บทที่ 3

การออกแบบเครื่องควบคุมเชิงเลขชนิดโปรแกรมได้

การออกแบบเครื่องควบคุมเชิงเลขชนิดโปรแกรมได้ สามารถแยกการออกแบบเป็นส่วนใหญ่ๆ ได้สองส่วน คือ การออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องควบคุม และ การเขียนซอฟแวร์โปรแกรมจัดการระบบ ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดในการออกแบบ สำหรับรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทที่ 4 และ 5

3.1 ความสามารถของเครื่องควบคุมเชิงเลข

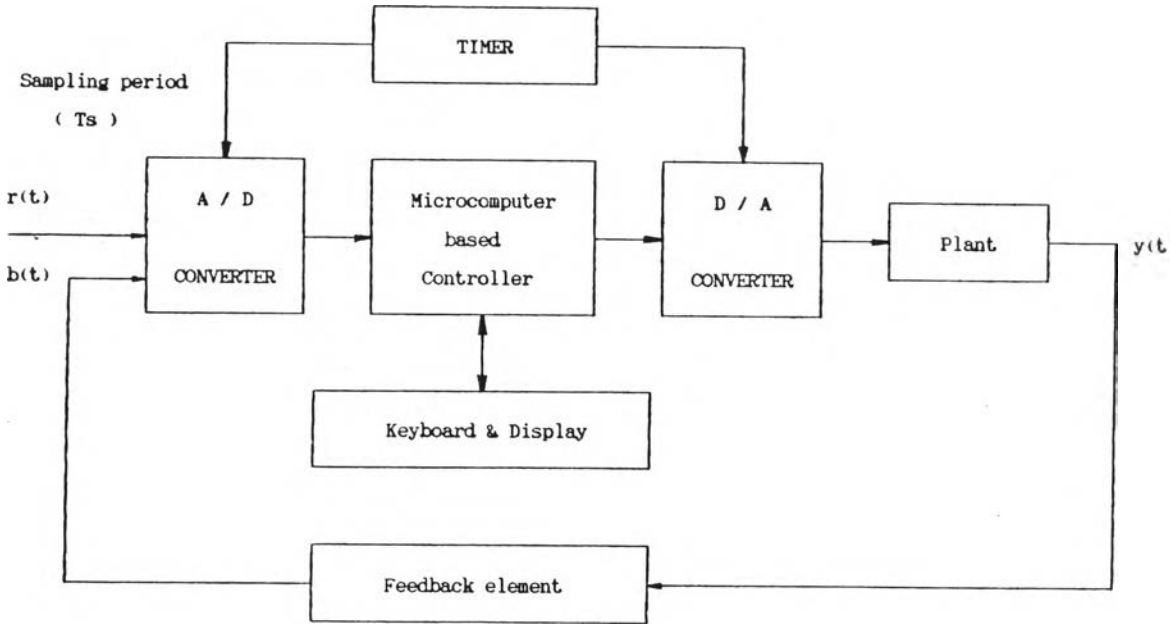
การออกแบบต้องคำนึงถึงความสามารถของเครื่องควบคุมเชิงเลขที่ต้องการก่อน ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

- เครื่องควบคุมมีสัญญาณขาเข้าประกอบด้วยสัญญาณอนาลอค 1-5 V_{dc} จำนวน 5 จุด และสัญญาณดิจิตอลจำนวน 3 จุด สัญญาณขาออกประกอบด้วยสัญญาณอนาลอค 3 จุด โดยแบ่งเป็นสัญญาณกระแส 4-20 mA_{dc} 1 จุด กับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 V_{dc} 2 จุด และสัญญาณดิจิตอล จำนวน 3 จุด
- สามารถทำการควบคุมแบบ Cascade, Ratio, Feedback-Feedforward และอื่นๆ โดยรูปแบบของการควบคุม (Control Configuration) ถูกกำหนดด้วยโปรแกรมซึ่งอาจแก้ไขเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมภายหลังได้
- มีโปรแกรมฟังก์ชันพื้นฐานที่ใช้ในงานควบคุมทางอุตสาหกรรม เช่น การถอดรากกำลังที่สอง เป็นต้น
- แสดงผลและเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมได้ขณะควบคุม

