ชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic

จิรายุทธ แก้วอาสา* ประมวญ คงสาคร* สุชาติ โพธิ์ศรี* และ ชัยณรงค์ เย็นศิริ*

บทคัดย่อ

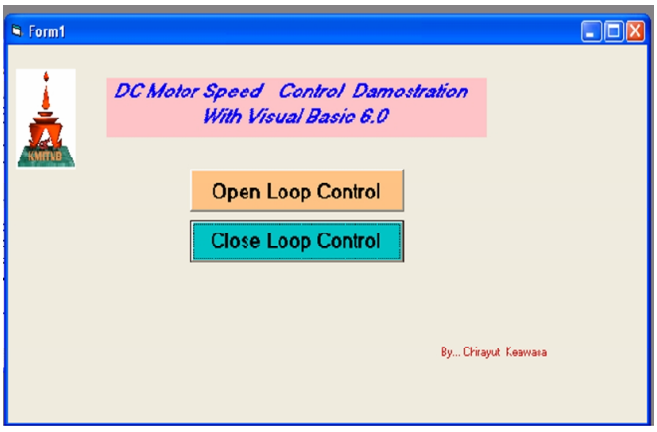
บทความวิจัยนี้ นำเสนอการสร้างและหาคุณภาพของชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic เพื่อใช้เป็นชุดสาธิตประกอบการสอนในวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา(สอศ.) โดยอาศัยหลักทฤษฎีการคำนวณลูปปิดแบบ PI Control ด้วยโปรแกรม Visual Basic และการรับส่งข้อมูลควบคุม โดยใช้ PIC Microcontroller เทคนิคการควบคุมลูปปิดแบบ Close Loop P-I Control คือ ประมวลผลการทำงานด้วยโปรแกรม Visual Basic ที่คอมพิวเตอร์ ส่งค่าสัญญาณควบคุมให้กับ Microcontroller ที่เขียนด้วยภาษาซี (PIC C Compiler) สื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม และแปลงให้เป็นสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ส่งค่าไปควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ H-Bridge MOSFET Control Board และสัญญาณป้อนกลับ ใช้ Incremental Encoder ตรวจวัดความเร็วที่เพลาของมอเตอร์ออกมาเป็นความถี่และแปลงเป็นแรงดัน 0-5 Vdc ด้วยวงจร F to V (Frequency Convert to Voltages) และส่งข้อมูลเข้าไปเปรียบเทียบกับสัญญาณควบคุมในคอมพิวเตอร์ ผลการทดสอบ พบว่าขณะที่มอเตอร์ขับโหลดเต็มที่ ความเร็วที่เพลามอเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับความเร็วควบคุมที่คอมพิวเตอร์ ความแตกต่างเฉลี่ยที่ 1.008 เปอร์เซ็นต์ และผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ด้านคือ สื่อการสอน โปรแกรม และเนื้อหา จำนวน 10 ท่าน พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อชุดสาธิตสอดคล้องกันอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{x}$ = 4.28, SD = 0.14) แสดงว่าชุดสาธิตนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนหัวข้อการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้เป็นอย่างดี

