผลกระทบต่อการวัดน้อยมาก การวัดที่ได้จึงถือได้ว่าเป็นการวัดแรงตั้งฉากจริง ๆ

การยืด-หดตัวของแกนวัดแรงโดยทั่วไปจะอยู่ในขอบเขต 0.001 ถึง 0.015 in และขึ้นอยู่กับความแข็ง (Stiffness) ของแกนวัดแรงและข้อกำหนดของผู้ผลิต ทั้งนี้หากแกนวัดแรงแข็งมาก จะทำให้ความไว (Sensibility) น้อย หากต้องการเพิ่มความไวของการวัดสามารถทำได้โดยใช้แกนวัดแรงที่แข็งน้อยลง แต่อาจก่อให้เกิดการแตกหักในแกนวัดแรง (Sacrificing Column) ขึ้นได้เมื่อรับภาระ (Load) มากๆ เข้า การแก้ปัญหานี้อาจทำได้ โดยการเปลี่ยนไปใช้แกนวัดแรงที่ภายในเป็นรูกลวงแทน

อุณหภูมิก็มีผลต่อการวัดเช่นกัน เพื่อที่จะให้ได้ โหลด เซลล์ที่มีคุณภาพสูง จึงควรลดผลกระทบจากอุณหภูมิโดยการทำ Temperature Compensation จัดการเสริมความต้านทานที่ไวต่ออุณหภูมิ (Temperature-sensitive Resistor) เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของโหลดเซลล์ ได้แก่ R_{sc} และ R_{mc} ดังในรูปที่ 2.3.3 ความต้านทานทั้ง 2 ตัว จะทำหน้าที่ปรับแต่งสัญญาณการวัดที่ได้ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง และชดเชยข้อผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิออกไป โดย R_{sc} จะปรับแต่งค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงขณะใช้งานของสเตรนเกจทั้ง 4 ตัว ส่วน R_{mc} ถูกยึดติดกับแกนวัดแรงเพื่อปรับแต่งความต้านทานอื่นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแกนวัดแรงขณะรับแรงกระทำ

ความต้านทานที่เหลืออีก 2 ตัวในรูปที่ 2.3.3 นั้น ได้แก่ R_{rs} จะทำหน้าที่ปรับแต่ง e_{ex} ให้เป็นไปตามค่าที่กำหนด ใช้งานของโหลดเซลล์ และ R_{rs} ทำหน้าที่ปรับแต่งความต้านทานภายในให้ได้ตามค่าที่กำหนด (ความต้านทาน 2 ตัวนี้ มักพบในโหลดเซลล์ทั่วไปในท้องตลาด ขึ้นอยู่กับ การออกแบบของผู้ผลิตเป็นส่วนใหญ่)

2.3.3 การเลือกใช้งานโหลดเซลล์ (Before Selecting Load-cell)

เมื่อจะใช้งานโหลดเซลล์ตัวหนึ่งๆ ผู้ใช้จำเป็นต้องคำนึงถึงหลักการเบื้องต้นดังนี้

ก) ภาระ (Load) สูงสุดที่ต้องการจะวัด โดยทั่วไป โหลดเซลล์จะสามารถวัดน้ำหนัก หรือ แรงในขอบเขตหนึ่งๆ เท่านั้น การใช้โหลดเซลล์จึงไม่ควรให้โหลดเซลล์รับภาระมากกว่าที่มีสามารถรับได้ ค่าขอบเขตดังกล่าวจะถูกระบุไว้เป็นค่า Capacity ของโหลดเซลล์ เช่น Capacity = 20 kgf หมายถึง โหลดเซลล์ตัวนี้ไม่ควรใช้งานรับภาระมากกว่า 20 kgf เป็นต้น

ข) ลักษณะงานที่ต้องการวัด ควรเลือกใช้โหลดเซลล์ ให้เหมาะสมกับลักษณะของแรงที่กระทำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อโหลดเซลล์ กล่าวคือ ใช้โหลดเซลล์-Compression Type สำหรับภาระแรงอัด และโหลดเซลล์-Tension Type สำหรับรับภาระแรงดึง เป็นต้น อีกทั้งการติดตั้งโหลดเซลล์ ต้องให้เหมาะสมกับลักษณะงานด้วย (รายละเอียดการติดตั้ง พบกว่าไว้ในภาคอ้างอิง เอกสารหมายเลข 2.3.3) และควรป้องกันไม่ให้โหลดเซลล์กระทบกับภาระโดยตรง เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจมีมาแก่ตัวโหลดเซลล์ได้

2.3.4 รายละเอียดทางเทคนิคของ โหลดเซลล์

(Technical Details of Load-cell)

รายละเอียดทางเทคนิคของโหลดเซลล์จะถูกบรรจุไว้ใน Calibration Sheet ที่มากับโหลดเซลล์เสมอ ผู้ใช้จำเป็นต้องเข้าใจและเอาใจใส่ต่อข้อมูลเหล่านี้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบจัดสร้าง และใช้งานโหลดเซลล์ต่อไป ซึ่งได้แก่

ก) Capacity แสดงค่าสูงสุดของแรงหรือน้ำหนักของภาระที่โหลดเซลล์สามารถรับและวัดได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่โหลดเซลล์ ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา

ข) Rated Output คือ ค่า Voltage Output สูงสุดที่จะได้เมื่อโหลดเซลล์รับภาระสูงสุดตามที่ระบุไว้ในค่า Capacity ของโหลดเซลล์ การบอกค่า Rated Output นี้มักจะบอกมาเป็นค่า Voltage-Output ในหน่วย $\mu V/Voltage Input$ ที่จะจ่ายให้กับโหลดเซลล์ ทั้งนี้ Voltage Input ที่จ่ายให้กับโหลดเซลล์ จะถูกจำกัดไว้ไม่ให้เกินค่าสูงสุดค่าหนึ่งเสมอ

จะสังเกตได้ว่า สัญญาณ Rated Output มีขนาดเล็กมาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาตามมาได้ 2 ประการ คือ (1) ไม่อาจนำ Rated Output ไปใช้งานในทันทีจำเป็นต้องผ่านการขยายสัญญาณโดยเครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) เสียก่อน และ (2) ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งจะทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดเพี้ยนไป การแก้ไขปัญหานั้นจะได้กล่าวถึงในบทหลัง

ค) Nonlinearity แสดงค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจากเชิงเส้นตรงในการแปลงค่าภาระที่กระทำบนโหลดเซลล์ ออกเป็นค่าสัญญาณไฟฟ้ามีหน่วยเปอร์เซ็นต์ของ Rated Output ($\%RO$) ค่านี้ยิ่งน้อยก็แสดงว่ามีความ Linearity สูง

ง) Hysterisis ความเบี่ยงเบนอันเนื่องจากการผ่านกระแสเข้าโหลดเซลล์

จ) Calibration Constant หรือค่าคงที่ในการชั่งน้ำหนัก เป็นค่าที่เปรียบเทียบให้เห็นว่า สัญญาณเอาต์พุต จากโหลดเซลล์ค่าหนึ่งๆ จะเทียบเท่ากับภาระที่กระทำลงบนโหลดเซลล์เท่าใด มักบอกมาในหน่วย ตัวเลข(หน่วยแรง) / หน่วย Rated Output / Voltage Input ที่จ่ายให้โหลดเซลล์

เช่น 0.01334#/1 $\mu V/V$ หมายความว่า จ่ายอินพุตโวลท์เท่าใด 1 μV จะอ่านค่า Rated Output ได้ = 1 μV เมื่อภาระที่กระทำบนโหลดเซลล์มีค่า 0.01334 kgf ดังนั้น หากอ่านค่า Rated Output ได้ 1499 $\mu V/V$ แสดงว่า ขณะนั้นมีภาระกระทำที่โหลดเซลล์ = 1499*0.01334 kgf 20 kgf เป็นต้น

ค่า Calibration Constant นี้จะมีประโยชน์มากในการแปลงค่าสัญญาณ Rated Output เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโพลดเซลไปเป็นค่าภาระที่ต้องการทราบ

ฉ) Temperature effect on Zero balance ดังได้กล่าวไปแล้วว่า อุณหภูมิจะมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดค่าแรงที่กระทำต่อโพลดเซลได้ ค่า Temperature effect on Zero balance นี้จึงเป็นการแสดงให้เห็นว่า โพลดเซลนั้นมีประสิทธิภาพเพียงใดในการทำงาน ณ ช่วงอุณหภูมิใช้งานที่แตกต่างกัน ค่า Temperature effect on Zero balance ยิ่งน้อยหรือไม่มีเลยยิ่งดี แสดงว่า โพลดเซลนั้นได้มีการ Temperature Compensation ไว้แล้ว

ซ) Temperature effect on Output ในทำนองเดียวกับ Temperature effect on Zero balance ค่า Temperature effect on Output เป็นการแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นต่อโพลดเซลอย่างไรบ้าง

ข) Input & Output resistance คือ ค่าความต้านทานด้านอินพุต และ ด้านเอาต์พุตของโพลดเซล

รายละเอียดทางเทคนิคเหล่านี้จะเป็นแนวทางในการใช้งานโพลดเซล และเป็นแนวทางในการจัดสร้างอุปกรณ์ต่างๆอันได้แก่ ส่วนขยายสัญญาณ (Amplifier) และส่วนแปลงสัญญาณอนาล็อก/ดิจิทัล (A/D Converter) จำเป็นที่ผู้ใช้-ผู้ออกแบบให้ความสนใจและเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง

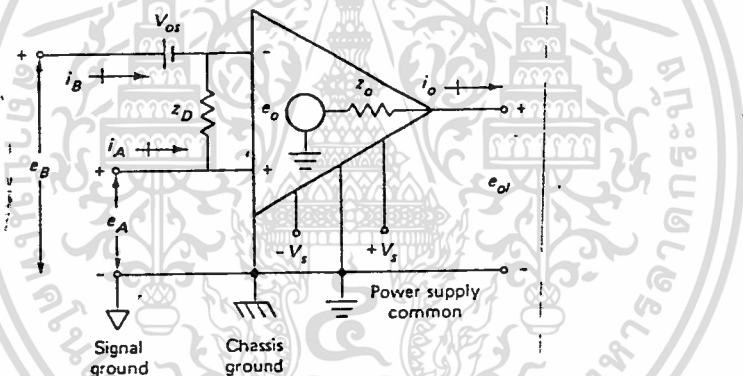
2.4 การขยายสัญญาณ

เครื่องมือวัด (Instrument Device) ต่างๆรวมไปจนถึงโพลดเซลล์ มักให้สัญญาณวัดออกเป็นแรงดันทางไฟฟ้า (Output Voltage) ที่ต่ำมากๆ ซึ่งอาจต่ำถึง mV เลขที่เดียว สัญญาณวัดที่ต่ำมากๆนี้ ไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงทันที จำเป็นต้องขยายสัญญาณวัดต่ำๆนั้น ให้มีขนาดสัญญาณที่เหมาะสมกับการใช้งานเสียก่อน จึงจะพร้อมทำงานได้ต่อไป

2.4.1 ออปแอมป์ (Operational amplifiers)

ออปแอมป์ (Op-Amp=Operational Amplifier) ถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง และเป็นพื้นฐานของระบบขยายสัญญาณต่างๆ ตั้งแต่วงจรขยายสัญญาณง่ายๆที่ประกอบด้วยออปแอมป์เพียงตัวเดียว ไปจนถึง อินสตรูเมนต์-แอมพลิฟายเออร์ (Instrument Amplifier) เป็นต้น ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงตัวออปแอมป์ในด้านรายละเอียดทางกายภาพ (Physical) แต่จะเน้นไปแง่การใช้งานและวงจรถ่ายสัญญาณของออปแอมป์

โดยทั่วไป ออปแอมป์จะถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ตามรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.4.1 ออปแอมป์

จากรูปที่ 2.4.1 เห็นได้ว่า องค์ประกอบของออปแอมป์มีดังนี้

- ออปแอมป์รับแรงดันไฟฟ้าเข้า (Input Voltage) 2 ค่า คือ e_u และ e_v โดยมีกระแสไบอัส (Bias Current) i_u, i_v ตามลำดับ
- Z_D เป็นความแตกต่างของอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance)
- Z_O เป็นอิมพีแดนซ์ขาออก (Output Impedance)
- V_{os} เป็นแรงดันไฟฟ้าออฟเซต (Offset Voltage)
- V_S เป็นแรงดันไฟฟ้าป้อน (Power-supply Voltage) เป็นไฟเลี้ยงวงจรให้ออปแอมป์ทำงาน

ในทางอุดมคติถือว่า ออปแอมป์มีอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Z_D) สูงมากถึง ∞ , กระแสไบอัส (e_u, e_v) = 0 หรือ ใกล้เคียง 0 ทำให้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในรูปความดันไฟฟ้าที่ขาเข้าถูกขยายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้สมบูรณ์ การขยายสัญญาณจึงไม่ผิดเพี้ยนไป แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ไม่มีออปแอมป์ที่มีอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Z_{in}) สูงถึง ∞ (โดยมากอยู่ในช่วง $10^5 - 10^{11} \Omega$) และมีกระแสไบอัสไหลเล็กน้อย การขยายสัญญาณจึงแตกต่างกันออกไปจากทางอุดมคติบ้างไม่มากนักน้อย การเปรียบเทียบระหว่างออปแอมป์ทางอุดมคติและทางปฏิบัติแสดงไว้โฆตารางที่ 2.4.1

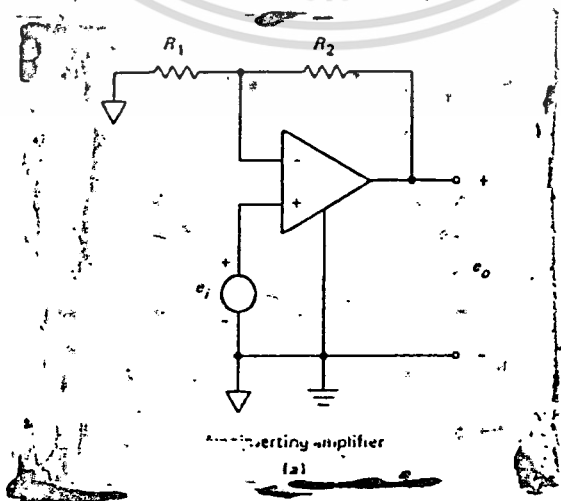
Specification	Isolation amplifier	Instrumentation amplifier
Common-mode rejection ratio 5,000- Ω source unbalance, dc to 100 Hz	115 dB	80 dB
Common-mode voltage range	$\pm 2,500$ V dc ($\pm 7,500$ V peak)	± 10 V
Differential input voltage range	240 V rms ($\pm 6,500$ V peak)	± 10 V
Input-to-ground impedance	$10^{11} \Omega$ shunted by 10 pF	Feedback generated depends on linear circuit operation
Bias-current configuration	Single current; amplifier needs only two input conductors	Two currents; third wire needed for bias return
Small-signal bandwidth	dc to 2 kHz	dc to 1.5 MHz
Gain nonlinearity	0.05%	0.01%
Gain vs. temperature	$\pm 0.01\%/^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.0015\%/^{\circ}\text{C}$
Offset vs. temperature	$\pm 300 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	$\pm 150 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 2.4.1 เปรียบเทียบระหว่างออปแอมป์ทางอุดมคติและทางปฏิบัติ

การเลือกใช้งานออปแอมป์ จำเป็นต้องพิจารณาขอบเขตของความถี่สัญญาณที่จะใช้งานด้วย ออปแอมป์บางตัวถูกออกแบบเพื่อรองรับการขยายสัญญาณความถี่ต่ำ บางตัวถูกออกแบบให้ใช้ขยายสัญญาณความถี่สูงแตกต่างกันไป การใช้จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับสภาพงานของการขยายสัญญาณ เพื่อให้ได้คุณภาพของสัญญาณที่ขยายออกมาดีที่สุด และเข้าใกล้ทางอุดมคติมากที่สุด

การต่อออปแอมป์เป็นวงจรขยายแบบง่าย ๆ แสดงในรูปที่ 2.4.2 ซึ่งเป็นวงจรขยายแบบ

Noninverting



รูปที่ 2.4.2 วงจรขยายแบบ Noninverting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณสำหรับวงจรขยาย Noninverting เป็นไปตามสมการ

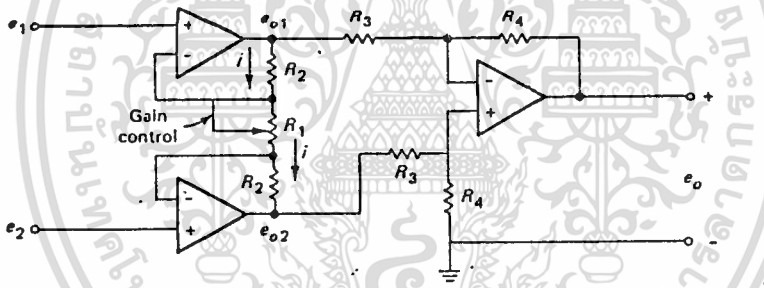
$$e_o = [(R_2 / R_1) + 1] e_i \quad (2.4.1)$$

ค่า e_o / e_i คือค่า Signal Gain หรืออัตราขยายสัญญาณ ซึ่งถูกกำหนดโดยอัตราส่วนของความต้านทาน R_2 / R_1 ในการออกแบบย่อมต้องทราบขนาดสัญญาณเข้าที่ต้องการขยาย และทราบขนาดสัญญาณที่ต้องการได้ จาก 2 ค่านี้ ย่อมนำไปคำนวณและหาค่า R_1 และ R_2 ที่เหมาะสมได้ในที่สุด

การขยายแบบง่ายเช่นนี้ ยังไม่เหมาะสมกับการใช้จริง สามารถปรับปรุงให้เป็นวงจรออปแอมป์ที่มีคุณภาพดีกว่านี้ได้ แต่ลักษณะวงจรเหล่านั้นจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ การกล่าวถึงออปแอมป์เพียงเพื่อให้เป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจ การประยุกต์ใช้ออปแอมป์เพื่อสร้างวงจรอินสตรูเมนต์-แอมพลิฟายเออร์ ซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพดีกว่า และใช้ในเครื่องวัดผลไม่โดยนัยนี้ด้วย

2.4.2 อินสตรูเมนต์ แอมพลิฟายเออร์ (Instrument Amplifier)

โครงสร้างพื้นฐานของอินสตรูเมนต์ แอมพลิฟายเออร์ ประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัวทำงานร่วมกัน ดังปรากฏในรูปที่ 2.4.3



รูปที่ 2.4.3 อินสตรูเมนต์ แอมพลิฟายเออร์

เนื่องจาก ออปแอมป์ไม่กินกระแส ดังนั้นกระแส i ที่ไหลจาก e_{o1} ไป e_{o2} ผ่าน R_2 และ R_1 เป็นไปตามสมการ

$$i = \frac{e_{o1} - e_i}{R_2} = \frac{e_1 - e_2}{R_1} = \frac{e_2 - e_{o2}}{R_2} \quad (2.4.2)$$