3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

เนื่องจากในงานควบคุมทางอุตสาหกรรม เครื่องควบคุมเชิงเลขจะรับและส่งสัญญาณกับอุปกรณ์อื่นๆเป็นสัญญาณอนาลอค (Analog Signal) แต่เครื่องควบคุมเชิงเลขซึ่งเป็นไมโคร

คอมพิวเตอร์ทำงานโดยใช้สัญญาณเชิงเลข ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนสัญญาณจากสัญญาณอนาลอคไปเป็นสัญญาณเชิงเลข (Digital Signal) ในขณะที่รับข้อมูลเข้าสู่เครื่อง และแปลงสัญญาณแบบเชิงเลขไปเป็นสัญญาณอนาลอคในขณะที่ส่งสัญญาณการควบคุมออกจากเครื่อง การแปลงค่าสัญญาณเหล่านี้สามารถทำได้โดยใช้ไอซี ADC และ DAC ซึ่งจะอยู่ในส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ติดต่อ (Interface) ระหว่างเครื่องควบคุมกับสัญญาณภายนอก นอกจากนี้เครื่องควบคุมเชิงเลขจำเป็นต้องมีส่วนที่ใช้ติดต่อกับแป้นกดและส่วนแสดงผล เพื่อช่วยในการแสดงผลและเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ การแสดงผลมีหลายชนิด เช่น แบบ Bar Graph, ตัวอักษรและตัวเลข รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องควบคุมเชิงเลขอย่างคร่าวๆ



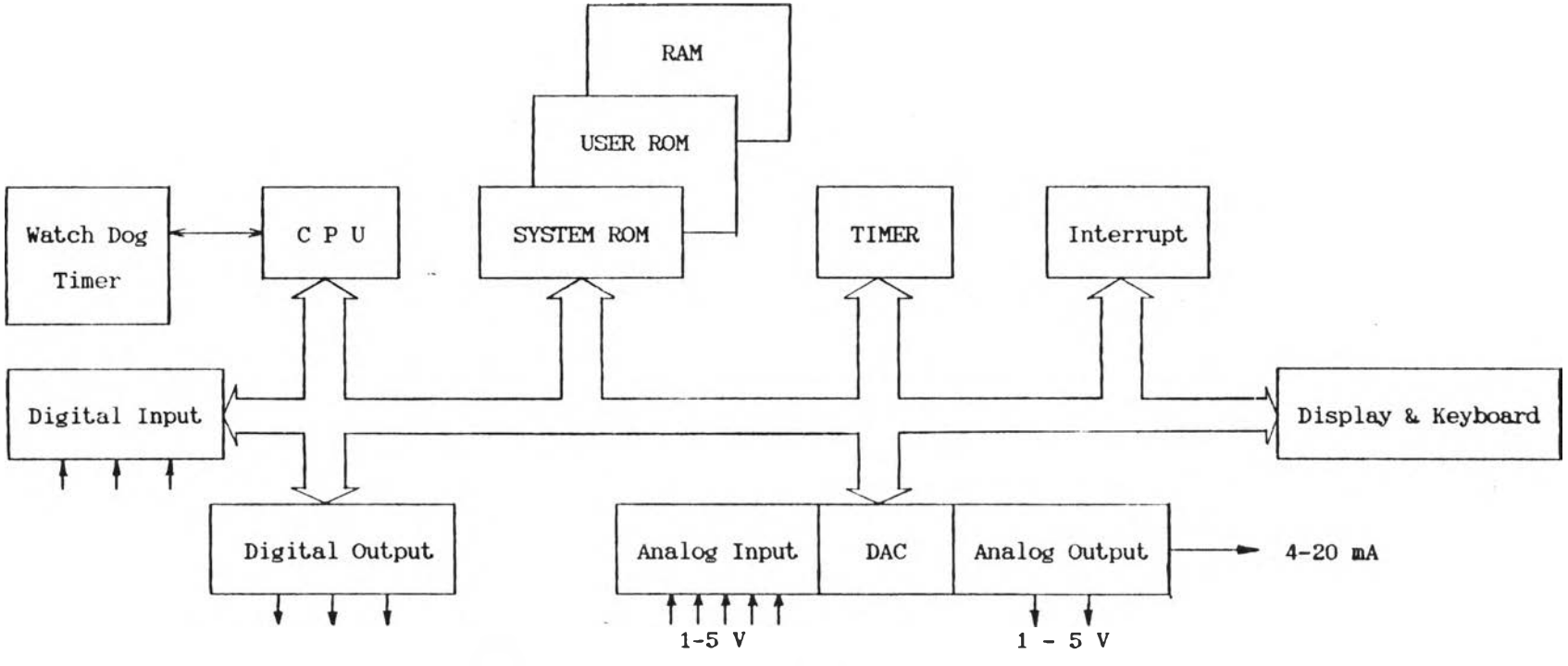
รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยทั่วๆไปของเครื่องควบคุมเชิงเลข