* *ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจพ.*

1. บทนำ

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีในงานอุตสาหกรรม ได้พัฒนาอย่างรวดเร็วและมีความซับซ้อนมากขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับรถยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักร ความร้อน สารเคมี ก๊าซ น้ำมัน และอื่นๆ การควบคุมการทำงานของเครื่องจักรส่วนใหญ่เป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยมีมอเตอร์เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในการขับเคลื่อนกลไกต่าง ๆ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนอีกตัวหนึ่งที่มีบทบาทในงานอุตสาหกรรมและนิยมใช้ เพราะการควบคุมความเร็วทำได้ง่ายในการควบคุมความเร็วมอเตอร์มีหลายวิธี เช่น ระบบเกียร์บล็อกหรือแบบทดรอบ แบบการปรับค่าความต้านทาน แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถเพิ่มหรือลดความเร็วได้ตามต้องการ ไม่สามารถกลับทางหมุนมอเตอร์ได้ทันทีทันใดและทำให้ระบบการควบคุมช้า และเกิดกำลังสูญเสียในระบบในรูปแบบของความร้อน อีกทั้งไม่สามารถมองเห็นค่าพารามิเตอร์หรือค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ ของเครื่องจักรขณะทำงาน ส่วนในงานด้านการเรียนการสอนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงในรายวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นส่วนหนึ่งของเนื้อหาได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าร่วมกับคอมพิวเตอร์ แต่ว่าชุดฝึกหรือชุดทดลองที่มีอยู่มีจำนวนจำกัด มีระบบการต่อใช้งานซับซ้อน มีหลักและวิธีการคำนวณที่ยุ่งยาก ตอบสนองช้า วัสดุอุปกรณ์ที่จัดทำส่วนใหญ่นำมาจากต่างประเทศ ราคาแพง และยากต่อการศึกษาการเรียนรู้ไม่เหมาะกับระดับของผู้เรียน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดด้วยโปรแกรม Visual Basic เพื่อใช้เป็นสื่อสาธิตประกอบการสอนในรายวิชา

ไมโครคอนโทรลเลอร์ แก่นักเรียน นักศึกษาและผู้ที่สนใจได้ศึกษาเรียนรู้ในสื่อที่ทันสมัย ซึ่งสอดคล้องไปกับการพัฒนาเทคโนโลยีที่กำลังเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว โดยใช้หลักและไวยากรณ์ของโปรแกรมที่ง่ายต่อการเรียนรู้เหมาะกับระดับของผู้เรียน คือ ภาษาเบสิคและภาษาซี ซึ่งชุดสาธิตที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นนี้ สามารถกำหนดความเร็วที่จอคอมพิวเตอร์ได้ตามต้องการ เป็นการนำสมการฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ (PI Control) มาใช้ในการประมวลผล ควบคุมความเร็วแบบลูปปิดโดยโปรแกรม Visual Basic ซึ่งแสดงสภาวะการทำงานเป็นกราฟิกที่จอคอมพิวเตอร์ ควบคุมง่ายไม่ซับซ้อน ใช้วัสดุและอุปกรณ์ภายในประเทศ ในการวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความเร็วที่เพลาของมอเตอร์กับความเร็วที่กำหนดไว้ในคอมพิวเตอร์ในสภาวะที่มอเตอร์ขับโหลดเต็มที่โดยมีโหมดการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดการทำงานแบบลูปเปิด (Open Loop) และแบบลูปปิด (Close Loop)



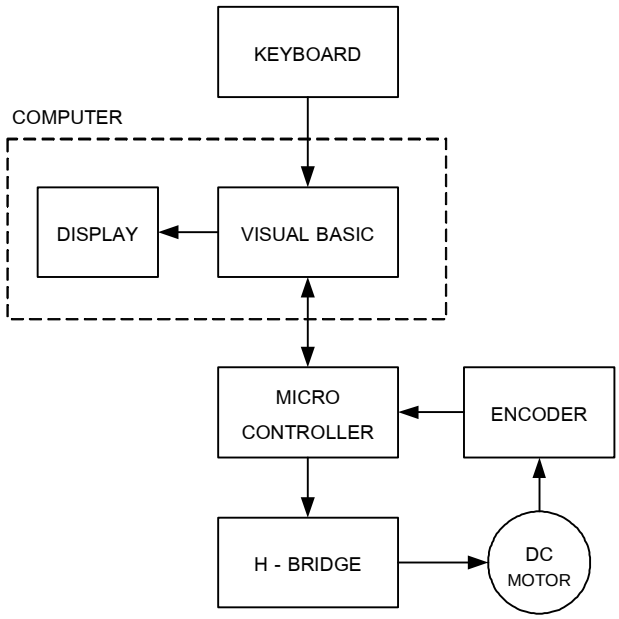
ภาพที่ 1 โหมดการทำงานของโปรแกรม

เมื่อโปรแกรมทำงานจะสามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 2 โหมด คือ โหมดการทำงานในสภาวะลูปเปิดและการทำงานในสภาวะลูปปิดดังแสดงใน ภาพที่ 1