ซึ่งก็คือ
$$e_{o1} - e_{o2} = [e_1 - e_2][1 + 2(R_2/R_1)] \quad (2.4.3)$$

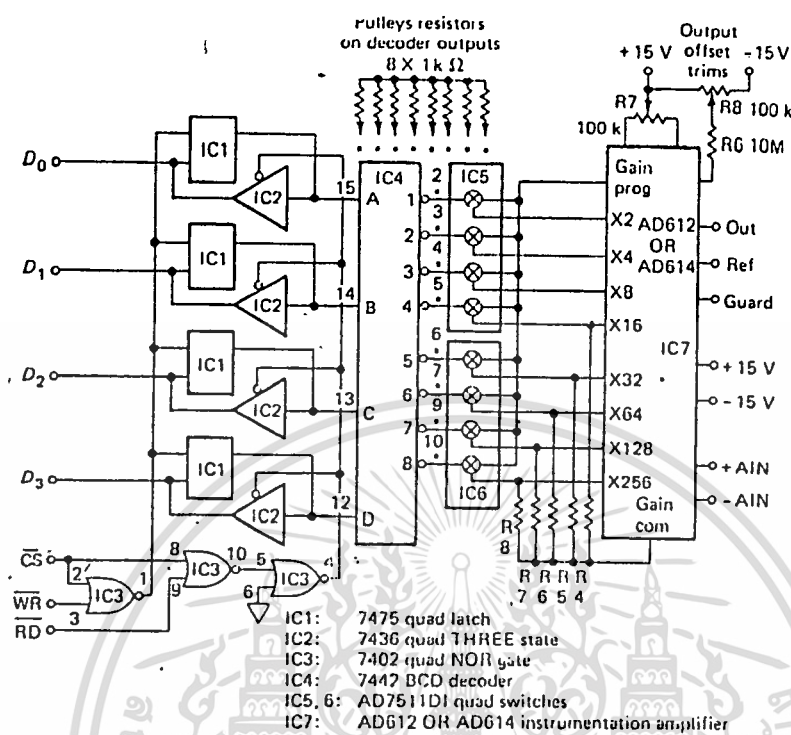
และ
$$e_o = R_4/R_3 [e_2 - e_1][1 + 2(R_2/R_1)] \quad (2.4.4)$$

การประยุกต์ออปแอมป์เป็นอินสตรูเมนต์ แอมพลิฟายเออร์ นั้นจะได้วงจรขยายสัญญาณที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการคือ ได้ยินพีเคเนชชาเข้าสูง สัญญาณรบกวน (Noise) ต่ำ และมีขอบเขตการใช้งานกว้าง โดยเฉพาะสัญญาณรบกวนเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากอุปกรณ์วัดโดยทั่วไปให้ความดันไฟฟ้าต่ำอยู่แล้ว หากใช้เครื่องขยายสัญญาณที่ไม่ดี จะเกิดการรบกวนของสัญญาณขึ้น ทำให้สัญญาณที่ขยายได้ผิดเพี้ยนไปได้ หรือที่เรียกว่า เฝิ่นนั่นเอง

นอกจากจะสร้างอินสตรูเมนต์แอมพลิฟายเออร์จากออปแอมป์ได้แล้ว ยังมีอีกวิธีหนึ่งซึ่งให้ประสิทธิภาพดีคือ ใช้วงจรอินสตรูเมนต์แอมพลิฟายเออร์สำเร็จรูป ซึ่งมีผู้ผลิตออกมาขายตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่องตลาด ดังแสดงตัวอย่างวงจรในรูปที่ 2.4.4



รูปที่ 2.4.4 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์หลายเออร์ที่สร้างจากชิปสำเร็จรูป

แต่สำหรับปริมาณที่น้อยเลือกใช้อินสตรูเมนต์แอมป์หลายเออร์แบบแรก กล่าวคือ สร้วงจาก
 ออกแบบเนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูกกว่า แต่อาจมีผลต่อยกกว่าอินสตรูเมนต์แอมป์หลายเออร์
 วิธีหลังอยู่บ้างเล็กน้อยก็ตาม

2.5 การควบคุมโซลินอยด์

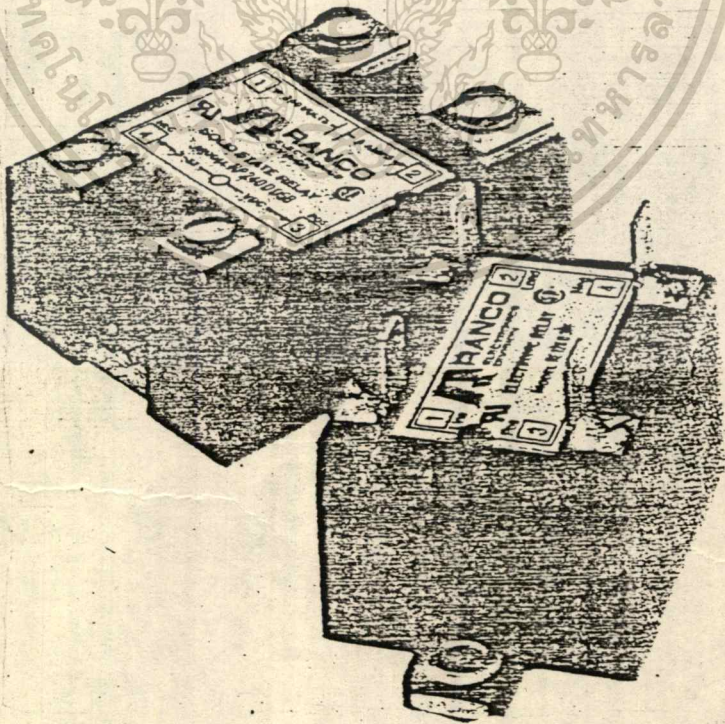
พีซี หรือ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทำงานในลักษณะสัญญาณดิจิทัล ด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าเพียง 0 กับ 5 โวลต์ ส่วนอุปกรณ์กำลังต่างๆรวมทั้งโซลินอยด์ ทำงานด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าสลับ อาจสูงถึง 220 V หรือมากกว่า ซึ่งความแตกต่างของประเภทและชนิดของแรงดันไฟฟ้านี้ ทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟและควบคุมอุปกรณ์โดยตรงจากพีซีได้ จะต้องผ่านอุปกรณ์อินเตอร์เฟสเสียก่อน จึงจะสามารถทำงานต่อไปได้

วิธีที่ง่ายและพื้นฐานที่สุด คือ อินเตอร์เฟส (Interface) กับแรงดันไฟฟ้าสูงโดยใช้รีเลย์ (RELAY) ประกอบไปด้วย ขดลวดเหนี่ยวนำและสวิตช์หน้าสัมผัส เมื่อจ่ายไฟเข้าขดลวด จะทำให้ขดลวดเหนี่ยวนำกลายเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า ดึงดูดสวิตช์หน้าสัมผัสทำให้เกิดการตัดต่อของวงจรขึ้น จะเห็นว่าไฟที่จ่ายเข้าขดลวดจะเป็นไฟแรงดันต่ำ เมื่อทำการตัดต่อไฟแรงดันสูง ปัญหาที่ประสบในการใช้รีเลย์ คือ การเกิดสัญญาณรบกวนเนื่องจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและประกายไฟที่เกิดจากหน้าสัมผัสรีเลย์ การที่สัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบของพีซี หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้น อาจทำให้วงจรทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหายได้

การแก้ไขปัญหานี้สามารถทำได้ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

2.5.1 โซลิดสเตทรีเลย์ (Solid-state Relay)

การใช้โซลิดสเตทรีเลย์แทนรีเลย์ จะกำจัดสัญญาณรบกวนดังกล่าวข้างต้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากโซลิดสเตทรีเลย์มีการแยกกันระหว่างวงจรขับกับไฟสลับด้วยแสง และมีลักษณะการสวิตช์หน้าสัมผัสอยู่ตรงตำแหน่งศูนย์ของแรงดันไฟสลับ จึงทำให้สัญญาณรบกวนไม่เกิดขึ้น ตัวอย่างโซลิดสเตทรีเลย์ แสดงในรูปที่ 2.5.1



รูปที่ 2.5.1 โซลิดสเตทรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

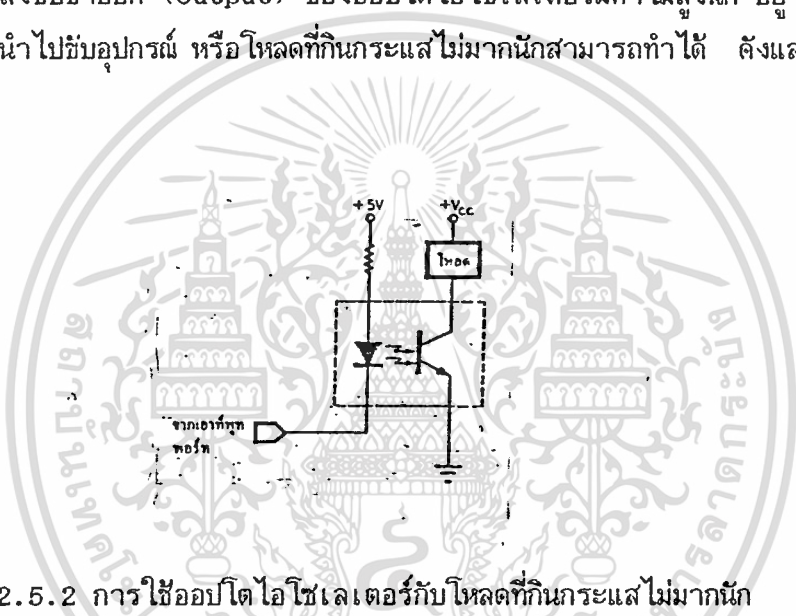
โดยทั่วไป ไชลิตสเตรรี่เลยนี้จะมีราคาสูงกว่ารีเลย์ ดังนั้นการเลือกใช้จึงควรดูรายละเอียดของ ไชลิตสเตรรี่ให้ถี่ รวมทั้งศึกษาลักษณะงานเสียก่อนว่า จำเป็นจะต้องใช้ ไชลิตสเตรรี่หรือไม่เพียงใด

2.5.2 ออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto-isolator)

ออปโตไอโซเลเตอร์ มีคุณสมบัติป้องกันการรบกวนที่เข้ามาทางเอาต์พุต (Output) ของตัวมันได้ดี ดังนั้นการใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์เป็นอุปกรณ์อินเตอร์เฟส จึงต้องต่อวงจรที่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นเข้าทางเอาต์พุต ส่วนวงจรต้องการให้ปลอดภัยจะต่อเข้าทางอินพุต (Input) ของออปโตไอโซเลเตอร์

ทางกายภาพแล้ว ออปโตไอโซเลเตอร์ทำงานด้วยแสง นิยมหาการรบกวนจึงตัดไปได้อย่างสิ้นเชิง โดยทั่วไปกำลังขับขาออก (Output) ของออปโตไอโซเลเตอร์มีค่าไม่สูงนัก อยู่ในช่วง 20 ถึง 40 mA หากนำไปขับอุปกรณ์ หรือโหลดที่กินกระแสไม่มากนักสามารถทำได้ ดังแสดงในรูปที่

2.5.2

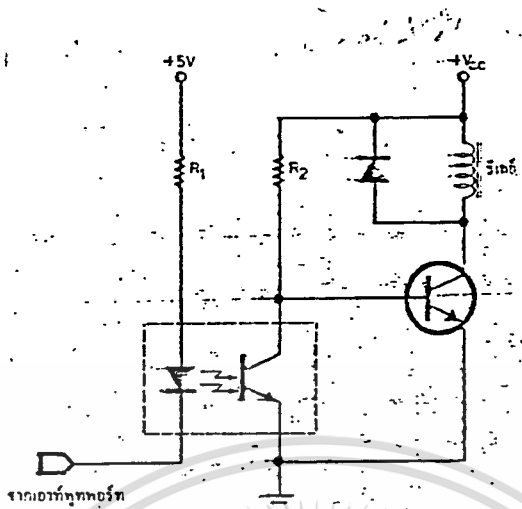


รูปที่ 2.5.2 การใช้ออปโตไอโซเลเตอร์กับโหลดที่กินกระแสไม่มากนัก

2.5.3 การประยุกต์ใช้ออปโตไอโซเลเตอร์

นอกเหนือจากการใช้ ไชลิตสเตรรี่เลยนี้แทนรีเลย์ ในงานควบคุมอุปกรณ์กำลังแล้ว ยังอาจใช้ออปโตไอโซเลเตอร์ต่อร่วมกับรีเลย์ธรรมดาได้ โดยออปโตไอโซเลเตอร์จะกำจัดการรบกวนเนื่องจากการเหนี่ยวนำทั้งไป การใช้รีเลย์ธรรมดาจึงไม่มีปัญหา

แต่โดยลักษณะของรีเลย์ เป็นการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจะต้องลดค่าการคายพลังงานในขณะที่จะทำให้กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นศูนย์ด้วย โดยการใช้ไดโอด (Diode) ต่อไว้ เพื่อลดกระแสกระชากที่อาจทำอันตรายต่อทรานซิสเตอร์ในวงจรรูปที่ 2.5.3



รูปที่ 2.6.3 วงจรต่อออปโต ไอโซเลเตอร์กับรีเลย์

การที่ต้องมีทรานซิสเตอร์ ก็เพื่อเพิ่มแรงขับต่อรีเลย์ ทั้งนี้เพราะออปโตไอโซเลเตอร์มีแรงขับน้อย ไม่เพียงพอต่อการขับรีเลย์ ให้ตัดต่อสวิตช์หน้าสัมผัสได้

การทำงานของวงจรในรูปที่ 2.6.3 เป็นไปดังนี้ คือ ขณะที่ฝั่ง +5V ไม่มีกระแสไหล จะไม่มีกระแสไหลในทรานซิสเตอร์ของออปโตไอโซเลเตอร์ด้วย ทำให้ไม่มีกระแสผ่านตัวมันไปได้ กระแสจาก +VCC จึงไหลไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์กำลัง เป็นผลให้กระแสไหลจาก +VCC ไปที่ขาคอเลคเตอร์ผ่านไปขาอิมิตเตอร์ลงดิน(Ground) ไป รีเลย์จะทำงานเพราะมีกระแสไหลผ่าน

ต่อมาเมื่อป้อนกระแสทาง +5V ทำให้มีกระแสไหลในทรานซิสเตอร์ของออปโตไอโซเลเตอร์ด้วย กระแสส่วนใหญ่จาก +VCC จะไหลผ่านตัวมันลงดินไป ทำให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์กำลังขาดกระแสไบอัส จึงไม่มีกระแสไหลในทรานซิสเตอร์กำลัง รีเลย์หยุดทำงานเพราะขาดกระแส

การนำวงจรในรูปที่ 2.6.3 ไปใช้งานจริงจะต้องปรับปรุงอีกเล็กน้อย (ดังปรากฏในวงจรใช้งานจริง ในบทที่ 3) ความแตกต่างคือ ในวงจรใช้งานจริง รีเลย์จะตัดต่อไฟแรงดันสูงเข้าโซลินอยด์ เมื่อมีการสั่งงานจากพีซี

จะเห็นว่าในการควบคุมอุปกรณ์กำลังโดยพีซี ออปโตไอโซเลเตอร์ลดการรบกวนจากรีเลย์ และอุปกรณ์กำลังได้ ทำให้พีซีทำงานได้ไม่ผิดพลาด วงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็ไม่เสียหาย ส่วนรีเลย์จะตัดต่อหน้าสัมผัส เพื่อจ่ายไฟเข้าอุปกรณ์กำลังโดยการควบคุมและสั่งงานของพีซี

บทที่ 3

การคำนวณและการจัดสร้าง

อาจแบ่งการออกแบบเครื่องตัดผลไม้โดยน้ำหนัก ออกเป็น 3 หัวข้อได้แก่ การออกแบบโครงสร้างทางกล การออกแบบส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ และการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทั้ง 3 หัวข้อนี้แตกต่างกันออกไปในแต่ละด้าน การออกแบบจึงต้องพิจารณาออกแบบให้สัมพันธ์กัน เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างสอดคล้อง

3.1 การออกแบบโครงสร้างทางกล

3.1.1 หลักการออกแบบโครงสร้างทางกล (Mechanical Design's Concept)

การออกแบบโครงสร้างทางกล อาศัยหลักการการออกแบบดังนี้

- การตัดเกรดผลไม้ ทำโดยการเปิดช่องเพื่อให้กระเช้าพลิกตัว ทำให้ผลไม้ตกลงสู่ภาครอบรับที่เตรียมไว้

- เพื่อตัดผลไม้ 3 ช่อง จึงต้องมีช่อง 3 ช่อง โดยช่องที่ 1 และ 2 จะถูกควบคุมการปิด-เปิดโดยโซลินอยด์ซึ่งควบคุมโดยพีซีอีกทีหนึ่ง ส่วนช่องที่ 3 จะถูกเปิดไว้ตลอดเวลา ผลไม้ที่น้ำหนักไม่อยู่ในช่วงที่ 1 และ 2 จะตกลงสู่ช่องที่ 3 นี้

- การสั่งงานของพีซีสามารถทำได้ครั้งละหนึ่ง จึงสั่งงานโซลินอยด์ให้ทำงานพร้อมกันไม่ได้ การออกแบบโครงสร้างทางกล จึงต้องออกแบบให้กระเช้าเคลื่อนถึงตำแหน่งไม่พร้อมกัน

- เพื่อให้การอ่านค่าน้ำหนักจากโหลดเซลล์เป็นไปอย่างถูกต้อง การติดตั้งโหลดเซลล์จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ได้รับการสนับสนุนจากสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด

- การทำงานของเครื่องตัดผลไม้โดยน้ำหนักเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ระบบสายพานโซ

- ระบบต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

- การออกแบบเน้นการใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด

3.1.2 ระบบส่งกำลัง

การส่งถ่ายกำลังจากเพลานึงไปยังอีกเพลานึง มีวิธีการที่นิยมกันคือใช้โซ่ขับปลิง และสายพานธรรมดา โดยแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งจะขอกกล่าวเพียงสายพานธรรมดาที่ใช้ในการออกแบบส่วนส่งกำลังเท่านั้น

ก) สายพานส่งกำลังแบบธรรมดา

สายพานส่งกำลังแบบธรรมดาที่ใช้กันในงานส่งถ่ายกำลังนั้น สามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่างได้หลายแบบ เช่น แบบแบน แบบกลม สายพานตัววี แต่จะขอกกล่าวถึงเพียงสายพานตัววี ซึ่งเป็นประเภทที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายที่สุด

สายพานตัววียังแบ่งเป็น 2 ประเภทอีกคือ แบบหน้ากว้างธรรมดา (Classical V-belt) และแบบหน้าแคบ (Power Ace)