3.2.1 ฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องควบคุมเชิงเลข

รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของฮาร์ดแวร์ที่จำเป็น ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

3.2.1.1 ส่วนประมวลผลกลาง (CPU) เนื่องจากซอฟแวร์ในเครื่องควบคุมจำเป็นต้องมีการคำนวณที่ซับซ้อน ผู้วิจัยเลือกใช้ไอซี Intel 8088 ขนาด 16 บิท ความเร็ว

015295



รูปที่ 3.2 โครงสร้างฮาร์ดแวร์เครื่องควบคุมเชิงเลขชนิดโปรแกรมได้

5 MHz ซึ่งมีคำสั่งที่เหมาะสมกับการคำนวณที่ซับซ้อน และเป็นซีพียูที่ใช้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ไอบีเอ็ม ซึ่งนิยมใช้กันทั่วไป และมีโปรแกรมซอฟแวร์สำเร็จรูปชื่อ DEBUG ช่วยในการทดสอบอัลกอริทึมของโปรแกรมโดยไม่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์ ทำให้มีความสะดวกในการวิจัย

3.2.1.2 **ส่วนหน่วยความจำ** แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

(1) ROM แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- SYSTEM ROM สำหรับเก็บโปรแกรมจัดการระบบ
- USER EPROM สำหรับเก็บโปรแกรมกำหนดรูปแบบการควบคุม

(2) RAM ใช้เก็บค่าสถานะของการทำงาน, พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมและรวมทั้งใช้เป็นพื้นที่ใช้งานของโปรแกรม (Working Area)

3.2.1.3 **ส่วน TIMER** สำหรับการนับและงานที่เกี่ยวข้องกับเวลา เช่น ใช้กำหนดเวลาให้กับโปรแกรมฟังก์ชัน TIMER ของโปรแกรมจัดการระบบ และช่วยกำหนดเวลาสำหรับการสุ่ม (Sampling Time) เพื่อรับสัญญาณแบบต่อเนื่องจากภายนอก