2. หลักการออกแบบ

2.1 การออกแบบด้าน Hardware

การวิจัยนี้ใช้เทคนิคการควบคุมความเร็วมอเตอร์ระบบแบบลูปปิด คือระบบที่สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ตามค่าความเร็วที่ควบคุม ถึงแม้ว่าโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ตาม โดยอาศัยหลักทฤษฎีการคำนวณลูปปิดแบบ PI Control [3] ด้วยโปรแกรม Visual Basic ประมวลผลการทำงานที่คอมพิวเตอร์ ส่งค่าสัญญาณ

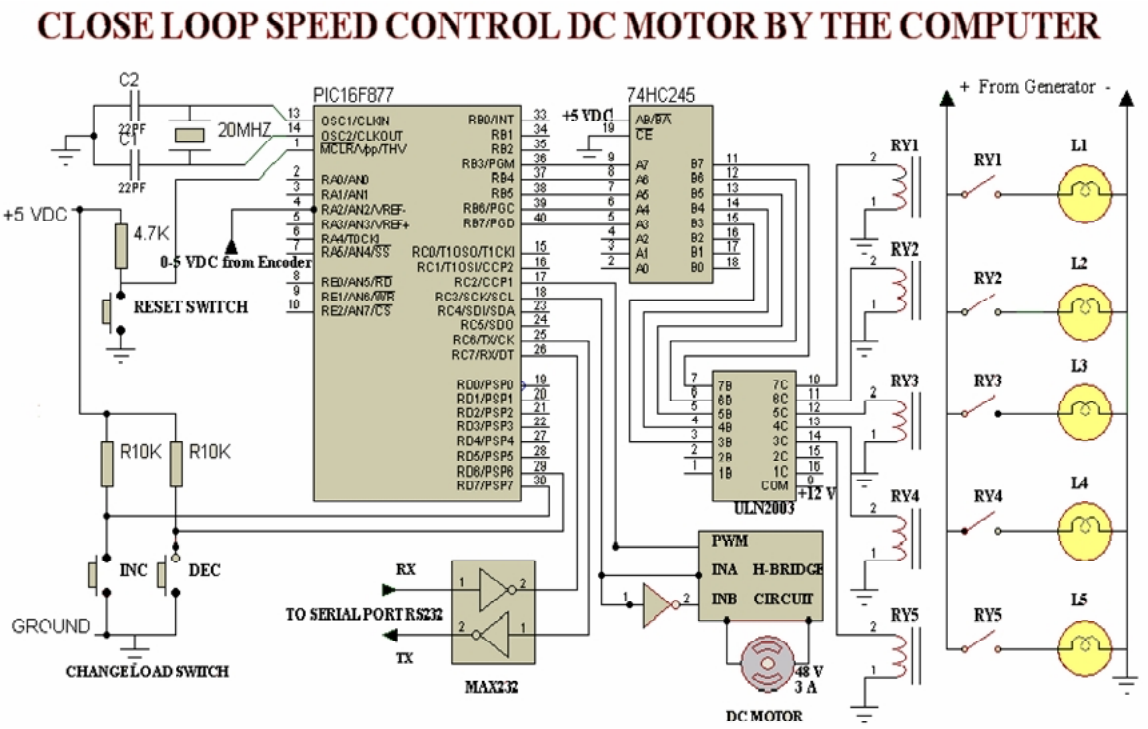


ภาพที่ 2 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบนจอคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม Visual Basic