สายพานตัววีแบบธรรมดา มีการจัดขนาดของสายพานตามขนาดของพื้นที่หน้าตัดได้ 5 ประเภทคือ หน้าตัด A, B, C, D และ E โดยที่หน้าตัด A เป็นขนาดเล็กที่สุดและ E ใหญ่ที่สุด ซึ่งแสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ในเอกสารอ้างอิงที่ 3.3.1 โดยแสดงขนาดพื้นที่หน้าตัดและความยาวของสายพานมาตรฐาน
ต่างๆไป

สายพานตัววีหน้าแคบ สามารถส่งกำลังได้สูงกว่าสายพานตัววีแบบธรรมดา ทำให้มีขนาด
กระตัดรัดเมื่อส่งกำลังเท่ากัน และใช้ในอัตราทดสูงกว่าอีกด้วย แต่จะไม่ขอกว่าในที่นี้ เนื่องจาก
ในการออกแบบระบบส่งกำลังใช้เพียงสายพานตัววีแบบธรรมดาด้วยมีราคาถูกและหาได้ง่าย และ
ถ้าเกิดความจำเป็นขึ้นมาอย่างกระทันหัน สายพานทั้งสองชนิดอาจใช้แทนกันได้ โดยการเทียบ
ขนาดให้ใกล้เคียงแต่จะมีอายุการใช้งานสั้นกว่าปกติ

ข) การออกแบบอัตราทดและจำนวนสายพานเพื่อใช้ในการส่งถ่ายกำลัง

จากการที่ใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1430 rpm. เป็นต้นกำลังในการขับ
สายพานโซ่ และขีดความสามารถในขั้นต้นที่ต้องการให้สายพานโซ่ที่ขับกระเข้ามีความเร็วรอบเป็น
20.688 rpm. นั้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใส่สายพานและพูลเลย์ เข้ามาช่วยในการทดรอบของ
มอเตอร์ลง

การเลือกใช้พูลเลย์และสายพาน ได้กำหนดแบบของสายพานเป็นสายพานตัววีแบบธรรมดาชนิด
ร่อง B และพูลเลย์ชนิดเดียวกัน (กล่าวคือ ทั้งสายพานและพูลเลย์จะมีการผลิตออกมาตามชนิดของ
ร่องด้วย) ซึ่งจะมีการลื่นไถล และสูญเสียความเร็วรอบน้อย อีกประการหนึ่งเนื่องจากสายพาน
ชนิดนี้สามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูก

ดังนั้น จึงแบ่งขั้นการทดของพูลเลย์ออกเป็น 3 ช่วง โดยเลือกใช้ขนาดของพูลเลย์ในการทดแต่ละ
ช่วง ดังนี้

ก) ทดครั้งที่ 1 ทดจากพูลเลย์ขนาด 12" ไปสู่อพูลเลย์ขนาด 2.5"

ข) ทดครั้งที่ 2 ทดจากพูลเลย์ขนาด 12" ไปสู่อพูลเลย์ขนาด 4"

ค) ทดครั้งที่ 3 ทดจากพูลเลย์ขนาด 12" ไปสู่อพูลเลย์ขนาด 2.5"

ซึ่งในการทดรอบของสายพานจะหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วรอบสุดท้าย} &= \text{ความเร็วรอบแรก} * \text{อัตราทดทั้งหมด} \\ &= 1430 * [2.5/12] * [4/12] * [2.5/12] \\ &= 20.688 \end{aligned}$$

และเนื่องจากการออกแบบในการที่จะขับกระเข้าได้ใช้สายพานลำเลียงด้วยโซ่ ซึ่งมีขนาด
ของจานโซ่ขนาด 4" จึงสามารถเขียนเป็นสมการเพื่อใช้คำนวณหา ระยะทางที่โซ่เคลื่อนที่ไปได้
ใน 1 ชม. ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระยะทางเคลื่อนที่} &= \text{rpm.} * 60 * \text{เส้นรอบวงของจานโซ่} \\ &= 20.688 * 60 * 2\pi r \\ &= 15598.38 \text{ นิ้ว/ชม.} \end{aligned}$$

และระยะห่างของช่องกระเข้าที่ใช้รองรับผลไม้ั้น มีระยะห่างในแต่ละกระเข้าเป็น 15"

จึงสามารถคำนวณได้เป็น 1040 ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นขีดความสามารถสูงสุดที่เครื่องตัดผลไม้อัตโนมัติจะตัดได้คือ 1040 ผล/ชม. ทั้งนี้ เนื่องจากในการออกแบบคำนึงถึงการนำไปใช้งาน ซึ่งขีดความสามารถนี้จะเพิ่มขึ้นได้ถ้าลดอัตราทดของพูลเลย์และสายพานลง ก็จะสามารถตัดได้จำนวนผลของส้มโอมากขึ้น

และขนาดความยาวของสายพาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3.1

$$\text{ความยาว(Pitch Length)} = 2C + 1.57(D+d) + (D-d)^2 / 4C \quad (3.3.1)$$

โดย C = ระยะระหว่างศูนย์กลางเพลลา

D = เส้นผ่าศูนย์กลาง(Pitch Diameter) ของพูลเลย์ตัวใหญ่

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวเล็ก

ซึ่งสมการที่ 3.3.1 นี้จะใช้ประโยชน์ในการหาความยาวของสายพานที่ขายในท้องตลาดโดยทั่วไป จะสามารถหาได้ทุกขนาดความยาวในหน่วยนิ้ว

3.1.3 โซ่ (Chain)

การใช้โซ่เป็นสายพานนั้น โซ่จะถูกยึดกับจานโซ่ซึ่งจะถูกขับโดยระบบส่งกำลังอีกทีหนึ่ง เมื่อจานโซ่หมุนจะดึงเอาโซ่หมุนตามไปด้วย

โดยทางกายภาพ โซ่เป็นสายเดี่ยวๆ การใช้โซ่เป็นสายพานจึงมักต้องใช้โซ่มากกว่า 1 เส้นขึ้นไป วางไว้คนละฟากกัน การที่โซ่เป็นเส้นเดี่ยว ทำให้โซ่แต่ละเส้นเป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกัน จึงไม่อาจใช้เป็นสายพานได้โดยทันที จะต้องเอาแกนยึดโซ่เข้าไว้ด้วยกันเสียก่อน เพื่อให้โซ่เคลื่อนที่เป็นหน่วยเดียวกัน อีกทั้งแกนยึดยังมีประโยชน์ในการป้องกันมิให้โซ่พลิกเมื่อถูกแรงกระทำดังลงทางด้านข้างของโซ่

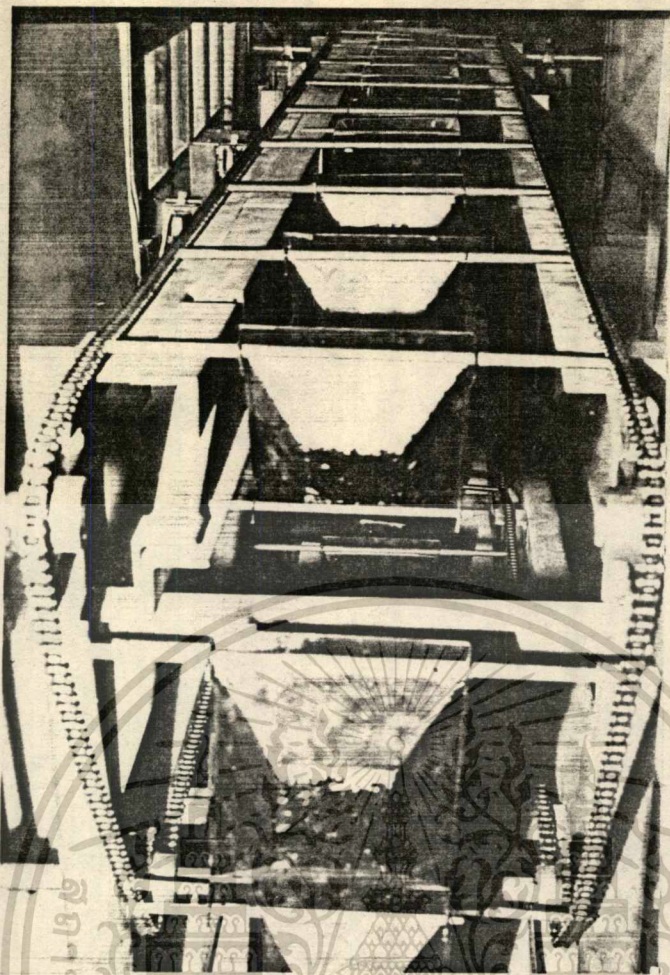
การใช้โซ่เป็นสายพานยาวหรือค่อนข้างยาวนี้ การกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่โดยอาศัยแนวพื้นผิวของจานโซ่เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ จำเป็นต้องมีแกนนำ (Guide Line) ช่วยให้แกนลูกปืนของโซ่วิ่งไปบนแกนนำนี้ เสมือนหนึ่งรถไฟวิ่งบนราง เรียกแนวนำนี้ว่า "เหล็กกันตกท้องช้าง"

การใช้โซ่จะต้องขึงให้ตึงพอสมควร การขึงให้โซ่ตึงเกินไป จะทำให้โซ่รับความเค้นมาก แต่หากขึงโซ่หย่อนจะทำให้การส่งกำลังไม่ดี รวมทั้งการตกออกจากเหล็กกันตกท้องช้างได้ง่าย ทำให้มีโอกาสเสียหายง่ายกว่า

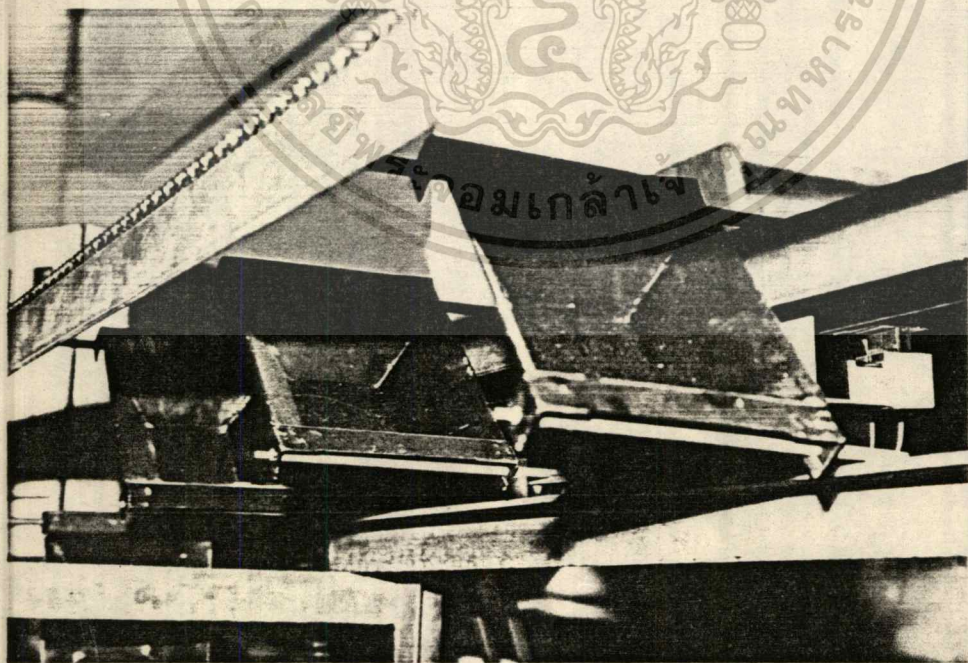
สำหรับการออกแบบที่ใช้ในปฏิทินพจนานี้ ใช้โซ่ชนิด M40 ซึ่งเป็นโค้ดมาตรฐานในการใช้โซ่ลำเลียงในทางอุตสาหกรรม

3.1.4 การประกอบส่วนโครงสร้างทางกล

ในการออกแบบส่วนโครงสร้างทางกลนี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1.4.1 ถึง 3.1.4.4



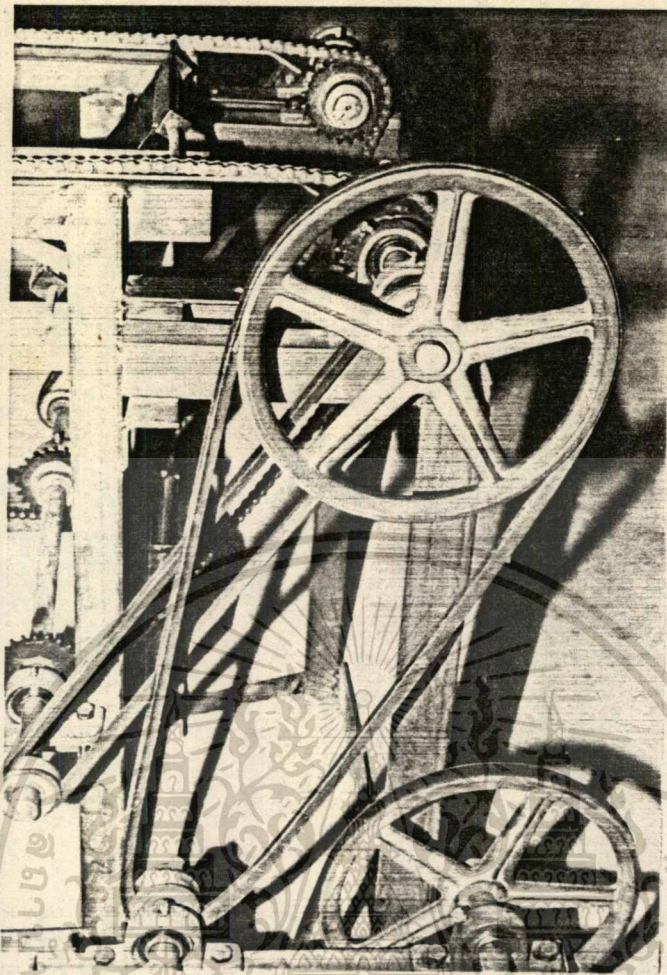
รูปที่ 3.1.4.1 รูปแสดงตำแหน่งการติดตั้งกระเช้า



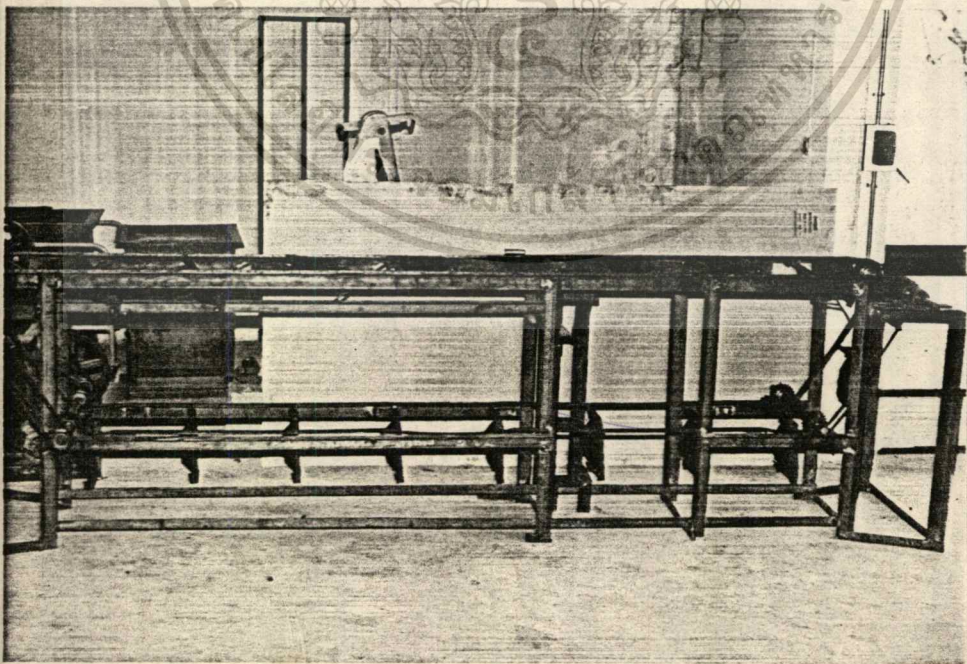
รูปที่ 3.1.4.2 รูปกระเช้าขณะเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.4.3 การติดตั้งส่วนส่งกำลัง



รูปที่ 3.1.4.4 ลักษณะโครงสร้างที่ประกอบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1.4.1 แสดงให้เห็นลักษณะกระเช้าที่ติดตั้งประกอบเข้ากับโซ่ เพื่อใช้เป็นสายพาน น้ำหนักของกระเช้ามีความแตกต่างกันเล็กน้อยจนตัดทิ้งได้ จึงไม่ทำให้น้ำหนักที่อ่านได้โดยไหลด เซลผลิตพลาดไป

ลักษณะกระเช้าเป็นแบบปิรามิดตัดปลายจึงให้ความสมดุลแก่ผลไม้ ผลไม้ที่วางอยู่จะไม่โคลน แคลน การจัดสร้างแสดงให้เห็นในแบบ "BASKET" แล้ว

รูปที่ 3.1.4.2 แสดงให้เห็นลักษณะกระเช้าขณะพลิกตัว เพื่อให้ผลไม้สามารถลื่นตกทุกๆลูก โดยไม่มีปัญหา มุมที่กระเช้าพลิกตัวควรมีค่าประมาณ 45°

รูปที่ 3.1.4.3 แสดงให้เห็นส่วนต้นกำลังซึ่งประกอบไปด้วย มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ทดด้วยพูลเลย์ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ความเร็วรอบสุดท้ายที่เหมาะสมกับการใช้งาน

รูปที่ 3.1.4.4 แสดงให้เห็นโครงสร้างทางกลโดยสมบูรณ์ของเครื่องคัดเกรดผลไม้โดยน้ำหนักรวม แบบการจัดสร้างนำเสนอในพิมพ์เขียวข้างท้ายปฏิญานพนธ์นี้

3.2 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ในส่วนการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สามารถแบ่งออกเป็น 4 หน่วยเกี่ยวข้องกัน คือ

3.2.1 วงจรบนการ์ด (Card) ที่เสียบตรงกับสล๊อตของพีซี

วงจรในหน่วยนี้ประกอบด้วย ส่วนติดต่อกับพีซี, ส่วนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัล (A/D Converter), ส่วนส่งสัญญาณควบคุมการทำงานของโซลินอยด์

CONCEPT:

1. การติดต่อกับพีซี ต้องอ้างอิงตำแหน่งอุปกรณ์ภายนอก (Port Address) ด้วยเสมอ จำนวนตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้งานต้องพอดีกับจำนวนใช้งาน และต้องเป็นตำแหน่งว่างที่ไม่มีการใช้งานอ้างอิงในพีซีขณะนั้นด้วย

อ้างอิงตารางที่ 2.2.4 Card Slot I/O Port Address เพื่อเลือกตำแหน่งอ้างอิงสำหรับใช้งานในเครื่องคัดเกรดผลไม้โดยน้ำหนักจำนวน 4 Port Address ดังนี้

Port 334H	:Start Conversion
Port 335H	:end of Conversion
Port 336H	:Read Data from A/D Converter
Port 337H	:Control Relay

ความหมายและการทำงานของแต่ละ Port เป็นดังนี้

Port 334H : ใช้เพื่อสั่งงานให้วงจรส่วนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลทำงาน (IC ที่ใช้งานคือ ADC 0808)