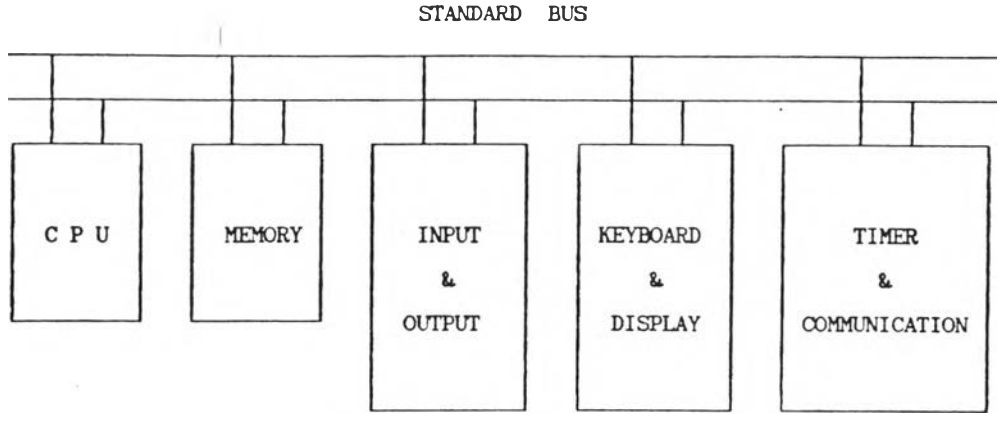
3.2.1.4 **ส่วน Interrupt** สำหรับจัดการเกี่ยวกับการรับสัญญาณอินเตอร์รัพจากฮาร์ดแวร์ ทำงานร่วมกับส่วน TIMER ในการนับเวลา

3.2.1.5 **ส่วนแสดงผลและรับข้อมูลจากแป้นพิมพ์** (Display & Keyboard Interface) สำหรับจัดการเกี่ยวกับการรับข้อมูลเพื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์หรือแสดงผลค่าสถานะของการควบคุม

3.2.1.6 **ส่วนอินพุทและเอาท์พุท** (Input & Output Interface) สำหรับรับและส่งสัญญาณกับโปรเซสภายนอก และระหว่างการรับส่งจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณระหว่างสัญญาณแบบต่อเนื่องและสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นฮาร์ดแวร์ในส่วนนี้จำเป็นต้องมี DAC (Digital to Analog Converter) และ ADC (Analog to Digital Converter)

3.2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของเครื่องควบคุมเชิงเลข

เมื่อพิจารณาฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องควบคุมเชิงเลข จากหัวข้อ 3.2.1 สามารถออกแบบและแบ่งฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในงานวิจัยออกเป็นหลายบอร์ด ดังรูปที่ 3.3 ในแต่ละบอร์ดมีหน้าที่ดังนี้



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบของเครื่องควบคุมเชิงเลข

- CPU Board เป็นส่วนประมวลผลกลางมี CPU Intel 8088, Clock Generator 8284, Programmable Interrupt Control 8259 ทำหน้าที่ควบคุมระบบทั้งหมด และ จัดการเกี่ยวกับการอินเตอร์รัพ
- Memory บอร์ดที่ใช้เก็บโปรแกรมจัดการระบบ และเก็บสถานะการทำงานของระบบ ประกอบด้วย ROM 2764 RAM 6264
- TIMER & Communication บอร์ดที่ทำงานเกี่ยวกับเวลาของระบบ รวมทั้งการสื่อสารแบบอนุกรมเพื่อใช้ในการติดต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
- Input/Output บอร์ดสำหรับจัดการรับส่งข้อมูลและแปลงค่าสัญญาณระหว่างค่าภายในเครื่องควบคุม กับ ภายนอก ซึ่งมี ADC ช่วยในการแปลงค่าสัญญาณ
- Keyboard & Display บอร์ดสำหรับการแสดงผลและเปลี่ยนแปลงค่าที่จำเป็นในการควบคุม
- EUROCON BUS เป็นบัสมาตรฐานสำหรับเชื่อมโยงบอร์ดต่างๆเข้าด้วยกัน

3.3 แนวความคิดของโปรแกรมจัดการระบบ

แนวความคิดในการเขียนซอฟแวร์ที่ควรจะนำมาพิจารณามีดังนี้

3.3.1 เวลาการสุ่มข้อมูล (Sampling Time) การอ่านข้อมูลของสัญญาณต่อเนื่องภายนอกระบบให้ถูกต้อง จำเป็นต้องมีเวลาการอ่านสุ่มข้อมูลที่เหมาะสม เพราะจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องความผิดพลาดของข้อมูลได้ ถ้าเวลาการอ่านสุ่มข้อมูลช้าเกินไป