ควบคุมให้กับ Microcontroller โปรแกรมด้วยภาษาซี สื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม และแปลงให้เป็นสัญญาณควบคุมพัลส์วิดซ์มอดดูเลชันแบบ HPWM (Hardware Pulse Width Modulation) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F877 ที่สามารถแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลได้ สัญญาณควบคุมแบบ HPWM จะต่อเชื่อมไปยังวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ H-Bridge Mosfet Control Board และใช้ Incremental Encoder วัดสัญญาณความเร็วรอบมอเตอร์ ซึ่งได้สัญญาณออกมาเป็นความถี่ ในการวิจัยนี้จะใช้วงจร F to V (Frequency Convert to Voltages) ไอซีเบอร์ LM331 เป็นตัวแปลงสัญญาณความถี่ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0-5 โวลต์ เพื่อป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลส่งข้อมูลป้อนกลับเข้าไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณที่ควบคุม (Set Point) โดยสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 และทำการประมวลผลวนลูปอย่างต่อเนื่องจนกว่าค่าที่ควบคุม (Set Point, SV) จะเท่ากับค่าที่วัดได้ (Process Value, PV)

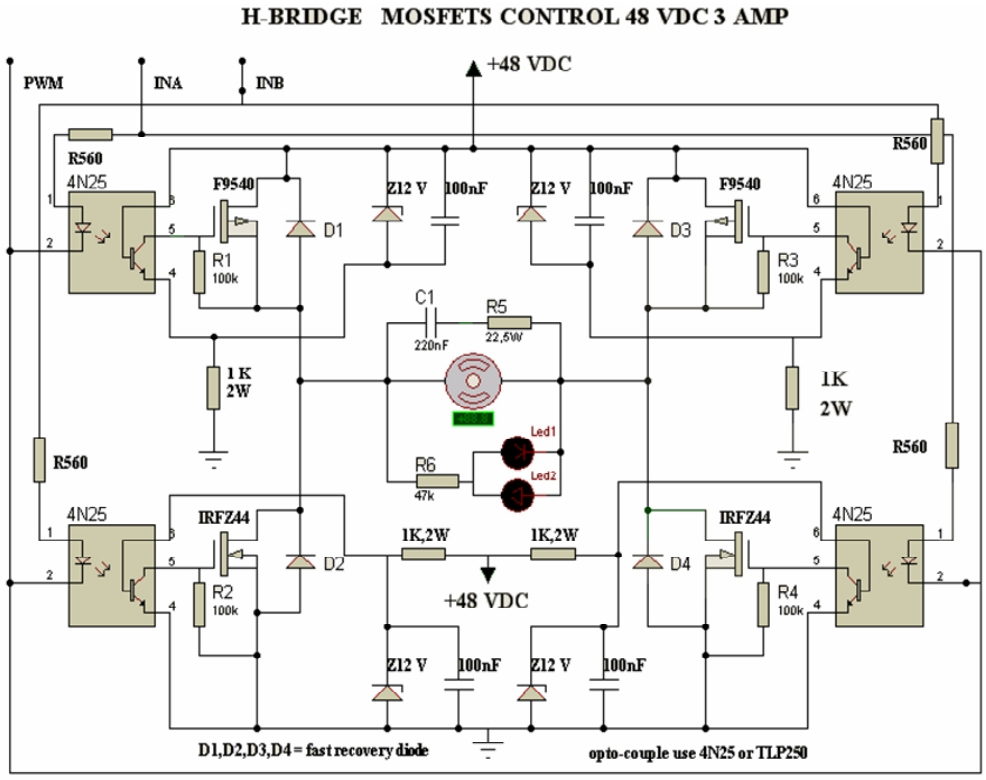
2.1.1 วงจรระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรตามภาพที่ 3 ใช้ตัวสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับมอเตอร์สัญญาณอินพุต 3 อินพุต และ เอาต์พุต 3 เอาต์พุต