Port 335H : ส่งข้อมูลเข้าพีซี เพื่อรายงานว่าได้ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อก/ดิจิทัลแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Port 336H : ตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ในการรับข้อมูลดิจิทัลที่แปลงเรียบร้อยแล้ว

Port 337H : ใช้สัญญาณวงจรควบคุมโซลินอยด์ให้ทำงาน

การสร้าง :

วงจรใช้งานปรากฏในรูปที่ 3.2.1 ในหน้าถัดไป

ในการออกแบบได้ออกแบบเพื่อให้สามารถควบคุมโซลินอยด์ 3 ตัว สำหรับการขยายระบบในอนาคต แต่ในขณะที่จัดสร้างใช้งานควบคุมโซลินอยด์เพียง 2 ตัว

3.2.2 วงจรส่วนขยายสัญญาณ

วงจรส่วนขยายสัญญาณนี้เป็นวงจรอินสตรูเมนต์ แอมพลิฟายเออร์ ที่ประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัว ออปแอมป์ที่ใช้เป็นออปแอมป์เบอร์ CA314 วงจรใช้งานปรากฏในรูปที่ 3.2.2

3.2.3 วงจรส่วนควบคุมโซลินอยด์

วงจรใช้งานจริงแสดงในรูปที่ 3.2.3 ซึ่งการทำงานอธิบายได้ดังนี้

R_{θ} จะจำกัดกระแสไหลเข้าออปโตไอโซเลเตอร์ = $5/300 = 16.67 \text{ mA}$ ซึ่งเป็นขนาดกระแสที่ IC TTL จ่ายได้ ด้วยกระแสขนาด 16.67 mA นี้ ออปโตไอโซเลเตอร์สามารถทำงานได้ (กระแสต่ำสุดที่ออปโตไอโซเลเตอร์ทำงานได้ประมาณ 5 mA)

ขณะไม่ทำงาน จะไม่มีกระแสไหลจาก SOLENOID SELECT SIGNAL ที่มาจากพีซี ซึ่งทำให้กระแสด้านทรานซิสเตอร์ไม่ไหล จึงไม่มีกระแสไบอัสเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์กำลัง ทำให้ไม่มีกระแสไหลเข้ารีเลย์ โซลินอยด์จึงไม่ทำงาน

แต่เมื่อมีการสั่งงานจากพีซี จะทำให้มีกระแสไหลเข้าไบอัสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์กำลัง ผลคือทำให้มีกระแสไหลผ่านรีเลย์ในที่สุด ซึ่งทำให้โซลินอยด์ทำงานด้วย

3.2.4 ภาคจ่ายไฟ

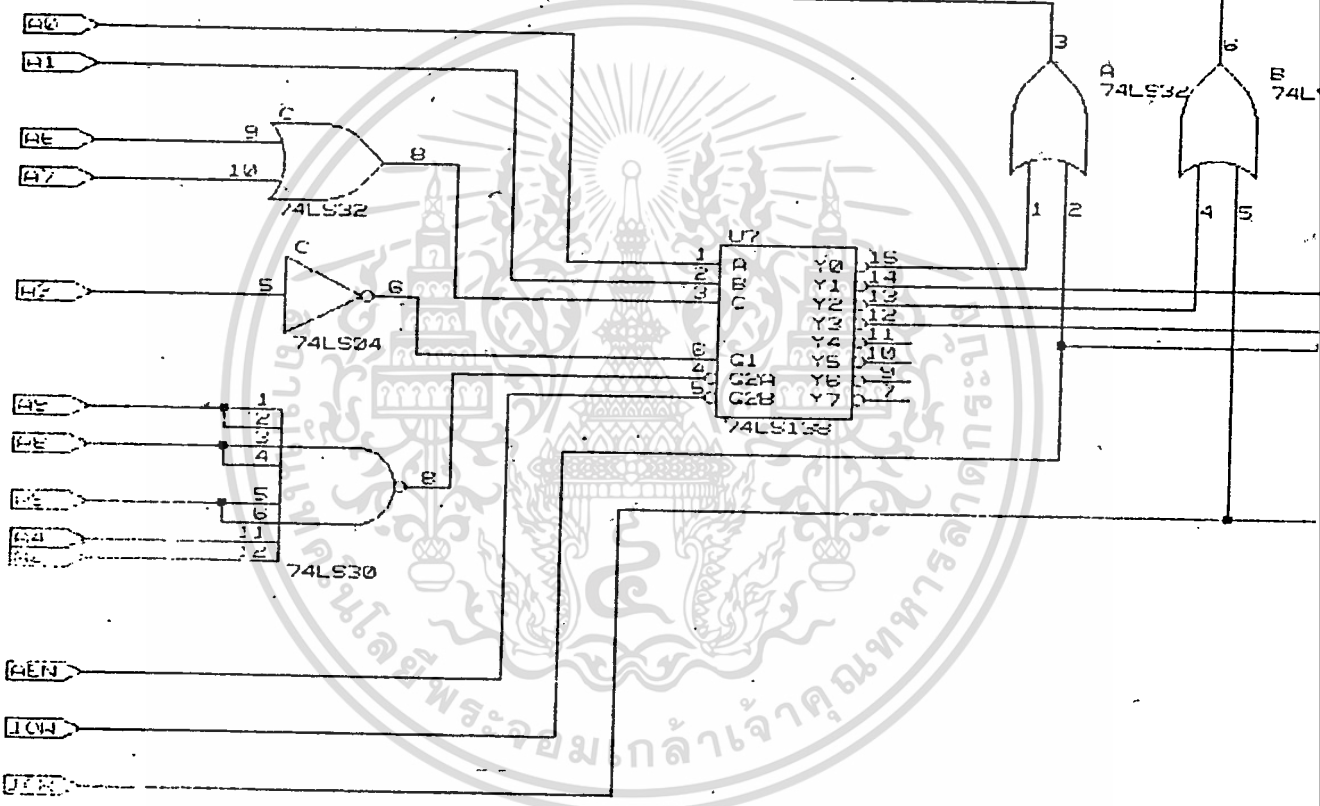
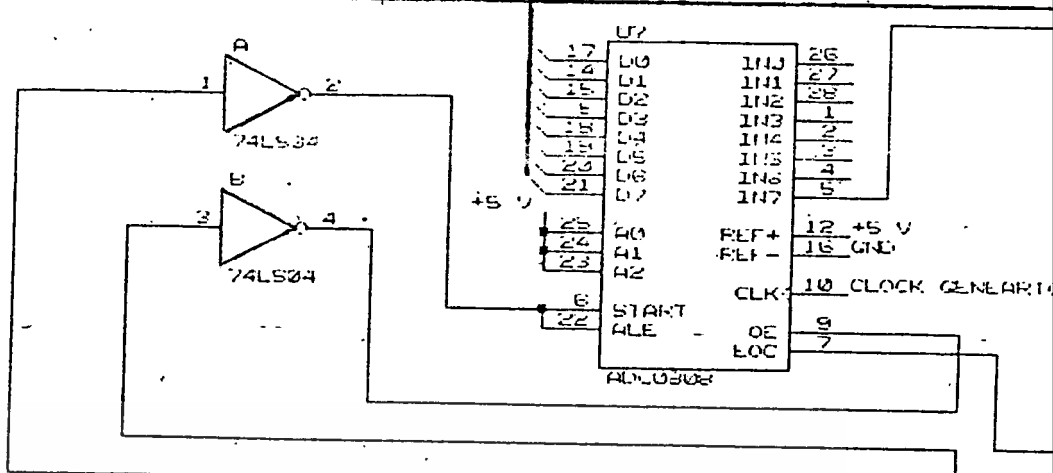
วงจรทั้งหมดจะทำงานด้วยไฟกระแสตรงที่ต่างระดับความดันกัน ซึ่งความดันไฟที่ใช้งานนี้มีค่าตั้งแต่ +12 VDC, -12 VDC, +2 VDC

+12 VDC, -12 VDC เป็นไฟเลี้ยงของวงจรขยายสัญญาณ

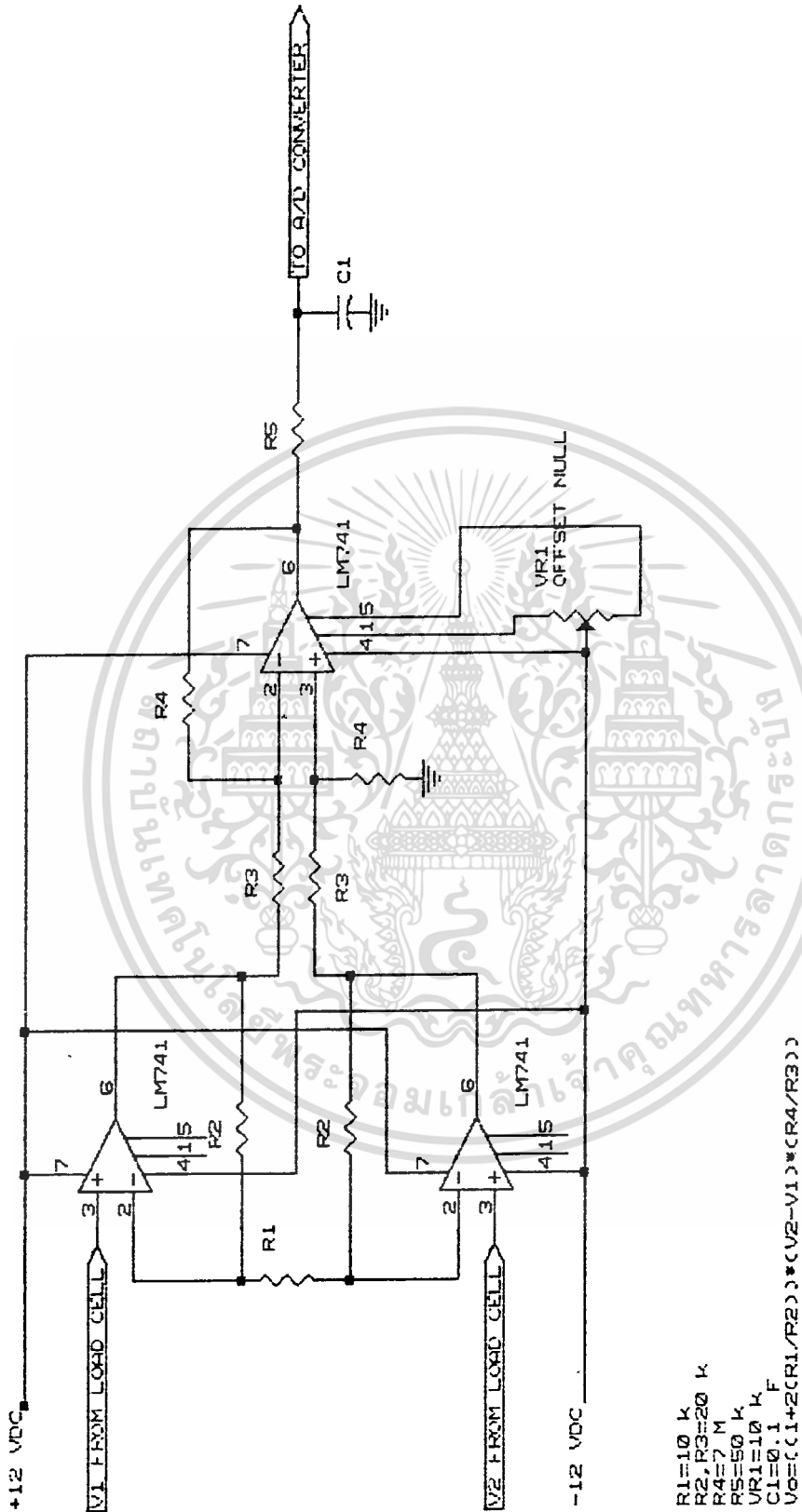
+2 VDC เป็นไฟเลี้ยงไหลดเซล

วงจร Power Supply แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.2.4

DATA BUS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ในประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.2.1 วงจรบนการคิด
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



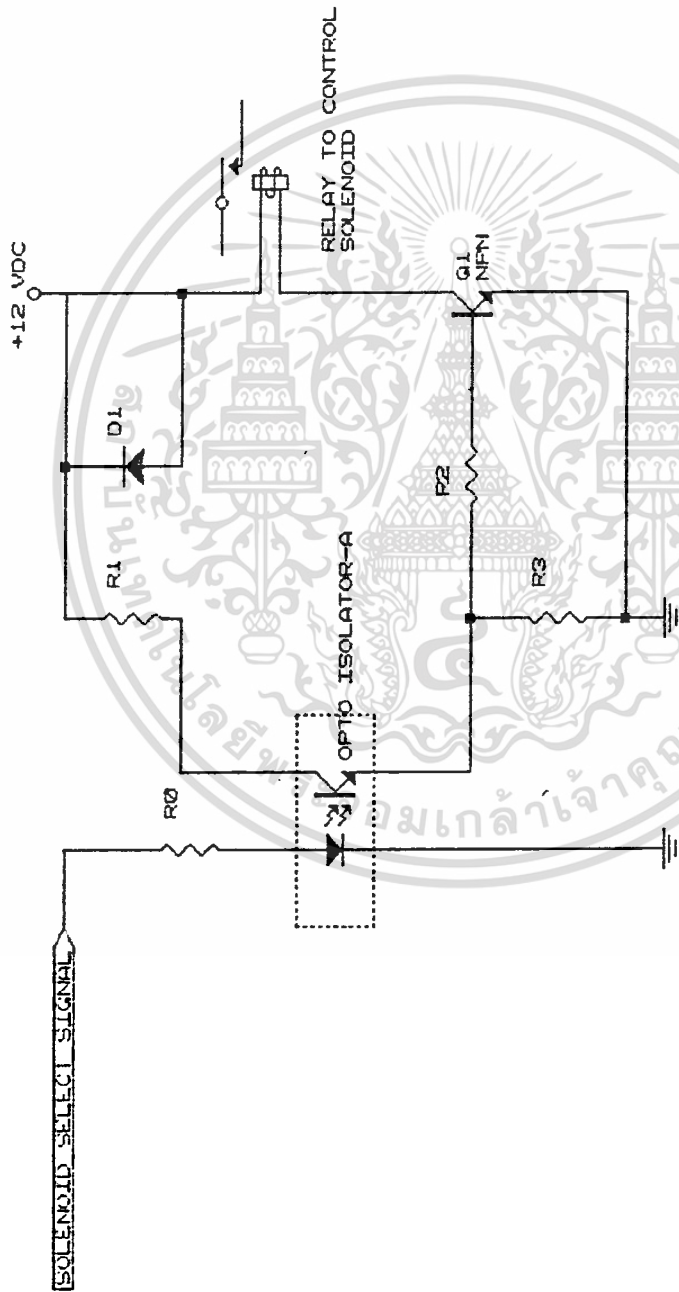
INSTRUMENT AMPLIFIER

Size Document Number

A . REV

Date: March 21, 1989 Sheet of

รูปที่ 3.2.3 วงจรส่วนควบคุมโซลินอยด์



- R0=300
- R1, R2=500
- R3=2.2 K
- G1=CS45
- OPTO ISOLATOR-A 4N26
- DIODE 4001
- RELAY MZ-12HS , 12 VDC

SOLENOID CONTROL

Size Document Number A

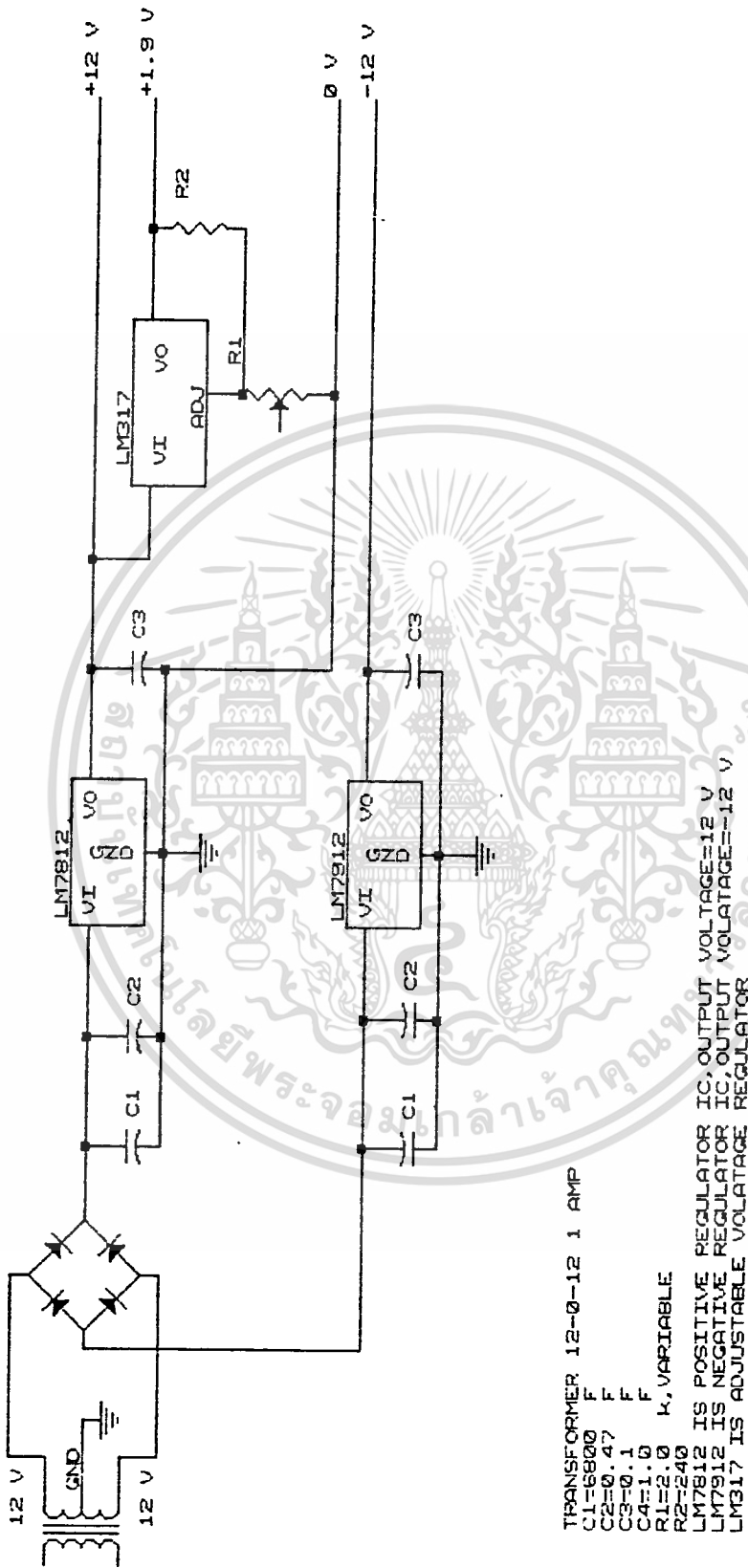
REV

Date: March 21, 1988 Sheet of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2.4 วงจรภาคจ่ายไฟ



TRANSFORMER 12-0-12 1 AMP
 C1=6600 F
 C2=0.47 F
 C3=0.1 F
 C4=1.0 F
 R1=2.0 K, VARIABLE
 R2=240
 LM7812 IS POSITIVE REGULATOR IC, OUTPUT VOLTAGE=12 V
 LM7912 IS NEGATIVE REGULATOR IC, OUTPUT VOLTAGE=-12 V
 LM317 IS ADJUSTABLE VOLTAGE REGULATOR

POWER SUPPLY PART FOR FRUIT GRADER	
Size Document Number	REV
A	
Date:	March 21, 1999 Sheet of

3.3 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่จัดทำขึ้น เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องตัดเกรดผลไม้โดยน้ำยาที่เขียนขึ้นด้วย เทอร์โบปาสคาล เวอร์ชัน 4.0 (Turbo Pascal Version 4.0) ซึ่งเป็นปาสคาลคอมไพเลอร์ (Pascal Language Compiler) ของบริษัท BORLAND INTERNATIONAL ที่มีผู้นิยมใช้งานมากทั่วโลก

Port ที่ใช้ในการควบคุมรีเลย์มีขั้วไปควบคุมโซลินอยด์อีกทีหนึ่ง ให้แก่ Port 337h

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Control Relay#1:	0	X	0	0	0	0	0	0
Control Realy#2:	0	0	X	0	0	0	0	0

กล่าวคือ ควบคุม Relay#1 โดยการ Set Bit 6 หากให้ D6=1 รีเลย์จะทำงานตัดต่อให้โซลินอยด์ทำงาน เมื่อ Set Bit 6;D6=0 รีเลย์จะหยุดทำงาน

โปรแกรมควบคุมการเปิดปิดของโซลินอยด์ สามารถแสดงได้ดังนี้

```

Program Control Relay;
Uses Crt;
Var Ch:Char;
Begin
    WriteLn('Solenoid Control Sample Program');
    WriteLn('Press 1 : When want Relay #1 working');
    WriteLn('Press 2 : When want Relay#2 working');
    WriteLn('Press 3 : When want Both Relay close');
    WriteLn('Press 0 : Quit.');
```

```

Repeat
    Ch:=readKey;
    Case Ch of
        '1':Port[337]:=s40;
        '2':Port[337]:=s20;
        '3':Port[337]:=s00;
    end;
Until Ch='0';
Port[337]:=s00;
```

End.