ค่าเวลาในการสุ่มข้อมูลที่เหมาะสมกับโปรเซสที่มีตัวแปรต่างชนิดกัน จะมีค่าไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 3.1 [6]

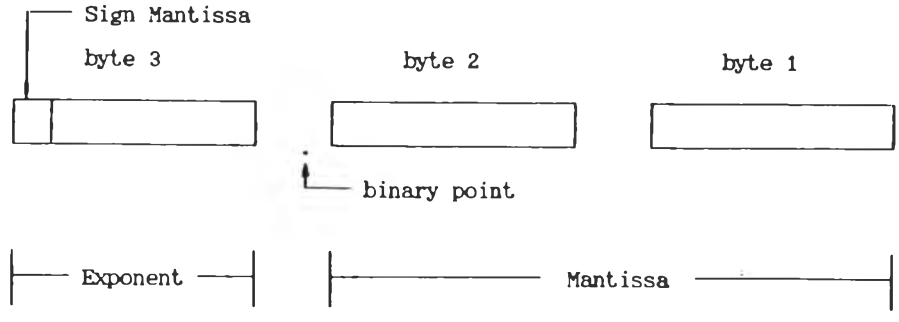
ตารางที่ 3.1

ชนิดของตัวแปร	เวลาการสุ่ม (วินาที)
การไหล	1 - 3
ระดับ	5 - 10
ความดัน	1 - 5
อุณหภูมิ	10 - 20

สำหรับเครื่องควบคุมเชิงเลขในทางการค้าโดยทั่วไป จะใช้เวลาการสุ่มข้อมูลประมาณ 0.2 วินาที

3.3.2 ปัญหาเรื่องชนิดและขนาดของตัวเลข เครื่องควบคุมเชิงเลขมีการคำนวณที่ซับซ้อนและต้องการความถูกต้องสูง จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณโดยใช้ตัวเลขแบบมีทศนิยม (floating point number) และเมื่อคำนึงถึงการทำงานของโปรแกรมจัดการระบบที่ทำงานแบบ Real Time Programming ต้องการใช้เวลาในการคำนวณของโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อยต่างๆน้อยที่สุดเพื่อทำให้เวลาในการสุ่มสั้น รวมทั้งการช่วยให้ขนาดหน่วยความจำที่เก็บค่าตัวแปรมีขนาดลดลง จึงจำเป็นต้องมีการเลือกชนิดและขนาดของตัวเลขให้มีค่าเหมาะสม

องค์ประกอบของหน่วยความจำที่ใช้เก็บค่าตัวเลขแบบที่มีทศนิยม (ดูรูปที่ 3.4) ค่าความถูกต้องของตัวเลขที่มีจุดทศนิยมด้วยโครงสร้างนี้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)[7]



รูปที่ 3.4 โครงสร้างหน่วยความจำที่ใช้เก็บค่าตัวเลขทศนิยม

$$(m-2)\log 2 \leq d \leq (m-1)\log 2 \quad \ldots\ldots \quad (3.1)$$

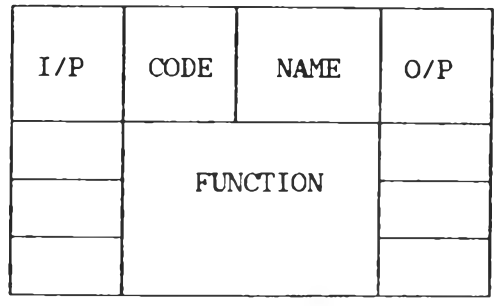
m - จำนวนของบิทในส่วนของ Mantissa

d - จำนวนตัวเลขฐานสิบหลังทศนิยมที่ถูกต้อง

จากโครงสร้างที่ใช้ดังรูป 3.4 มีค่า m = 24, d = 5 ดังนั้นโครงสร้างที่ใช้จะได้ค่าตัวเลขที่ถูกต้องหลังทศนิยมจำนวน 5 ตัว เหมาะสมกับ DAC ขนาด 12 บิท ซึ่งเมื่อใช้แทนค่าจาก 0 ถึง 1 DAC จะให้ความละเอียดของแต่ละบิทเท่ากับ 0.000244