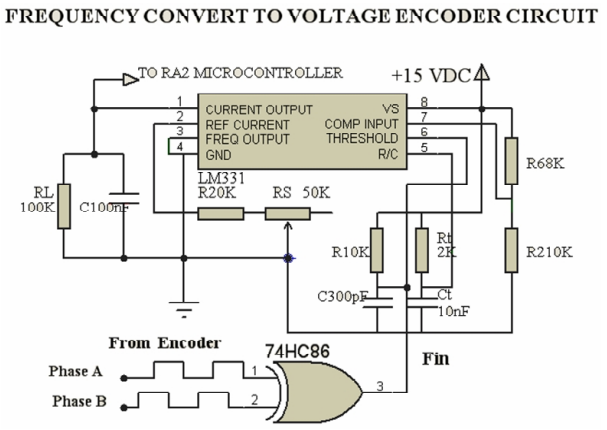
ภาพที่ 3 วงจร Pic Microcontroller

2.1.2 วงจร H-Bridge MOSFET Control Board วงจรดังภาพที่ 3 เป็นวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยวงจรนี้ใช้มอสเฟสเป็นตัวขับกระแส สามารถขับได้ 10 A 60 Vdc



ภาพที่ 4 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

2.1.3 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า



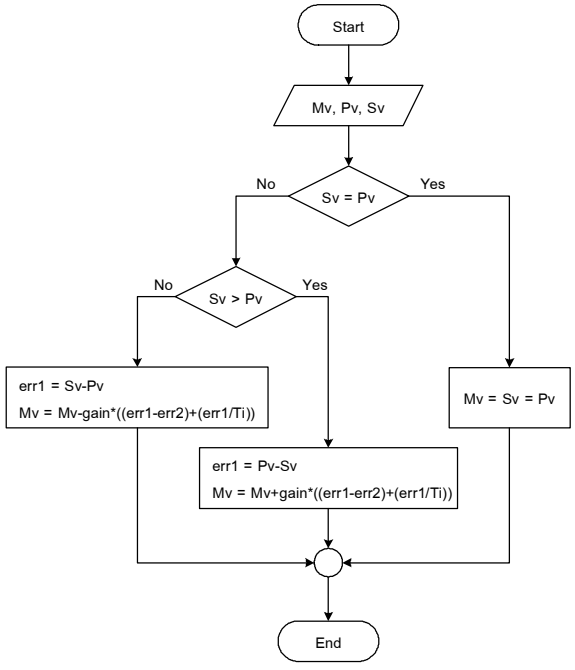
ภาพที่ 5 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน

$$V_{out} = F_{in} \times 2.09 \times \frac{R_L}{R_S} \times (R_t \times C_t) \qquad (1)$$

วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันดังในภาพที่ 5 ใช้ไอซีเบอร์ LM331 จากสมการที่ (1) แรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่เข้ามากับค่าความต้านทาน R_S และสามารถวัดได้ตั้งแต่ 0-5 Vdc

2.2 การออกแบบด้าน Software

2.2.1 การออกแบบโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ด้วย Visual Basic [1]



ภาพที่ 6 ไดอะแกรมการคำนวณแบบ P-I Control

จากสมการ P-I Control

$$M_v(t) = M_{v_{ss}} \pm K_c \times \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt \right] \qquad (2)$$

<u>เงื่อนไขที่ 1</u> ถ้าค่าที่วัดได้จาก Process น้อยกว่า ค่าที่กำหนดไว้ที่คอมพิวเตอร์ โปรแกรมต้องเพิ่มค่าความเร็วของมอเตอร์ขึ้น โดยการคำนวณโปรแกรมตามสมการที่ (3)

$$err_1 = S_v - P_v$$
$$M_v(t) = M_{v_1} + gain \times [(err_1 - err_2) + (err_1 / T_i)] \qquad (3)$$
$$if \quad M_v \geq 254 \quad Then \quad M_v = 254$$