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการอ่านข้อมูลจากโหลดเซลล์ ทำได้โดยการอ่านข้อมูลจาก Port 336h โดยก่อนการอ่านค่า เมื่อมีน้ำหนักใหม่เข้ามาค่าที่ส่ง ต้องทำการกระตุ้น วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลทำงาน โดยส่งงานผ่าน Port. 334h

ข้อมูลที่ได้จะเป็นตัวเลขในระบบเลขฐาน 16 เมื่อสัญญาณอนาล็อกเข้ามาด้วยแรงดันไฟฟ้า =+5 VDC Full Range จะแปลงค่าข้อมูลได้=FF แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้า=0 VDC จะแปลงค่าข้อมูลได้=00 แรงดันไฟฟ้าค่าอื่นๆในช่วง 0-5 VDC จะได้ข้อมูลในช่วง 00-FF - - -

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามค่าน้ำหนักที่กระทำลงโหลดเซลล์ ดังนั้น ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้างกล่าวจะเป็นค่าน้ำหนักที่อ่านได้เช่นกัน

ในทางปฏิบัติ จะต้องทำการพล็อต(Plot)ค่าของน้ำหนักกับค่าดิจิตอลที่อ่านได้ก่อน เพื่อจะได้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าดิจิตอล เพื่อนำไปใช้ในภาควิทยาเทียบค่าน้ำหนักที่อ่านได้ในภายหลังต่อไป

โปรแกรมอ่านข้อมูลจากโหลดเซลล์ สามารถแสดงได้ดังนี้

```
Program Read Data From Load Cell;
Uses Crt;
Var Weight:Byte;
Ch :Char;
Begin
  WriteLn('Press AnyKey to Start Sensing weigh process');
  WriteLn('Press 0 to Quit');
  Repeat
    Ch:=ReadKey;
    if Ch<>'0'then
      begin
        Port[336h]:=40;
        Weight :=Port[336h];
        WriteLn('Data Getting From Weight is: ',Weight);
      end;
  Until Ch='0';
End.
```

ในการใช้ขงระบบเครื่องจักรเกษตรไม่โดยน้ำหนัก โปรแกรมที่จัดสร้างเพื่อใช้ควบคุมจะได้รับการเอาโปรแกรมทั้ง 2 ที่กล่าวไปประยุกต์เข้าด้วยกัน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองโครงสร้างทางกล

จากการทดลองการทำงานของระบบทางกล ให้งดเป็นไปตามที่คาดไว้ โดยสามารถทำงานได้ตามการออกแบบ ซึ่งสามารถกล่าวได้ดังนี้

- การเคลื่อนตัวของกระเช้า- เป็นไปอย่างราบรื่น สามารถรับผลไม่ได้เป็นอย่างดี
- การเคลื่อนตัวของสายพานโซ่ มีข้อผิดพลาดเล็กน้อย เนื่องจากการป้อนแรงของจากรีเลย์ หากแต่ไม่มีผลกระทบใดๆต่อการทำงานของระบบ

- ระบบส่งกำลัง สามารถทำงานเป็นไปอย่างสมบูรณ์

4.2 การทดลองส่วนควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์

4.2.1 การทดลองวงจรอาร์ตที่เปรียบกับสล็อตพีซี

สามารถกล่าวผลการทดลองได้ดังนี้

- Port 337h สามารถทำงานโดยไม่มีปัญหา เมื่อสั่งงานโดยการ Set D6 = 1 จะได้เอาต์พุต = 1 ไปยังรีเลย์ตัวที่ 1 เพียงตัวเดียว และเมื่อสั่งงาน Set D5 = 1 ก็จะได้เอาต์พุต = 1 ไปยังรีเลย์ตัวที่ 2 ด้วยเช่นกัน เมื่อสั่ง OUTPUT 337h=00h จะได้เอาต์พุตไปสู่รีเลย์ทั้ง 2 = 0 ผลคือ สามารถสั่งงานรีเลย์ผ่านวงจรนี้ได้ถูกต้อง

- Port 336h ให้อ่านค่าความเปลี่ยนแปลงสัญญาณกลับไปที่ บิตดิจิตอลได้อย่างถูกต้อง เมื่ออินพุต = +5 VDC ได้เอาต์พุต = FF ; อินพุต = 0 VDC ได้เอาต์พุต = 00 ; และเมื่ออินพุตอยู่ในช่วง +5 VDC - 0 VDC จะได้เอาต์พุตอยู่ในช่วง FF-00 นั่นคือ วงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลสามารถทำงานได้

- การสั่งงานให้เริ่มดำเนินการแปลงสัญญาณโดยผ่านทาง Port 334h สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง กล่าวคือ หากไม่มีการสั่งงานให้เริ่มแปลงสัญญาณจาก Port 334h นี้ก่อน ไม่ว่าแรงดันไฟฟ้ทางอินพุตจะเป็นอย่างไร ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีค่าคงเดิมตลอด

4.2.2 วงจรขยายสัญญาณ

การทดลองจากการวัดโดยใช้ออสซิลิโอสโคป (Oscilloscope) ก็ยืนยันได้ว่า วงจรขยายสัญญาณนี้ทำงานได้จริง เมื่อมีสัญญาณความถี่ 50 Hz Peak 5V ซึ่งใกล้เคียงกับสัญญาณที่ได้จากโหนดเซลล์เข้าไประยะ ได้เอาต์พุตขนาด 50 Hz Peak 4.0 V โดยไม่มีสัญญาณรบกวน (Noise) เข้ามาเกี่ยวข้อง

4.2.3 วงจรควบคุมโซลีนอยด์

เมื่อสัญญาณควบคุมจากรีเลย์ในหัวข้อ 4.2.1 = 1 สามารถสั่งงานให้โซลีนอยด์หน้าลิ้นลิ้นของรีเลย์ทำงานได้ ดังที่เห็นสามารถกล่าวได้ว่า วงจรนี้สามารถใช้งานได้จริง

หากแต่ปัญหาที่ประสบคือ เมื่อนำไปต่อต่อไฟแรงดันสูง 220 V ก็เข้าโซลีนอยด์ ปรากฏว่าโซลีนอยด์ทำงานผิดพลาด ไม่สามารถควบคุมได้ เป็นปัญหาที่ควรแก้ไขต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 วงจรภาคจ่ายไฟ

วงจรมีประสิทธิภาพจ่ายแรงดันไม่ฟ้าได้ถูกต้องทุกประการ

4.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่นำเสนอโดยที่แล้ว สามารถควบคุมการทำงานได้ แต่เนื่องจากปัญหาดังต่อไปนี้ จึงไม่สามารถสร้างโปรแกรมสมบูรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องอัตโนมัติ

- ปัญหาในหัวข้อ 4.2.3 ทำให้ไม่สามารถควบคุมโซลิดสเตตได้ แต่การควบคุมรีเลย์ไม่มีปัญหา

- ปัญหาเนื่องจากตัวโหลดเซลล์ ไม่สามารถหาซื้อต่อสัญญาณ (Jack) ที่เข้ากับตัวของรับได้ในท้องตลาดของประเทศไทย จึงไม่สามารถทดลองต่อกับส่วนควบคุมได้ การทดลองที่ผ่านมาเป็นผลการทดลองโดยจำลองสัญญาณจากโหลดเซลล์ ซึ่งวงจรต่างๆก็ทำงานได้ หากสามารถหาซื้อต่อสัญญาณดังกล่าวได้ การประกอบเข้ากับระบบก็จะทำให้การทำงานสมบูรณ์ได้ในที่สุด

สืบเนื่องจากปัญหาจากตัวโหลดเซลล์ ทำให้ไม่สามารถทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเข้าหลักกับตัวตัดจอตอล จึงไม่อาจสร้างโปรแกรมอ่านค่าเข้าหลักได้โดยขณะนี้

เมื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวแล้วไป ระบบก็ควรทำงานได้อย่างสมบูรณ์

บทที่ 5

สรุปและแนวทางการปรับปรุง

จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาจากบทที่แล้ว จะเห็นได้ว่า เครื่องตัดเกรดผลไม้อัตโนมัติโดยใช้น้ำหนักก็ยังมีส่วนที่มีผลผลิตในส่วนของการควบคุม ซึ่งยังคงต้องพัฒนาส่วนต่อไป เพื่อให้สามารถทำงานได้ดังต้องการ แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของการโครงสร้างทางกลนั้น สามารถทำงานได้เป็นไปตามการออกแบบ ดังเห็น ในที่นี้ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์จะได้กล่าวถึงการแก้ไขข้อผิดพลาด ซึ่งกล่าวไว้ในผลการทดลองดังกล่าวมาแล้ว

ในการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้หมดไปนั้น เบื้องต้นให้ระบบมาปรับปรุงในส่วนต่างๆ อันได้แก่ การนำมาประกอบกันอย่างสมบูรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ของส่วนประกอบของส่วนควบคุม ซึ่งก็คือ การนำส่วนของแหล่งจ่ายไฟ วงจรการ์ดที่เสียให้กับสวิตช์ของมีชี วงจรรีเลย์ และคอมพิวเตอรืมาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้การทำงานเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์

การปรับปรุงระบบที่ต่อไป เพื่อให้ได้การใช้งานที่สะดวก ง่ายต่อวัด และทนทานต่อการเสียหายต่างๆ โดยอุปกรณ์ที่สามารถนำมาปรับปรุงระบบคือ แผงวงจรเดี่ยว (Single Board)

แผงวงจรเดี่ยว (Single Board) นี้ เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ประกอบไปด้วยวงจรของไมโครโปรเซสเซอร์ ที่สามารถนำมาใช้ควบคุมการทำงานของระบบแทนการใช้คอมพิวเตอรืได้ อีกทั้งแผงวงจรเดี่ยวนี้ยังมีขนาดของวงจรมินิเล็กเจอร์ที่วัด สามารถหาและซื้อได้ในราคาถูกมาก อีกทั้งมีความทนทานต่อความเสียหาย จึงสามารถนำมาติดตั้งไว้บนเครื่องตัดผลไม้อัตโนมัติแทนการใช้คอมพิวเตอรื ซึ่งมีขนาดของเครื่องใหญ่ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย อีกทั้งยังมีราคาแพงและง่ายต่อการเสียหายอีกด้วย

กล่าวโดยสรุป เครื่องตัดเกรดผลไม้อัตโนมัติโดยใช้น้ำหนัก ก็ยังคงมีข้อได้เปรียบในด้านความสะดวกในการใช้งาน จากการใช้แรงงานของมนุษย์ ซึ่งเสียทั้งเวลาและแรงงาน มากไปกว่านั้น เครื่องจักรกลที่อาศัยคอมพิวเตอรืในการควบคุมการทำงาน ทั้งยังสามารถพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพได้มากขึ้น โดยการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาใช้งาน



เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2.3.1: สเตรนเกกและการติดตั้ง
เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2.3.2: โหลดเซลล์และรายละเอียด
เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3.1.1: ตารางผู้เผยแพร่
แบบพิมพ์เขียวการจัดสร้างทางกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2.3-1
สเตรนเกจและการติดตั้ง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STRAIN GAGE CEMENT SELECTOR CHART

BASE	STRAIN GAGE COMPATIBILITY		MAX OPERATING TEMPERATURE (°C)	CURE TEMPERATURE (°C)	CURE TIME	CURE PRESSURE (kg cm ²)	SPECIMEN MATERIAL COMPATIBILITY	STRAIN LIMIT (%)	GENERAL APPLICATION REMARKS
Nitro-Cellulose	All except paper construction	S	60	Room to 60	hours 12~48	0.1~0.35	All except plastic soluble in MEK	10	Good general purpose cement with adequate drying
Acrylic	All	B-FAE B-FAB B	70	Room	minutes 1~5	0.1~4	All except some plastics	8 (at room)	Fast cure, short term test, less durable thermal/mech. Shock.
Epoxy				Room to 60	hours 1~70	0.35~1		10 (at room) 0.5 (at-180°C)	Easy and durable for long-term tests, normal ambients
Epoxy	All that will stand cure temperature Expectation All paper based	B-FAE B-FAB B	200	65~300	hours 1~30	1~2	All except some plastics and reactive metals	5 (at room) 1 (at-180°C)	Transducers and best long-term stability varying ambient conditions
Epoxy-phenolic				150~180	hours 2~6	2~4		2 (at room)	
Polyimide	FSM only	FSM	400	260	hours 25	2~3		2 (at room)	For high temperature

der one or more of the following patents"

2.913.691. 2.920.298. 2.927.878.
2.992.400. 3.074.040. 3.092.798.
3.121.491. 3.138.775. 3.124.769.
3.314.033. 3.507.732.

ents dated

. 1962. 1963. 1964. 1965.

OPERATION MANUAL OF SR-4 STRAIN GAGES

STRAIN GAGES TREATMENT PROCEDURE

PREPARED SURFACE PREPARATION	Shown below.
ACTIVE SURFACE PREPARATION	Instructions included with each cement.
ISOLATION	Instructions included with each cement.
ACTIVE SURFACE	Instructions included with each cement.
INSTALLATION	Gages resistance, leakage resistance.
WIRE MOUNT	Soldering gages lead wire
ACTIVE SURFACE	Moisture proofing Instructions included with each Barrier.

2. MECHANICAL SURFACE PREPARATION INSTRUCTIONS.

Specimen Material Guide
All metals Steps as given
Plastics Isopropyl Alcohol, Freon, or other noninjurious solvents in place of MEK (Steps 4 and 7)
Basic Steps.

- (1) Mechanically smooth specimen surface with file, grinding wheel, or sanding disc.
- (2) Wipe or blow residual grit, paint flakes, etc. away from area.
- (3) Clean hands.
- (4) Wipe large area with clean gauze sponges saturated in MEK.
Be sure all obvious contaminants are removed before proceeding to step 5.
- (5) Roughen area with silicon carbide paper. Use 400 grit for softer materials such as aluminium.
- (6) Lightly indicate gage location with pencil, or suitable tool.

- (7) Wipe gage area with clean gauze sponges saturated with MEK.
Use fresh sponge for each wipe. Do not place contaminated sponge in MEK container. Repeat until no further contaminants can be seen on sponge after wiping.
- (8) The prepared surfaces should be protected from further contamination after cleaning.

3. NOTE

- (1) Instructions included with each cement should be followed for the best, consistent results.
- (2) The lot-number between Temperature Compensation Gage (Dummy Gage) and Active Gage must be the same.
- (3) Strain Gage cement selection chart given in the Table above.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ควรถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

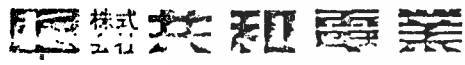


**เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2.3.2
โหลตเซลและรายละเอียด**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

検査成績表 CALIBRATION SHEET

=== <+> TEN ===

型式 Model	LU-20KA	検査年月日 Inspected date	1988. 9. 22	製造番号 Serial No.	YD4900014
容量 Capacity	20 kgf	温度 Temp.	20 °C	湿度 Humid.	60%
1. 定格出力 Rated output				1499	$\mu\text{V/V}$
				2998	$\times 10^{-6}$
2. 非直線性 Nonlinearity				0.05	% RO
3. ヒステリシス Hysteresis				0.07	% RO
4. 校正係数 Calibration constant				0.01334#	$1/\mu\text{V/V}$
5. 零点の温度影響 Temperature effect on zero balance				0.006671#	$1/1.0 \times 10^{-6}$
				*****)	% RO / °C
6. 出力の温度影響 Temperature effect on output				*****)	% / °C
7. 入出力抵抗 Input & output resistance		入力 Input		350.6	Ω
		出力 output		349.8	Ω
単位 Unit.....#		[kgf]		検査者 Inspector	
 KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD. TOKYO, JAPAN				責任者 Supervisor	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

検査成績表 CALIBRATION SHEET

=== <-> COMP ===

型式 Model	LU-20KA	検査年月日 Inspected date	1988-9-22	製造番号 Serial No.	YD4900014
容量 Capacity	20 kgf	温度 Temp.	20 °C	湿度 Humid.	60 %
1. 定格出力 Rated output				1497	μV/V
				2994	× 10 ⁻⁶
2. 非直線性 Nonlinearity				0.02	% RO
3. ヒステリシス Hysteresis				0.03	% RO
4. 校正係数 Calibration constant				0.01336#	/μV/V
5. 零点の温度影響 Temperature effect on zero balance				0.006680#	/1.0 × 10 ⁻⁶
6. 出力の温度影響 Temperature effect on output				*** ** *	% / °C
7. 入出力抵抗 Input & output resistance		入力 Input		350.6	Ω
		出力 Output		349.8	Ω
単位 Unit.....#		[kgf]			
株式会社 共和電業 KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD. TOKYO, JAPAN		検査者 Inspector			
		責任者 Supervisor			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIAL ACCESSORIES FOR LOAD CELL

OPERATION MANUAL

1. Kinds and Features of Accessories

Saddle CA

The saddle is to be mounted on the measured object. It is used to accurately transmit the measuring load to the load cell.