3.3.3 ลักษณะของโปรแกรมกำหนดรูปแบบการควบคุม เครื่องควบคุมเชิงเลขชนิดโปรแกรมได้โดยทั่วไปจะมีส่วนฮาร์ดแวร์ เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมกำหนดรูปแบบการควบคุม วิธีการโปรแกรมส่วนใหญ่แบ่งได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

1. **การโปรแกรมแบบเวเฟอร์** (COMPUTATION WAFER) [3] มีลักษณะของคำสั่งเป็นเวเฟอร์ โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3.4 สำหรับวิธีการโปรแกรมทำได้โดยการนำเวเฟอร์ของคำสั่งต่างๆ มาเรียงต่อกัน



รูปที่ 3.4 โครงสร้างคำสั่งแบบเวเฟอร์

ส่วนต่างๆ ภายในเวเฟอร์ มีความหมายดังนี้

NAME : ชื่อย่อของเวเฟอร์ เช่น RFSUMM หมายถึง บวก

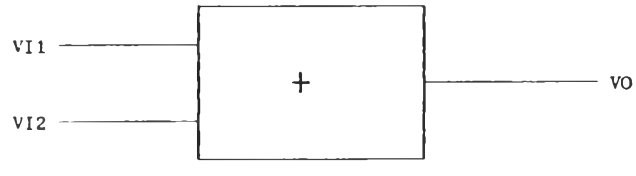
FUNCTION : สัญญลักษณ์/ตัวอักษรของเวเฟอร์ เช่น +,-

CODE : รหัสแทนคำสั่ง เช่น 62 แทนคำสั่งบวก

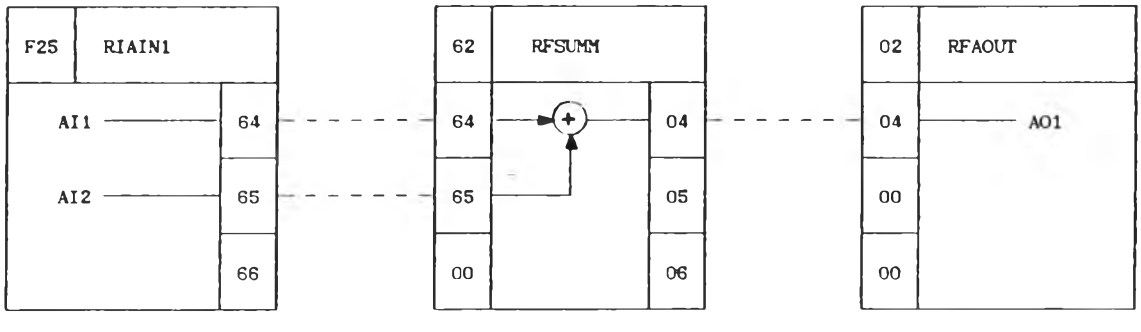
O/P : เลขฐานสิบหกของสัญญาณออก กำหนดโดยตัวเวเฟอร์เอง หรือจากตำแหน่งของเวเฟอร์ที่ตั้งอยู่ในทางเดินของสัญญาณ