<u>เงื่อนไขที่ 2</u> ถ้าค่าที่วัดได้จาก Process มากกว่า ค่าที่กำหนดไว้ที่คอมพิวเตอร์ โปรแกรมต้องลดค่าความเร็วของมอเตอร์ขึ้น โดยการคำนวณโปรแกรมตามสมการที่ (3) โดยการลดค่า M_v

$$err_1 = P_v - S_v$$
$$M_v(t) = M_{v_1} - gain \times [(err_1 - err_2) + (err_1 / T_i)] \qquad (4)$$
$$if \quad M_v \leq 1 \quad Then \quad M_v = 1$$

<u>เงื่อนไขอื่นๆ</u> นอกเหนือจากนี้โปรแกรมไม่ทำอะไรทั้งสิ้น

$$M_v = S_v = P_v \qquad (5)$$

ในการวิจัยนี้ กำหนดค่า สัญญาณควบคุมเป็น ขนาด 8 Bits

Analog Signal = 0-5 Vdc

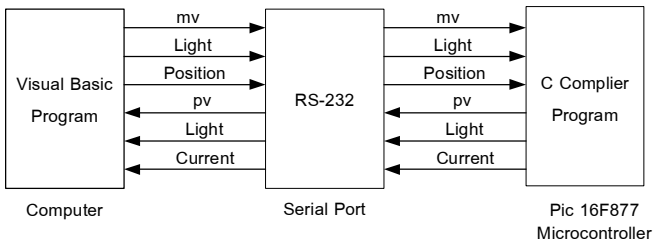
Digital Signal = 0-255

S_v = Set Point (ค่าเป้าหมายที่ต้องการควบคุม)

P_v = Process Value(ค่าที่วัด)

M_v = Manipulate Value (สัญญาณควบคุม)

2.2.2 การออกแบบโปรแกรมภาษาซี



ภาพที่ 7 การทำงานของโปรแกรมภาษาซี

จากภาพที่ 7 เป็นผังการทำงานของโปรแกรมภาษาซี [2], [4] โดยจะรับและส่งค่าจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งโปรแกรมมีดังนี้

2.2.2.1 โปรแกรมการรับค่าจากคอมพิวเตอร์

```
#include <16F877.h>
#device adc=8;
#int_rad
rad_isr()
str[n] = getc(); n++;
set_pwm1_duty (str[Mv]);
Ina = str[Position]);
port_b = num_led[str[Light]];
```

จากส่วนหนึ่งของโปรแกรม ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Pic16F877 ขนาด 8 Bits มีการรับค่าจากคอมพิวเตอร์ 3 ตัวแปร โดยใช้ Functions STR คือ M_v, Position, Light

2.2.2.2 โปรแกรมการส่งค่าไปยังคอมพิวเตอร์

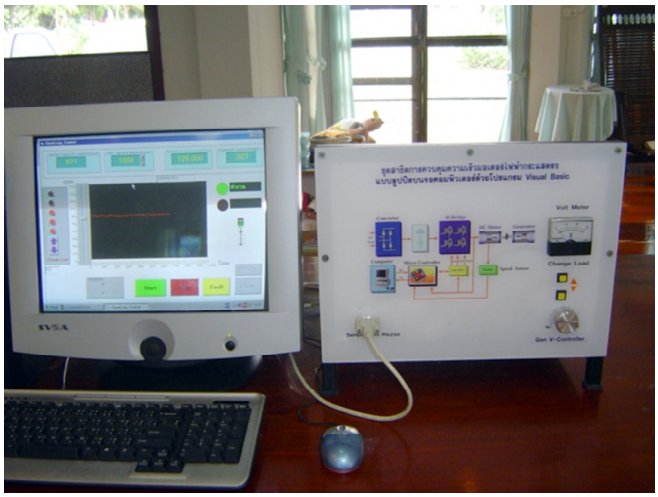
```
PrintF("%03u%03u%03u%",Pv,Light,Current);
PrintF("s");
delay_ms(10);
```