Movable saddle ER

The saddle is freely movable on a plane in a certain range. It is used to eliminate horizontal load.



Mounting base CF

The mounting base is used to install a load cell on the foundation which cannot endure the load or to fix a load cell if it cannot be fixed at the bottom.



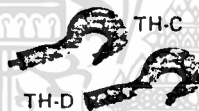
Rotation device RJ or RJ-B (for LT-F)

The rotation device is used for tension load measurement. It allows for eliminating some bending or twisting force applied to the load cell. Grease nipple type is also available.



Hook TH

The hook is used for tension load measurement. It is suitable for measuring a tension of rope.



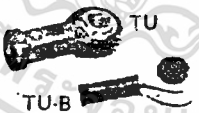
Shackle TR

The shackle is used for tension load measurement. It is suitable for measuring a tension of rope.



Ball joint TU

The ball joint is used for tension load measurement. It is suitable for handling a measured object.



2. Precautions

- The following accessories cannot be combined with high-temperature and low-temperature load cells.
 - Rotation devices RJ, RJ-B
 - Ball joints TU, TU-B
 - Movable saddles ER, ER-B
- All accessories described here cannot be combined with the LU-A series load cell.
- As a rule, these accessories are to be mounted by your dealer when the load cell is delivered. But if you mount them, read this operation manual carefully for correct installation.

3. Mounting Method

(1) Compression load measurement

For compression load measurement, the load should be applied vertically to the load cell. If you use the saddle, movable saddle or mounting base, therefore, you need to mount it vertically to the load direction.

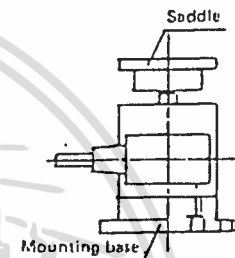
We describe here the typical mounting examples and methods.

a) LC series with the mounting base and saddle

Fig. 1 shows the load cell provided with the mounting base and saddle.

Fix with bolts the saddle on the load point of measured object. Set the mounting base utilizing the screws at the bottom of the load cell. (Use accessory bolts with hex. socket.) After mounting them, fix with bolts the mounting base together with the load cell to the measured object. Depending on the environmental condition, you may mount them upside-down.

Note: Be sure to use bolts with hex. socket for the above.



b) LC series with the mounting base and movable saddle

Fig. 2 shows the load cell provided with the mounting base and movable saddle.

Fix with bolts the movable saddle to the load point of measured object. Set the mounting base utilizing the screws at the bottom of load cell. After mounting them, fix with bolts the mounting base together with the load cell to the measured object.

Depending on the environmental condition, you may mount them upside-down.

Bolts provided at the periphery of movable saddle is to fix the internal saddle. Remove them when operating.

Note: Be sure to use bolts with hex. socket for the above. The movable saddle is usually used in combination with a check rod.

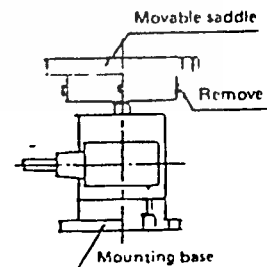


Fig. 2

(2) Tension load measurement

For tension load measurement, you need to arrange so that torque or bending force is not applied to the load cell. Also, to prevent such hazardous accident that the mounted special accessory is detached due to vibration, be sure to take measures against its turning.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในท้องที่ที่ก๊อชเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a) LU-50K~5TE with the shackle and hook

Fig. 3 shows an example of the tension/compression load cell (LU-50KE~5TE) combined with accessories. The shackle TR-C is mounted at the top to prevent detachment while the hook TH-C is mounted via the rotation device RJ at the bottom. Prevent their turning by fixing every connection using the setscrew with hex. socket. If the mating side has no spot facing hole, make it. Be sure to take abovementioned measures against turning.

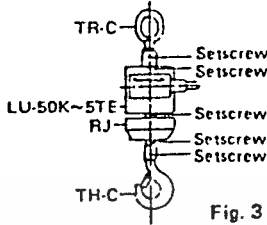


Fig. 3

b) LU-10TE/20TE with the shackle and hook

Fig. 4 shows an example of the tension/compression load cell LU-10TE/20TE combined with accessories. The shackle TR is mounted at the top to prevent detachment while the hook TH is mounted via the rotation device RJ at the bottom. Prevent their turning by fixing every connection using the setscrew with hex. socket. If the mating side has no spot facing hole, make it. Be sure to take abovementioned measures against turning.

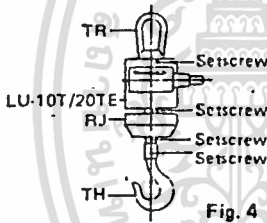


Fig. 4

c) LT-50KF~5TF with the shackle and hook

Fig. 5 shows an example of the tension load cell (LT-50KF~5TF) combined with accessories. The shackle TR-D is mounted at the top to prevent detachment while the hook TH-D is mounted via the rotation device RJ-B at the bottom. Prevent their turning by fixing every connection using the setscrew with hex. socket. If the mating side has no spot facing hole, make it. As to the cotter pin, push it in at the position where the slit at the tip of male screw meets the hole of cotter pin and open the tip to prevent slipping out.

Be sure to take abovementioned measures against turning.

For the method of mounting the rotation device RJ-B, refer to the following section (3).

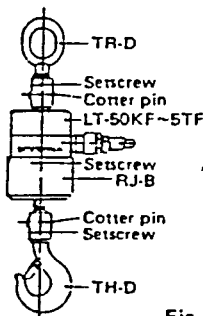


Fig. 5

d) LT-10T/20TF with the shackle and hook

Fig. 6 shows an example of the tension load cell LT-10TF/20TF combined with accessories. The shackle TR-B is mounted at the top to prevent detachment while the hook TH-B is mounted via the rotation device RJ-B at the bottom. Prevent their turning by fixing every connection using the setscrew with hex. socket. If the mating side has no spot facing hole, make it. As to the cotter pin, push it in at the position where the slit at the tip of male screw meets the hole of cotter pin and open the tip to prevent slipping out.

Be sure to take abovementioned measures against turning.

For the method of mounting the rotation device RJ-B, refer to the following section (3).

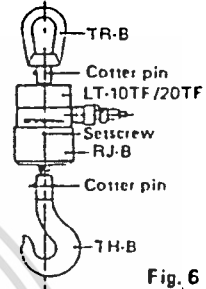


Fig. 6

e) LTH-50K~500KE with the shackle and hook

Fig. 7 shows an example of the high accuracy tension load cell (LTH-50K~500KE) combined with accessories. The shackle TR-03D is mounted at the top to prevent detachment while the hook TH-05C is mounted at the bottom via the rotation device RJ-05. Prevent their turning by fixing every connection using the setscrew with hex. socket. If the mating side has no spot facing hole, make it. As to the cotter pin, push it in at the position where the slit at the tip of male screw meets the hole of cotter pin and open the tip to prevent slipping out.

Be sure to take abovementioned measures against turning.

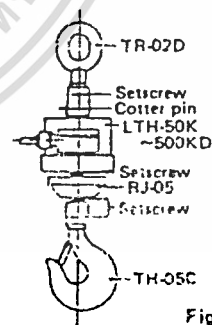
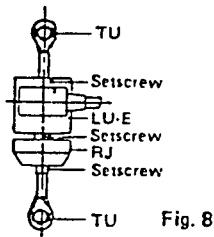


Fig. 7

f) LU-E with ball joints

Fig. 7 shows an example of the tension/compression load cell (LU-50KE~20TE) combined with accessories. One ball joint TU is mounted at the top to prevent detachment while another ball joint TU is mounted via the rotation device RJ at the bottom. Prevent their turning by fixing every connection using the setscrew with hex. socket. If the mating side has no spot facing hole, make it.

Be sure to take abovementioned measures against turning.



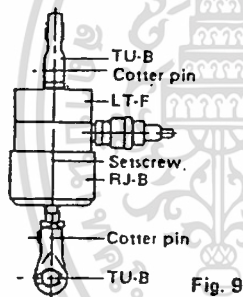
g) LT-F with ball joints

Fig. 8 shows an example of the tension load cell (LT-50KF ~ 20TF) combined with accessories. One ball joint TU-B is mounted at the top to prevent detachment while another ball joint TU-B is mounted via the rotation device RJ-B at the bottom. Prevent their turning by fixing every connection using the setscrew with hex. socket. If the mating side has no spot facing hole, make it. As to the cotter pin, push it in at the position where the slit at the tip of male screw meets the hole of cotter pin and open the tip to prevent slipping-out.

Be sure to take abovementioned measures against turning.

Also, screwing the ball joint TU-B too deep makes the load cell unoperable. So, screw it into the load cell until it hits the stop and after then, be sure to unscrew and return it a little.

For the method of mounting the rotation device RJ-B, refer to the following section (3).



h) LTH-E with the ball joints

Fig. 10 shows an example of the high accuracy tension load cell (TH-50K~500KE) combined with accessories. One ball joint TU-12B is mounted at the top to prevent detachment while another ball joint TU-12B is mounted at the bottom via the rotation device RJ-05. Prevent their turning by fixing every connection using the setscrew with hex. socket. If the mating side has no spot facing hole, make it. As to the cotter pin, push it in at the position where the slit at the tip of male screw meets the hole of cotter pin and open the tip to prevent slipping out.

Be sure to take abovementioned measures against turning.

Also, screwing the ball joint TU-12B deep makes the load cell unoperable. So, screw it into the load cell until it hits the stop, and then be sure to unscrew and return it a little.

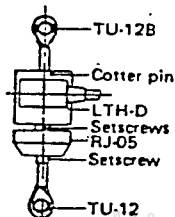


Fig. 10

(3) Connection of the tension load cell LT-F with the rotation device RJ-B.

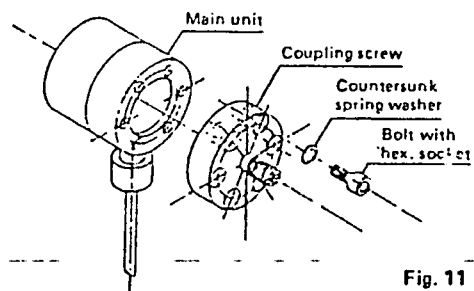


Fig. 11

Fig. 11 and 12 show the tension load cell LT-F and the rotation device RJ-B respectively.

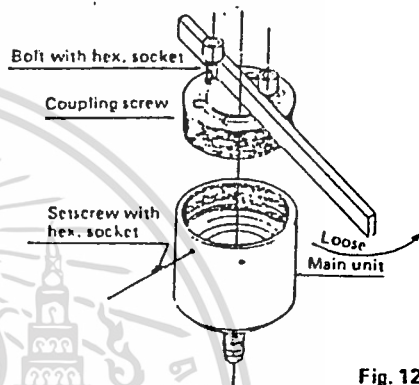


Fig. 12

Procedure

- 1) As shown in Fig. 9, detach the coupling screw of the tension load cell LT-F by removing the bolts with hex. socket and countersunk spring washers.
- 2) As shown in Fig. 10, remove setscrews with hex. socket and then detach the coupling screw of the rotation device RJ-B by utilizing the bolt with hex. socket which was removed at step 1. At that time, use an appropriate wood so as not to damage the thread of the bolts with hex. socket.
- 3) Mount the coupling screw detached from the rotation device RJ-B to the main unit of the tension load cell LT-F. The tightening torque for the bolt with hex. socket is shown in Table-1.
- 4) Screw the main unit of the rotation device RJ-B onto the coupling screw of the rotation device which was mounted to the tension load cell LT-F.
- 5) To prevent their turning, put the setscrew with hex. socket to each spot facing position securely.

Table-1 Proper tightening torques for tightening bolts of LT-F

Rated load	50 to 200 kgf	500 kgf to 2 tf	5 tf	10 tf	20 tf
Tightening bolt	M6	M8	M10	M16	M20
Tightening torque	1 kgf·m	3 kgf·m	7 kgf·m	27 kgf·m	56 kgf·m

(4) Other

If there is anything unclear on the connection method, etc., contact your dealer.

KYOWA
KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD.

Address: Chofu-Higashiguchi Building 2F, 45-6, Fuda 1-chome, Chofu, Tokyo 182, Japan
Phone: 0424-81-3537 Fax: 0424-89-1149 Telex: 02822-335 KYOWAT J

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานวิชาการเท่านั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOAD CELLS

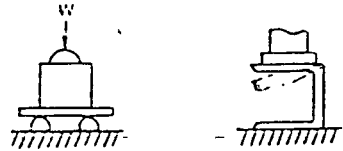
OPERATION MANUAL

1. Applicable Models

This instruction manual applies to the following models:

LC-A, LC-E, LC-F, LCK-A,
LC-FH, LC-FL, LC-J, LC-G;
LU-A, LU-E; LC-N
LT-F, LT-FH, LT-FL, LT-G

Bad examples



2. Checking Accessories

After unpacking, make sure that the following accessories have been included.

- | | |
|---------------------------------|--------|
| (1) Calibration sheet | 1 copy |
| (2) Operation manual | 1 copy |
| (3) Cotter pins (for LT-F only) | 2 pcs. |

3. Installation

- (1) Using trole or acetone, wipe off the zinc plating for rust prevention which has been applied to the bottom and top of the load cell.
- (2) The load cell is so designed that it senses only the force applied to the center shaft. Install it carefully since the propriety of installation gives the direct influence to the measuring accuracy. Arrange so that inclination load, turning moment, horizontal force component and bending moment do not bring an adverse effect.
- (3) The load cell has the capability to sufficiently comply with a daily change of atmospheric temperature. But take sufficient care that the load cell partially exposed to a direct heat is given a transient phenomenon which may affect the accuracy. If by all means you are compelled to use it in a temperature exceeding the allowable range, protect the whole load cell with a heat insulation material so that the operating temperature range is not exceeded.
- (4) When impact and vibration exist in the load direction, it is impossible to decide the rated load for the load cell unless the acceleration is determined. In such a case, therefore, you need to take a sufficient allowance for the rated load. If the acceleration is known, the rated capacity can be determined based on the loaded static weight and "mass x acceleration" applied to the load cell. The same explanation applies to the case where impact and vibration exist in the horizontal direction.



3-1 Measuring compression load

(Applicable models: LC-A, LC-E, LC-F, LCK-A, LC-FH, LC-FL, LC-J, LU-A, LU-E, LC-G, LC-N)

- (1) Fix the saddle to the load point of the measured object by welding or screwing an iron piece. Use the saddle having a hardness of HRC 38 to 40 and protect it from rust by applying grease. But take care of the kind of grease when applying to a high- or low-temperature load cell.
- (2) Install and fix the mounting base utilizing screw provided on the bottom of the load cell.
- (3) Be sure to install the saddle and mounting base horizontally to the loaded surface so that the weight is vertically applied to the load cell.

The figure below shows a typical example to make measurement more accurate.

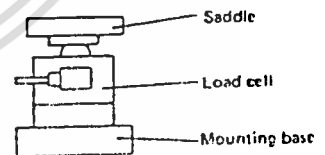
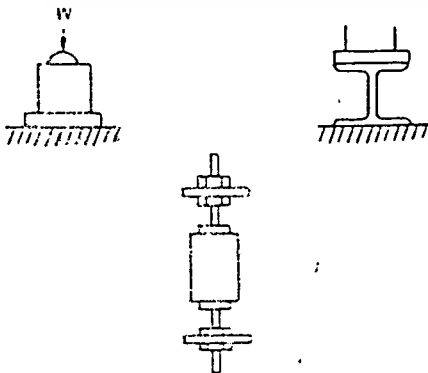


Fig. 2

Good examples



3-2 Measuring tension load

(Applicable models: LT-F, LT-FH, LT-FL, LU-E, LT-G)

- (1) Install the load cell utilizing the screws provided at the center of the top and bottom.
- (2) It is required that bending moment and turning moment are not applied to the load cell when operated. These not only gives adverse influence to measurement accuracy but also considerably shortens the service life of the load cell.
- (3) For safety measure, take a sufficient safety factor when determining the rated load for the

load cell and, in addition, prepare a safety device to prevent its dropping considering an unexpected accident.

- (4) When utilizing the full rated load by connecting the special accessory (such as TR, TH, TU, and RJ), or when an overload is feared, contact your dealer since some installation condition brings a problem on the strength.
- (5) Be sure to take measures to prevent turning at connections of the load cell and accessories.
 - a) Connect the LU-E or LT-G to accessories with setscrews to prevent turning. Ensure a spot facing on each mating side.
 - b) Connect the LT-F to accessories with cotter pins to prevent turning. In this case, take greatest care to keep the bottom of the ball joint from contacting the load cell. Otherwise, the ball joint may give a damage to the load cell.
- (6) When screwing the accessories into the load cell, take care that an excessive torque is not applied to the load cell proper. Especially, if the rated load is low, an excessive torque may damage the load cell.
- (7) Fix the cable when installing the load cell with a low rated load. Otherwise, the indicated value may wander due to its own weight. (Rated load 200 kgf or lower)
- (8) When installing the LU-A load cell in the dynamic direction for tension load measurement, set it upside down to eliminate the influence of dead load.
- (9) The TU type ball joint and RJ type rotation device cannot be used for high- and low-temperature load cells. For them, use the TR type shackle and TH type hook or connection screws described later in section 3-3.
- (10) When connecting the RJ-B type turning attachment to the LT-F load cell, remove coupling screw on the load cell. The proper tightening torques are as shown in the table 1.

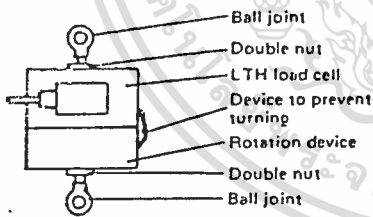


Fig. 3

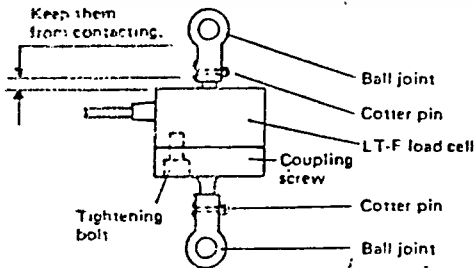


Fig. 4

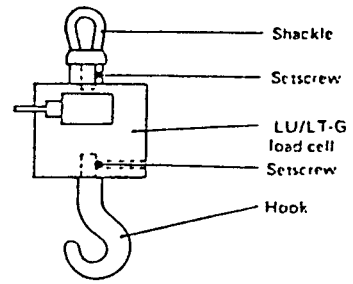


Fig. 5

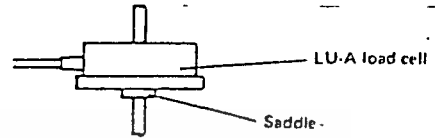


Fig. 6

Proper tightening torques of tightening bolts for LT-F

Rated load	50 to 200 kgf	500 kgf to 2 tf	5 tf	10 tf	20 tf
Tightening bolt	M6	M8	M10	M16	M20
Tightening torque	1 kgf·m	3 kgf·m	7 kgf·m	27 kgf·m	56 kgf·m

Table 1

3-3 Measuring both tension and compression loads (Applicable models: LU-A, LU-E,)

- (1) Install the load cell utilizing the screws provided at the center of the top and bottom.
- (2) Connection screws are applicable if only pure compression and pure tension loads are applied to the load cell. Centering and parallelism of two connection screws are required. Loose connection screws do not ensure accuracy.
- (3) The RJ type rotation device cannot be used for compression load.
- (4) An alternating load or impact load to the load cell brings a problem of the fatigue resistance of the load cell itself. Therefore, contact your dealer for special specifications.
- (5) Refer to section 3-2 "Measuring tension load" as well.