I/P : เลขฐานสิบหกกำหนดที่มาของสัญญาณ

วิธีการโปรแกรม แสดงได้ดังตัวอย่างการเขียนโปรแกรมบวกสัญญาณ ดังต่อไปนี้



- นำวงจรบวกสัญญาณมาเปรียบเทียบหาเวเฟอร์ที่เหมาะสม มาต่อกันดังนี้



- ป้อนโปรแกรมลงบนเครื่องควบคุม โดยการป้อนค่าตัวเลขฐานสิบหกที่อยู่ในเวเฟอร์ต่างๆ ลงบนเครื่องควบคุมตามตำแหน่งที่กำหนด เช่น เริ่มต้นที่ตำแหน่ง 4640 ลักษณะการป้อนจะเป็นดังนี้

ตำแหน่ง	เลขฐานสิบหก
4640	62
4641	64
4642	65
4643	00
4644	02
4645	04
4646	00
4647	00

2. การเขียนโปรแกรมแบบแอสแซมบลี้ [2] วิธีนี้คำสั่งที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบมีลักษณะคล้ายภาษาแอสแซมบลี้ ซึ่งการป้อนโปรแกรมลงบนเครื่องควบคุมจะป้อนคำสั่งเป็นแบบ mnemonic ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมควบคุมแบบ PID

```
1. LD   IN1     : อ่านค่าสัญญาณเข้าช่องที่ 1
2. BPID         : โปรแกรม PID
3. ST   OUT1    : ส่งสัญญาณออกช่องที่ 1
4. END          : จบโปรแกรม
```

เมื่อพิจารณาจากวิธีการเขียนโปรแกรมทั้งสองวิธีแล้ว จะเห็นว่าการเขียนโปรแกรมในแบบเวเฟอร์นั้นมีข้อเสียที่ไม่สะดวกในการใช้งาน คือ การป้อนโปรแกรมจะใช้วิธีการป้อนโปรแกรมเป็นเลขฐานสิบหก ซึ่งทำให้ยากในการอ่านและตรวจสอบโปรแกรมที่อยู่บนเครื่องควบคุม จำเป็นต้องมีรูปภาพการต่อของเวเฟอร์เพื่อช่วยในการอ่านและตรวจสอบ แต่วิธีเขียนแบบแอสแซมบลี้จะป้อนโปรแกรมแบบ mnemonic ซึ่งทำให้ง่ายต่อการอ่านและเข้าใจโปรแกรม

สำหรับการป้อนโปรแกรมของตัวควบคุมเชิงเลขชนิดโปรแกรมได้ โดยทั่วไปนั้นตัวควบคุมจะมีฮาร์ดแวร์ที่ช่วยในการป้อนโปรแกรม (Programming Unit) ติดมาด้วย ซึ่งฮาร์ดแวร์ส่วนนี้จะใช้ป้อนโปรแกรมและแสดงผลทีละคำสั่ง ทำให้ไม่สะดวกในการอ่านโปรแกรมทั้งหมด ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะให้มีการป้อนโปรแกรมบนไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำให้สา

มารถแสดงผลโปรแกรมได้ทีละหลายบรรทัด และยังช่วยลดจำนวนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการป้อนโปรแกรม การที่เลือกใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ เพราะในปัจจุบันไมโครคอมพิวเตอร์นั้นจะมีใช้กันทั่วไป และในเครื่องควบคุมเชิงเลขโดยทั่วไปแล้ว จะมีวงจรทางการสื่อสารกับไมโครคอมพิวเตอร์อยู่แล้ว ช่วยให้สามารถส่งโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องควบคุมเพื่อทดสอบโปรแกรมได้ เมื่อทดลองจนแน่ใจแล้ว จึงจะทำการเขียนโปรแกรมลงบน USER ROM เพื่อใช้เป็นโปรแกรมกำหนดรูปแบบการควบคุมจริง

สำหรับเครื่องควบคุมเชิงเลขที่ทำการวิจัยจะเลือกการเขียนโปรแกรมแบบแอสแซมบลี้ และ สำหรับการป้อนโปรแกรมจะป้อนโปรแกรมบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์