จากโปรแกรมเป็นการส่งค่าไปแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์ 3 ตัวแปร คือ P_v, Light, Current

3. ผลของการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic มีผลการดำเนินงานดังนี้

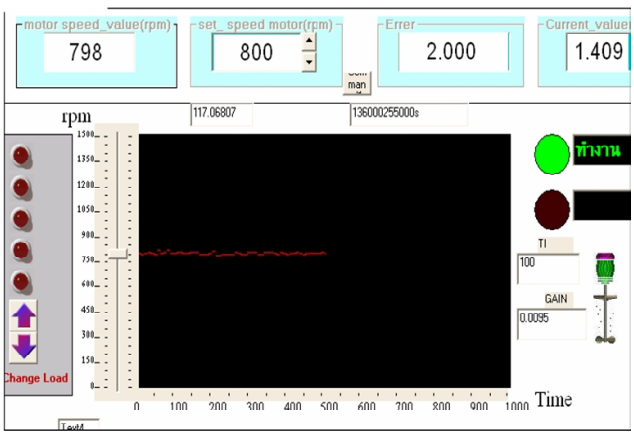
3.1 ชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic ที่สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้ตั้งแต่ 0-1500 รอบต่อนาที ขนาดแรงดัน 48 โวลต์ กระแส 3 แอมแปร์ สามารถปรับความเร็วได้ตามค่าที่กำหนด จ่ายโหลดและกลับทางหมุนมอเตอร์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ แสดงค่าความเร็วเป็นเส้นกราฟและตัวเลขที่จอคอมพิวเตอร์ มีตัวแสดงผลการทำงานในสภาวะต่าง ๆ เช่น Run, Stop, Fault และสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ชุดสาธิตมี LCD แสดงผล เพื่อตรวจสอบการรับส่งข้อมูล



ภาพที่ 8 ชุดสาธิตขณะต่อใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์

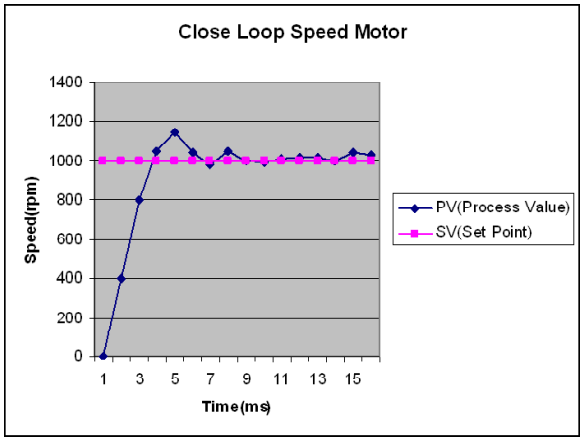
ภาพที่ 9 การต่อใช้งานร่วมกับชุดสาธิต

จากภาพที่ 8 และ 9 เป็นการต่อชุดสาธิตร่วมกับคอมพิวเตอร์ โดยสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม และหน้าจอโปรแกรมขณะทำงาน แสดงดังในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 หน้าจอโปรแกรมขณะทำงาน

3.2 ผลของการทดสอบการทำงาน



ภาพที่ 11 แสดงการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ในสภาวะลูปปิดขณะขับโหลดเต็มพิกัด

จากภาพที่ 11 เป็นกราฟแสดงการวัดความเร็วรอบมอเตอร์เทียบกับค่าที่ตั้งไว้ กราฟความเร็วรอบจะวิ่งเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ (Set Point) พยายามรักษาค่าความเร็วให้เท่ากับค่าที่ตั้งไว้ตลอดเวลา