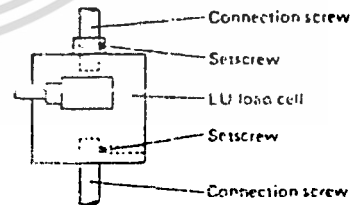


Fig. 7

4. Connection

(1) LC, LU, LT and LCK series load cells employ 4-wire cable. Cable connections to the connector are shown on Fig. 13.

(2) Some models are provided with a shield wire of the cable connected to the Load Cell casing while others do not. If you connect the shield wire to the ground with the load cell connected to an indicator, take care that a loop thereby formed may not ensure correct measurement due to induction.

Models provided with shield wire of the cable connected to the Load Cell casing:

LC-A, LC-E, LCK-A, LC-J, LU-A, LU-E

Models not provided with shield wire of the cable connected to the Load Cell casing:

LC-F, LC-FH, LC-FL, LC-G,
LT-F, LT-G

Ground the system at the amplifier/indicator. At that time, connect an oscilloscope to the output of the amplifier/indicator and check waveform for induction and noise. Grounding does not always ensure good result.

(3) When you install two or more load cells in a system, you may find an average value by connecting the junction box (refer Fig.10) or find an added or deducted value by providing a regulated DC power for each load cell (refer Fig.11 & Fig.12). Select the suitable method to meet with your requirements.

(4) To let each load cell exhibit the full performance, unify the cable length between each load cell and the junction box and ensure the same temperature for each load cell.

(5) Individual bridge powers, if used, are required to provide high stability.

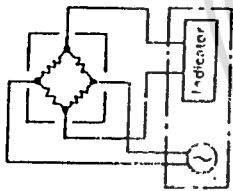


Fig. 9

Configuration of a system with one load cell

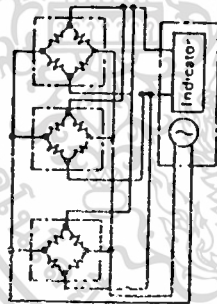


Fig. 10

Configuration to find an average value

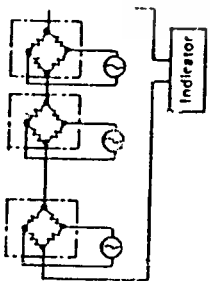


Fig. 11

Configuration to find an added value

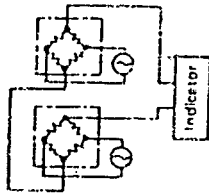


Fig. 12

Configuration to find a deducted value

5. How to Search for a Load Weight

When an unknown load is applied to the load cell, the pointer of the amplifier/indicator swings or the digital display indicates a numerical value. To find the weight of unknown load, calculate it based on the indicated value referring to the section "Sensitivity" in the calibration sheet and the calibration value of the amplifier/indicator. If you use an amplifier of other make, you need to accurately know the input bridge voltage. Based on it, calculate to what $\mu V/V$ the output corresponds. Load weights which correspond to the output voltages in $1\mu V/V$ are described in the calibration sheet. Find the load weight by multiplying the indicated value by the corresponding value.

6. Maintenance

- (1) Never disassemble the load cell.
- (2) Avoid dropping a material or giving an impact onto the top of the load cell.
- (3) Let your dealer calibrate the load cell once a year. Especially, if an excessive horizontal force component or excessive load is applied to the load cell, you should calibrate it.
- (4) Be careful that such foreign materials as water, oil and dust do not stick on the terminals of cable and plug and socket of the connector.

7. Inspection

- (1) Using a tester or digital multimeter, verify that the input/output resistance as well as the resistance between red and black wires (A-C) and white and green wires (B-D) is 350Ω . Further, for the 6-wire cable, verify that the red and yellow wires as well as the black and blue wires are in shorted condition.
- (2) Verify that the insulation resistance between the casing and any terminal of the cable except the shield wire is more than $100M\Omega/50V$ DC with the casing connected to the negative terminal of the insulation resistance tester.

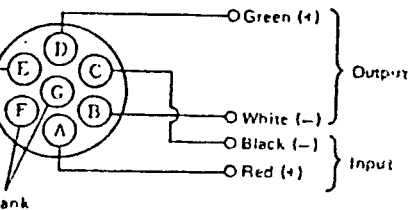
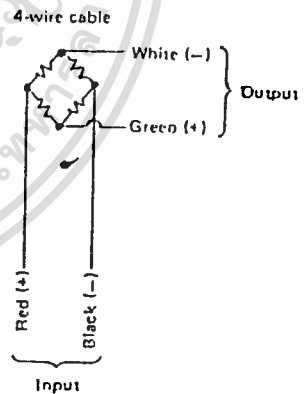


Fig. 13 4-wire cable arrangement

KYOWA
ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD

Address: Chofu-Higashiguchi Building 2F, 45-6, Fuda 1-chome, Chofu, Tokyo 182, Japan

Phone: 0424-81-3537 Fax: 0424-89-1149 Telex: 02822-335 KYOWAT J

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3.1.1
ตารางผู้เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A Cross Section

V-Belt No.	Outside Length		V-Belt No.	Outside Length		V-Belt No.	Outside Length	
	(in)	(mm)		(in)	(mm)		(in)	(mm)
A20	22.1	561.34	A53	55.1	1399.54	A86	88.1	2237.74
A21	23.1	586.74	A54	56.1	1424.84	A87	89.1	2263.14
A22	24.1	612.14	A55	57.1	1450.34	A88	90.1	2288.54
A23	25.1	637.54	A56	58.1	1475.74	A89	91.1	2313.94
A24	26.1	662.94	A57	59.1	1501.14	A90	92.1	2339.34
A25	27.1	688.34	A58	60.1	1526.54	A91	93.1	2364.74
A26	28.1	713.74	A59	61.1	1551.94	A92	94.1	2390.14
A27	29.1	739.14	A60	62.1	1577.34	A93	95.1	2415.54
A28	30.1	764.54	A61	63.1	1602.74	A94	96.1	2440.94
A29	31.1	789.94	A62	64.1	1653.54	A95	97.1	2466.34
A30	32.1	815.34	A63	65.1	1653.54	A96	98.1	2491.74
A31	33.1	840.74	A64	66.1	1678.94	A97	99.1	2517.14
A32	34.1	866.14	A65	67.1	1704.34	A98	100.1	2542.54
A33	35.1	891.54	A66	68.1	1729.74	A100	102.1	2593.34
A34	36.1	916.94	A67	69.1	1755.14	A101	103.1	2618.74
A35	37.1	942.34	A68	70.1	1780.54	A102	104.1	2644.14
A36	38.1	967.74	A69	71.1	1805.94	A103	105.1	2669.54
A37	39.1	993.14	A70	72.1	1831.34	A104	106.1	2694.94
A38	40.1	1018.54	A71	73.1	1856.74	A105	107.1	2720.34
A39	41.1	1043.94	A72	74.1	1882.14	A106	108.1	2745.74
A40	42.1	1069.34	A73	75.1	1907.54	A110	112.1	2847.34
A41	43.1	1094.74	A74	76.1	1932.94	A112	114.1	2898.14
A42	44.1	1120.14	A75	77.1	1958.34	A120	122.1	3101.34
A43	45.1	1145.54	A76	78.1	1983.74	A128	130.1	3304.54
A44	46.1	1170.94	A77	79.1	2009.14	A133	135.1	3431.54
A45	47.1	1196.34	A78	80.1	2034.54	A136	138.1	3507.74
A46	48.1	1221.74	A79	81.1	2059.94	A144	146.1	3710.94
A47	49.1	1247.14	A80	82.1	2085.34	A158	160.1	4066.54
A48	50.1	1272.54	A81	83.1	2110.74	A173	175.1	4447.54
A49	51.1	1297.94	A82	84.1	2136.14	A176	178.1	4523.74
A50	52.1	1323.34	A83	85.1	2161.54	A180	182.1	4625.34
A51	53.1	1348.74	A84	86.1	2186.94	A237	239.1	6073.14
A52	54.1	1374.14	A85	87.1	2212.34	A293	295.1	7495.54

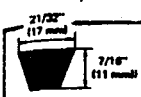


B Cross Section

B26	28.8	731.52	B43	45.8	1163.32	B60	62.8	1595.12
B27	29.8	756.92	B44	46.8	1188.72	B61	63.8	1620.52
B28	30.8	782.32	B45	47.8	1214.12	B62	64.8	1645.92
B29	31.8	807.72	B46	48.8	1239.52	B63	65.8	1671.32
B30	32.8	833.12	B47	49.8	1264.92	B64	66.8	1696.72
B31	33.8	858.52	B48	50.8	1290.32	B65	67.8	1722.12
B32	34.8	883.92	B49	51.8	1315.72	B66	68.8	1747.52
B33	35.8	909.32	B50	52.8	1341.12	B67	69.8	1772.92
B34	36.8	934.72	B51	53.8	1366.52	B68	70.8	1798.32
B35	37.8	960.12	B52	54.8	1391.92	B69	71.8	1823.72
B36	38.8	985.52	B53	55.8	1417.32	B70	72.8	1849.12
B37	39.8	1010.92	B54	56.8	1442.72	B71	73.8	1874.52
B38	40.8	1036.32	B55	57.8	1468.12	B72	74.8	1899.92
B39	41.8	1061.72	B56	58.8	1493.52	B73	75.8	1925.32
B40	42.8	1087.12	B57	59.8	1518.92	B74	76.8	1950.72
B41	43.8	1112.52	B58	60.8	1544.32	B75	77.8	1976.12
B42	44.8	1137.92	B59	61.8	1569.72	B76	78.8	2001.52

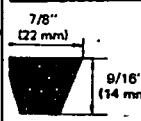
ตารางที่ 1

ขนาดพื้นที่หน้าตัดและความยาวของสายพานตัววิ่งหนักกว้างธรรมดาตามมาตรฐานทั่วไป



B Cross Section(cont'd)

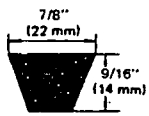
V-Belt No.	Outside Length		V-Belt No.	Outside Length		V-Belt No.	Outside Length	
	(in)	(mm)		(in)	(mm)		(in)	(mm)
B77	79.8	2026.92	B111	113.8	2890.52	B162	164.8	4185.92
B78	80.8	2052.32	B112	114.8	2915.92	B163	165.8	4211.32
B79	81.8	2077.72	B113	115.8	2941.32	B165	167.8	4262.12
B80	82.8	2103.12	B114	116.8	2966.72	B166	168.8	4287.52
B81	83.8	2128.52	B115	117.8	2992.12	B167	169.8	4312.92
B82	84.8	2153.92	B116	118.8	3017.52	B168	170.8	4338.32
B83	85.8	2179.32	B117	119.8	3042.92	B173	175.8	4465.32
B84	86.8	2204.72	B118	120.8	3068.32	B175	177.8	4516.12
B85	87.8	2230.12	B120	122.8	3119.12	B178	180.8	4592.32
B86	88.8	2255.52	B123	125.8	3195.32	B180	182.8	4643.12
B87	89.8	2280.92	B124	126.8	3220.72	B190	192.8	4897.12
B88	90.8	2306.32	B126	128.8	3271.52	B191	193.8	4922.52
B89	91.8	2331.72	B128	130.8	3322.32	B192	194.8	4947.92
B90	92.8	2357.12	B130	132.8	3373.12	B195	197.8	5024.12
B91	93.8	2382.52	B131	133.8	3398.52	B205	207.8	5278.12
B92	94.8	2407.92	B133	135.8	3449.32	B206	208.8	5303.52
B93	95.8	2433.32	B135	137.8	3500.12	B210	212.8	5405.12
B94	96.8	2458.72	B136	138.8	3525.52	B221	222.3	5646.42
B95	97.8	2457.12	B137	139.8	3550.92	B225	226.3	5748.02
B96	98.8	2509.52	B138	140.8	3576.32	B237	238.3	6052.82
B97	99.8	2534.92	B140	142.8	3627.12	B240	241.3	6129.02
B98	100.8	2560.32	B142	144.8	3677.92	B255	256.3	6510.02
B99	101.8	2585.72	B144	146.8	3728.72	B270	271.3	6891.02
B100	102.8	2611.12	B146	148.8	3779.52	B285	286.3	7272.02
B101	103.8	2636.52	B147	149.8	3804.92	B292	293.3	7449.82
B103	105.8	2687.32	B148	150.8	3830.32	B293	294.3	7475.22
B104	106.8	2712.72	B150	152.8	3881.12	B300	301.3	7653.02
B105	107.8	2738.12	B152	154.8	3931.92	B315	316.3	8034.02
B106	108.8	2763.52	B153	155.8	3957.32	B330	331.3	8415.02
B108	110.8	2814.32	B154	156.8	3982.72	B360	361.3	9177.02
B109	111.8	2839.72	B156	158.8	4033.52			
B110	112.8	2865.12	B158	160.8	4084.32			



C Cross Sections

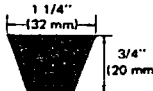
C48	52.2	1325.88	C90	94.2	2392.68	C124	128.2	3256.28
C49	53.2	1351.28	C92	96.2	2443.48	C126	130.2	3307.08
C51	55.2	1402.08	C93	97.2	2468.88	C128	132.2	3357.88
C54	58.2	1478.28	C94	98.2	2494.28	C131	135.2	3434.08
C55	59.2	1503.68	C95	99.2	2519.68	C132	136.2	3459.48
C57	61.2	1554.48	C96	100.2	2545.08	C136	140.2	3561.08
C60	64.2	1630.68	C97	101.2	2570.48	C138	142.2	3611.88
C61	65.2	1656.08	C98	102.2	2595.88	C139	143.2	3637.28
C62	66.2	1681.48	C99	103.2	2621.28	C140	144.2	3662.68
C63	67.2	1706.88	C100	104.2	2646.68	C141	145.2	3688.08
C64	68.2	1732.28	C101	105.2	2672.08	C144	148.2	3764.28
C65	69.2	1757.68	C102	106.2	2697.48	C147	151.2	3840.48
C66	70.2	1783.08	C103	107.2	2722.88	C148	152.2	3865.88
C68	72.2	1833.88	C104	108.2	2748.28	C150	154.2	3916.68
C70	74.2	1884.68	C105	109.2	2773.68	C151	155.2	3942.08
C71	75.2	1910.08	C106	110.2	2799.08	C152	156.2	3967.48
C72	76.2	1935.48	C107	111.2	2824.48	C153	157.2	3992.88
C73	77.2	1960.88	C108	112.2	2849.88	C154	158.2	4018.28
C75	79.2	2011.68	C109	113.2	2875.28	C156	160.2	4069.08
C76	80.2	2037.08	C110	114.2	2900.68	C158	162.2	4119.88
C78	82.2	2087.88	C111	115.2	2926.08	C160	164.2	4170.68
C79	83.2	2113.28	C112	116.2	2951.48	C162	166.2	4221.48
C81	85.2	2164.08	C114	118.2	3002.28	C167	171.2	4348.48
C82	86.2	2189.48	C115	119.2	3027.68	C169	173.2	4399.28
C83	87.2	2214.88	C116	120.2	3053.08	C173	177.2	4500.88
C84	88.2	2240.28	C117	121.2	3078.48	C175	179.2	4551.68
C85	89.2	2265.68	C118	122.2	3103.88	C177	181.2	4602.48
C86	90.2	2291.08	C119	123.2	3129.28	C180	184.2	4678.68
C87	91.2	2316.48	C120	124.2	3154.68	C183	187.2	4754.88
C88	92.2	2341.88	C122	126.2	3205.48	C185	189.2	4805.68

ตารางที่ 1 ต่อ



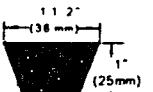
C Cross Section(cont'd)

V-Belt No.	Outside Length		V-Belt No.	Outside Length		V-Belt No.	Outside Length	
	(in)	(mm)		(in)	(mm)		(in)	(mm)
C188	192.2	4881.88	C240	242.2	6151.88	C320	322.2	8183.88
C190	194.2	4932.68	C246	248.2	6304.28	C330	332.2	8437.88
C195	199.2	5059.68	C255	257.2	6532.88	C345	347.2	8818.88
C202	206.2	5237.48	C270	272.2	6913.88	C360	362.2	9199.88
C207	211.2	5364.48	C280	282.2	7167.88	C390	392.2	9961.88
C210	214.2	5440.68	C285	287.2	7294.88	C420	422.2	10723.88
C212	216.2	5491.48	C300	302.2	7675.88	C450	452.2	11485.88
C225	227.2	5770.88	C315	317.2	8056.88	C480	482.2	12247.88



D Cross Section

D105	110.2	2799.08	D210	215.2	5466.08	D354	356.7	9060.18
D112	117.2	2976.88	D225	227.7	5783.58	D356	358.7	9110.98
D120	125.2	3180.08	D240	242.7	6164.58	D360	362.7	9212.58
D128	133.2	3383.28	D255	257.7	6545.58	D390	392.7	9974.58
D144	149.2	3789.68	D270	272.7	6926.58	D420	422.7	10736.58
D158	163.2	4145.28	D285	287.7	7307.58	D450	452.7	11498.58
D162	167.2	4246.88	D300	302.7	7688.58	D480	482.7	12260.58
D173	178.2	4526.28	D315	317.7	8069.58	D540	542.7	13784.58
D180	185.2	4704.08	D330	332.7	8450.58	D600	602.7	15308.58
D195	200.2	5085.08	D345	347.7	8831.58	D660	662.7	16832.58



E Cross Section

E144	151.0	3835.4	E270	273.5	6946.9	E480	483.5	12280.9
E180	187.0	4749.8	E300	303.5	7708.9	E540	543.5	13804.9
E195	202.0	5130.8	E330	333.5	8470.9	E600	603.5	15328.9
E210	217.0	5511.8	E360	363.5	9232.9	E660	663.5	16852.9
E225	228.5	5803.9	E390	393.5	9994.9			
E240	243.5	6184.9	E420	423.5	10756.9			