3.3 ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดสาธิต โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 ท่าน แสดงความคิดเห็นผ่านแบบสอบถามแบบมาตรส่วนประมาณค่า 5 ระดับเกี่ยวกับด้านสื่อการสอน ด้านเนื้อหาสาระที่ใช้ในการทำชุดสาธิต และด้านการออกแบบโปรแกรมใช้งาน พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อชุดสาธิตสอดคล้องกันในเกณฑ์ดี ($\bar{x}$ = 4.28, SD = 0.14) แสดงว่าผู้เชี่ยวชาญทั้ง 10 ท่าน ยอมรับว่าชุดสาธิตที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเรียนการสอนในรายวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เป็นอย่างดี

4. สรุป

4.1 จากผลการทดลองของชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic มีความสอดคล้องกับหลักทฤษฎีและจุดประสงค์ของการวิจัยกล่าวคือ ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในสภาวะลูปปิด ความเร็วรอบที่เพลาของมอเตอร์จะพยายามรักษาไว้ให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับความเร็วรอบที่ตั้งไว้ในคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เป็นเพราะชุดสาธิตนี้ได้ใช้หลักการประมวลผล ทางคณิตศาสตร์เข้าช่วยในการคำนวณ และประยุกต์ใช้หลักการและคุณสมบัติพิเศษของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างถูกต้องตามหลักทางวิศวกรรม

4.2 จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic ส่วนใหญ่มีความคิดเห็นสอดคล้องกันอยู่ในเกณฑ์ดี ทั้งในด้านสื่อการสอน ด้านเนื้อหาสาระ ที่ใช้ในการทำชุดสาธิต และด้านการออกแบบโปรแกรมการใช้งาน ทั้งนี้เพราะว่าชุดสาธิตนี้มีความสอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ของรายวิชา สะดวกและมีขนาดพอเหมาะ และมีความปลอดภัยในการใช้งาน ประมวลผลการทำงานได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ วัสดุและอุปกรณ์สามารถจัดหาได้ภายในประเทศ ราคาถูก และสามารถประยุกต์ใช้ในงานควบคุมแบบอื่น ๆ ได้ดี

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 การปรับจูนเอ็นโค้ดเดอร์ทำได้ค่อนข้างยาก การป้อนกลับของเอ็นโค้ดเดอร์มีรูปคลื่นสัญญาณที่ผิดเพี้ยน แนวทางแก้ไข โดยใช้มอเตอร์และเอ็นโค้ดเดอร์ที่สามารถปรับค่าได้ละเอียดและมีความคลาดเคลื่อนต่ำ

5.2 เกิดสัญญาณรบกวนและผิดเพี้ยนเนื่องจากวงจรมีความถี่สูงและระบบการเดินสายไฟจำนวนมาก แนวทางแก้ไข โดยใช้สายสัญญาณที่มีระบบชีลสัญญาณ จัดรูปแบบวงจรให้เหมาะสมหรือใช้ลายพิมพ์วงจร 2 หน้า หรือเชื่อมต่อระบบสัญญาณผ่านพอร์ต RS485

5.3 ถ้าต้องการวัดกระแสควรมีหม้อแปลงแปลงกระแส (CT) วัดกระแสของมอเตอร์เพื่อลดปัญหา กราวด์ร่วมระหว่างชุดกำลังและชุดควบคุม

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ศุภชัย สมพิศ, *พัฒนาระบบงานฐานข้อมูลด้วย Visual Basic6.0.* เอ็ช เอ็น กรุ๊ฟ จำกัด .กรุงเทพ, 2547.

[2] Greg Perry, *C By Example Special Edition*. Tulsa, USA,1993.

[3] สำเริง เต็มราม, *เอกสารประกอบการฝึกอบรม SCADA CONTROL SYSTEM.* สถาบันพัฒนาครูอาชีวศึกษา กรุงเทพ, 2547.

[4] ประจิน พลังสันติกุล, *เรียนรู้และการใช้งาน CCS_C คอมไพเลอร์*. กรุงเทพ: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, 2546.