ตารางที่ 1 ต่อ

3V			5V			BV		
Belt No.	Outside Length (mm)	Pitch Length (mm)	Belt No.	Outside Length (mm)	Pitch Length (mm)	Belt No.	Outside Length (mm)	Pitch Length (mm)
3V 250	635	631	5V 500	1270	1262	8V 1000	2540	2524
3V 265	673	669	5V 530	1346	1338	8V 1080	2892	2876
3V 280	711	707	5V 560	1422	1414	8V 1120	2845	2829
3V 300	762	758	5V 600	1524	1516	8V 1180	2997	2981
3V 315	800	796	5V 630	1600	1592	8V 1250	3175	3159
3V 335	851	847	5V 670	1702	1694	8V 1320	3353	3337
3V 355	902	898	5V 710	1803	1795	8V 1400	3556	3540
3V 375	953	949	5V 750	1905	1897	8V 1500	3810	3794
3V 400	1018	1012	5V 800	2032	2024	8V 1600	4064	4048
3V 425	1089	1076	5V 850	2159	2151	8V 1700	4318	4302
3V 450	1143	1139	5V 900	2286	2278	8V 1800	4572	4556
3V 475	1207	1203	5V 950	2413	2405	8V 1900	4826	4810
3V 500	1270	1266	5V 1000	2540	2532	8V 2000	5080	5064
3V 530	1346	1342	5V 1060	2692	2684	8V 2120	5385	5369
3V 560	1422	1418	5V 1120	2845	2837	8V 2240	5690	5674
3V 600	1524	1520	5V 1180	2997	2989	8V 2360	5994	5978
3V 630	1600	1596	5V 1250	3175	3167	8V 2500	6350	6334
3V 670	1702	1698	5V 1320	3353	3345	8V 2650	6731	6715
3V 710	1803	1799	5V 1400	3556	3548	8V 2800	7112	7096
3V 750	1905	1901	5V 1500	3810	3802	8V 3000	7620	7604
3V 800	2032	2028	5V 1600	4064	4056	8V 3150	8001	7985
3V 850	2159	2155	5V 1700	4318	4310	8V 3350	8509	8493
3V 900	2286	2282	5V 1800	4572	4564	8V 3550	9017	9001
3V 950	2413	2409	5V 1900	4826	4818	8V 3750	9525	9509
3V 1000	2540	2536	5V 2000	5080	5072	8V 4000	10160	10144
3V 1060	2692	2688	5V 2120	5385	5377	8V 4250	10795	10779
3V 1120	2845	2841	5V 2240	5690	5682	8V 4500	11430	11414
3V 1180	2997	2993	5V 2360	5994	5986	8V 4750	12065	12049
3V 1250	3175	3171	5V 2500	6350	6342	8V 5000	12700	12684
3V 1320	3353	3349	5V 2650	6731	6723			
3V 1400	3556	3552	5V 2800	7112	7104			
			5V 3000	7620	7612			
			5V 3150	8001	7993			
			5V 3350	8509	8501			
			5V 3550	9017	9009			

ตารางที่ 2

ขนาดและความยาวของสายพาน ตัววีแบบหน้าเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ

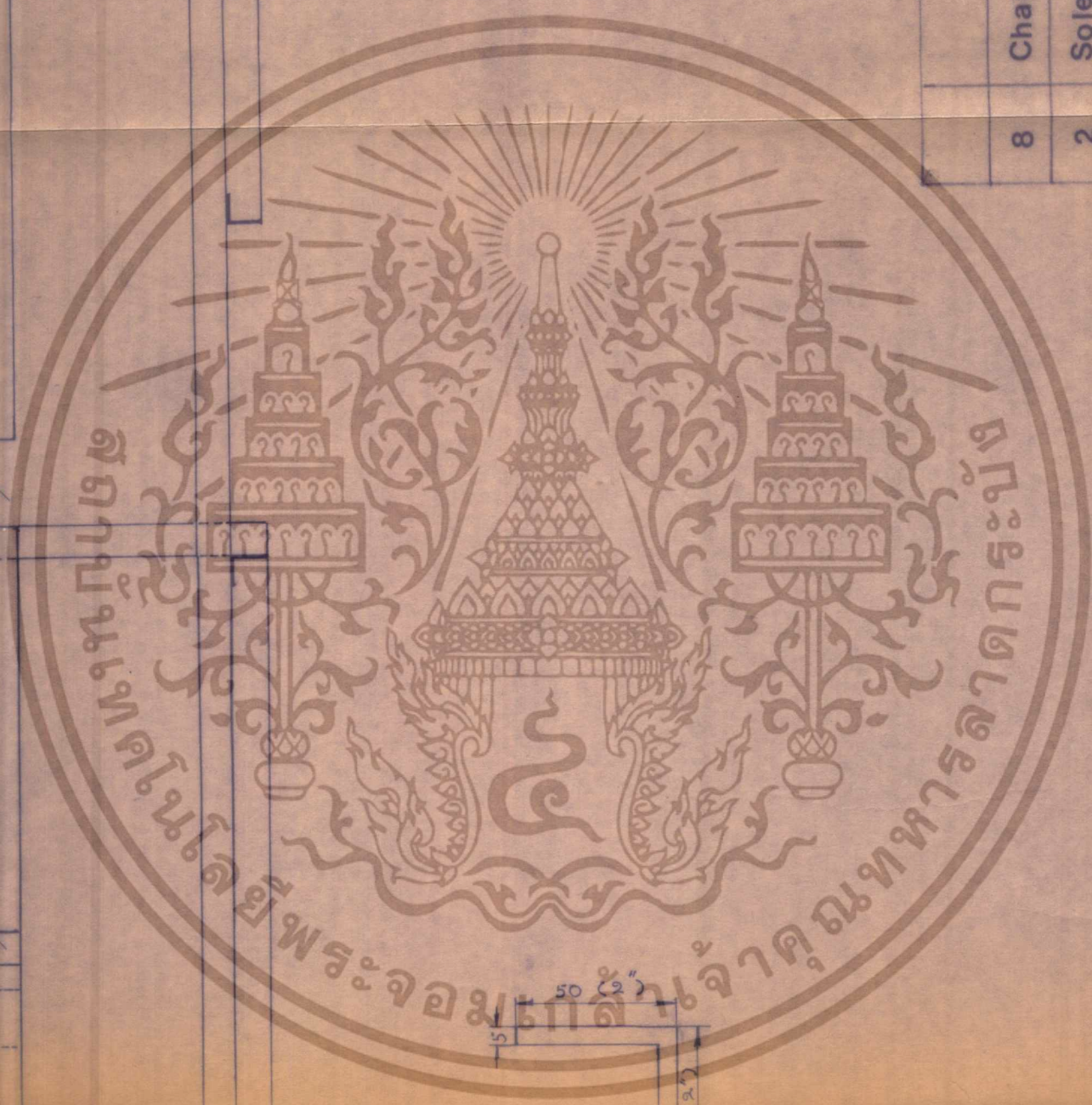
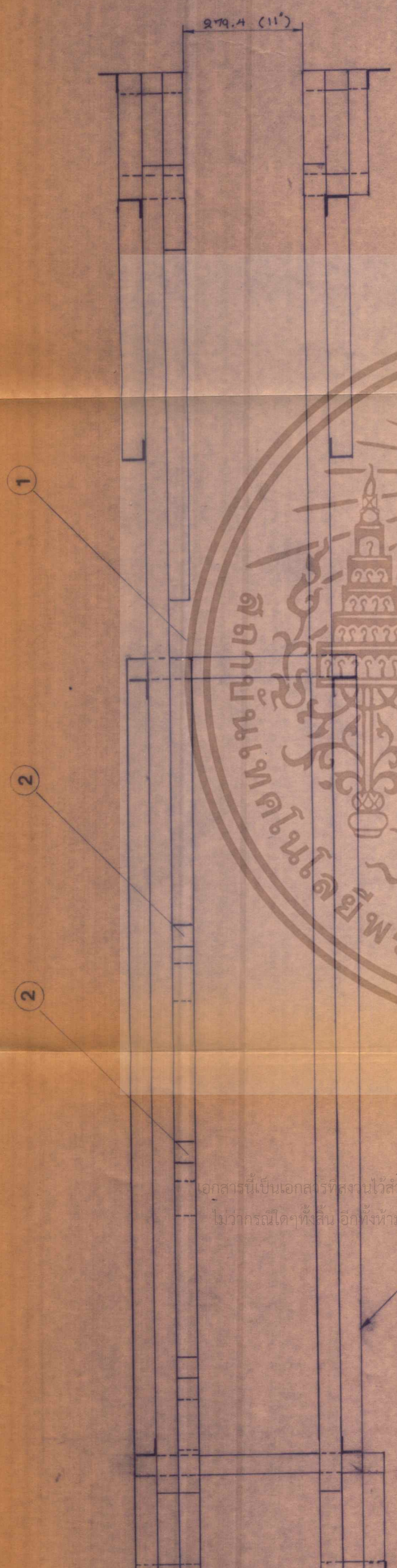
ไม่มีการแก้ไขทั้งต้น สืบทั้งต้น สมิทั้งต้นแบบละเอียด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีารนำไปใช้



แบบพิมพ์เขียวการจัดสร้างทางกล

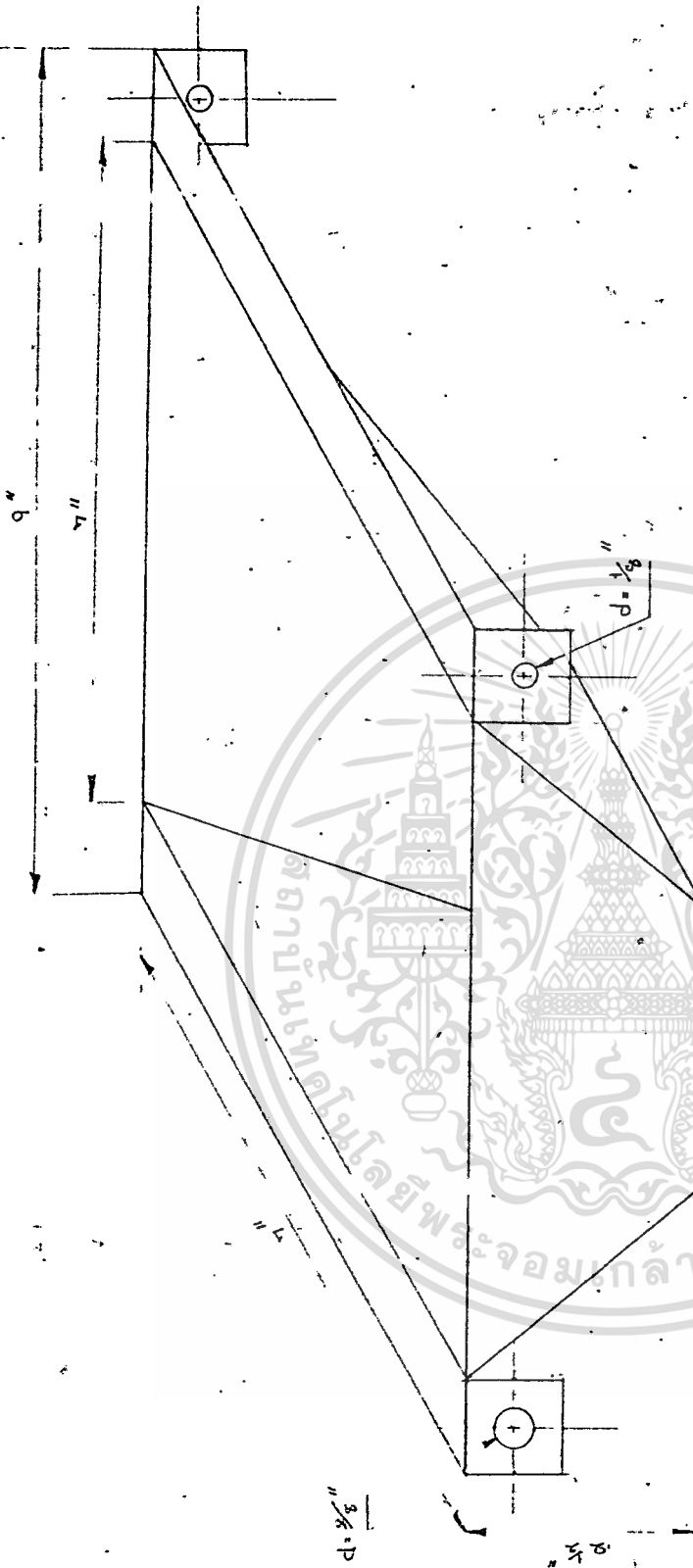
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2692.4 (106)



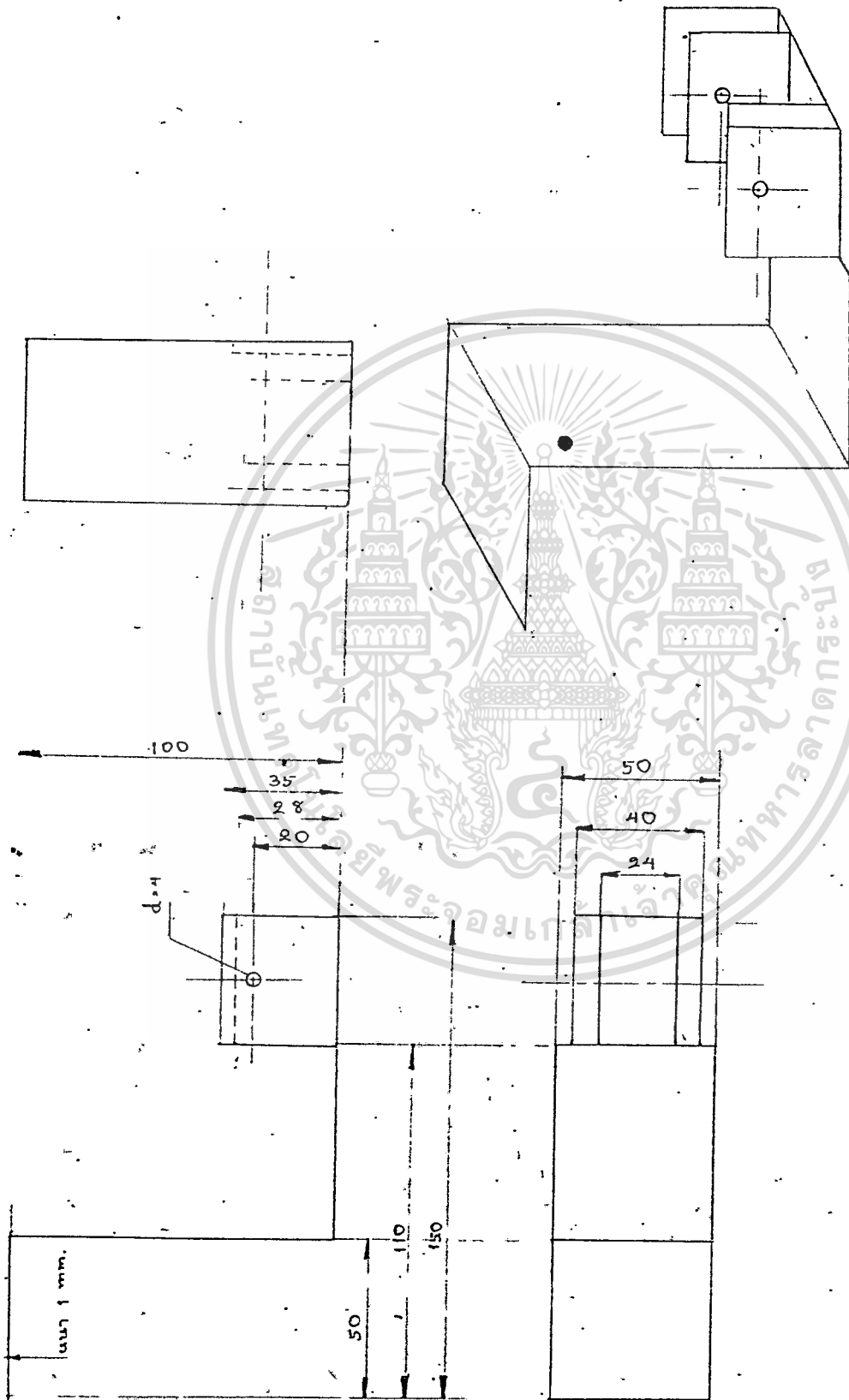
8	Chain Gear	diameter 4 inch.	3	POS. NO.	MAT. DIM. MISC.
2	Solenoid		2		
1	Load Cell		1		
LIST OF PARTS					
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY					
SCALE 1:10					
FRUIT GRADER					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			
Scale		Name:	Date:
1 : 2			
		Class:	
		BASKET	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat./Dim./Misc.
	List of Parts		
	King Mongkut's Institute of Technology		Name:
			Date:
			Class:
Scale 1 : 2	SHUT - OFF PLATE		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำปฏิธานิพนธ์ "เครื่องตัดเกรดผลไม้โดยเกณฑ์น้ำหนัก" ขอขอบพระคุณ ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ เอื้อเฟื้อทุนในการดำเนินงานจัดสร้าง ตลอดจนให้กำลังใจจนปฏิธานิพนธ์นี้แล้วเสร็จโดยสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อ.มิ่ง โลกิจแสงทอง ในความเอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดลองจัดสร้าง

ขอขอบพระคุณ อ.มณฑา เทียมเมือง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาทางเทคนิค ทำให้การจัดสร้างส่วนโครงสร้างทางกลเป็นไปอย่างราบรื่นสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณกิจจา นาคีใหม่ ในคำแนะนำเกี่ยวกับการจัดสร้างวงจรรีเลย์ทรอนิกส์

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมรุ่นที่ได้แสดงความสนใจ ในการจัดสร้างเครื่องตัดเกรดผลไม้โดยน้ำหนัก ตลอดจนให้ความช่วยเหลือมากมายหลายประการจนไม่อาจนำมากล่าวได้ทั้งหมด

ขอขอบคุณ บริษัท-ห้างร้านต่างๆที่ไม่อาจกล่าวนามมา ณ. ที่นี้ได้ ในคำแนะนำเกี่ยวกับชิ้นส่วน และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ใช้ ในการจัดสร้าง

ความช่วยเหลือเหล่านี้ ทางผู้จัดทำขอจารึกไว้ในความทรงจำตลอดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Ernest O. Doebelin , "Measurement System Application and Design" , McGraw-Hill Bookcompany , 1983
2. Lewis C. Eggebrecht , "Interfacing to the IBM Personal Computer" , Howard W. Sams & Co., Inc , 1983
3. Minibear Co., Inc , "Strain & Stress Measurement" , Minibear Co., Inc , 1986
4. Borland International , "Turbo Pascal 4.0" , Borland International , 1987
5. สุริยนต์ วรรณพร , "ทำอย่างไรจึงให้ไมโครคอมพิวเตอร์ ควบคุมกำลัง" , วงจรเซมิอิเล็กทรอนิกส์ , บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จก. ,
6. ประยุทธ์ จันทร์เจริญสุข , " สายพานส่งกำลัง" , 69 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล , บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จก. , 2530
7. บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จก. , " คู่มือ ไอซี TTL" , บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จก. , 2521
8. สิทธิชัย โกโทยอดม , "Lecture of Electronic Class" , 2529

