

บทที่ 4

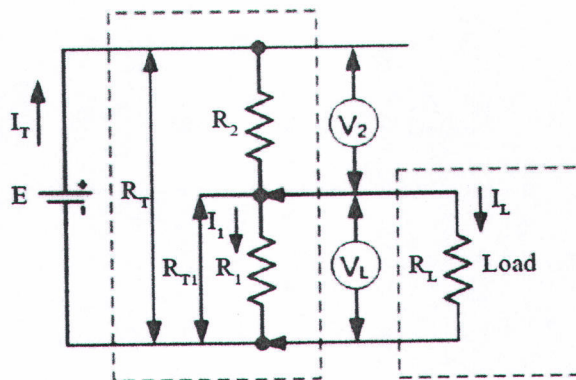
วงจรไฟฟ้าและระบบการประมวลผลโปรแกรม

4.1 วงจรแบ่งแรงดันและกระแสไฟฟ้า

4.1.1 วงจรแบ่งแรงดัน

เป็นสถานะของวงจรที่ต่อโหลด (Load) เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเกิดขึ้น โดยกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัวที่ทำหน้าที่แบ่งแรงดันวงจร เปรียบเสมือนกับของกระแสไหล มีการต่อวงจร ดังภาพ 4.1 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit) หมายถึงวงจรที่ประกอบด้วยความต้านทาน 2 ตัวขึ้นไปต่ออนุกรม (Series) อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power Supply) โดยค่าความต้านทานในวงจรจะทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าในวงจร ซึ่งแบ่งวงจรออกเป็น 2 แบบ คือ

1. วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider) เป็นวงจรในสถานะที่ยังไม่ต่อโหลดเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยจะมีตัวต้านทานต่อ อนุกรมอยู่กับวงจร ในสถานะนี้ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายสู่โหลด (Load) ที่ต่ออยู่ภายนอก
2. วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด (Load Voltage Divider) เป็นสถานะของวงจรที่ต่อโหลด (Load) เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะทำให้มีกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 4-1 วงจรการแบ่งแรงดันที่มีโหลด

ที่มา : John 2003

เมื่อ

E = แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของวงจร

R_1, R_2 = ความต้านทานที่ต่ออยู่ภายในวงจร

R_L = ความต้านทานของโหลด

R_T = ความต้านทานรวมทั้งหมดของวงจร

I_T = กระแสที่ไหลในวงจรทั้งหมด

I_1 = กระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน R_1

I_L = กระแสที่ไหลผ่านโหลด

V_L = แรงดันตกคร่อมโหลด

V_2 = แรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_2

จากวงจรดังภาพที่ 4.1 จะได้ความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$R_{T1} = \frac{R_1 \times R_L}{R_1 + R_L} \quad (4-1)$$

ดังนั้น

$$R_T = R_{T1} + R_2 \quad (4-2)$$

และสมการหาค่าแรงดันจะได้

$$\begin{aligned} V_L &= E \frac{R_{T1}}{R_T} \\ V_L &= E \frac{R_2}{R_T} \\ V_2 &= E - V_L \end{aligned} \quad (4-3)$$

สมการหาค่ากระแสจะได้

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} \quad (4-4)$$

$$I_1 = \frac{V_L}{R_L}$$

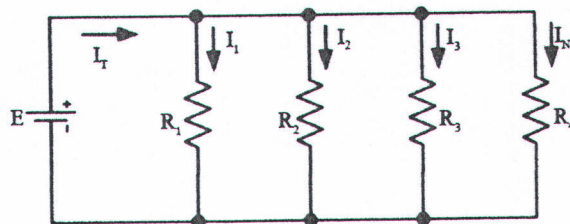
$$I_T = I_1 + I_2 \quad (4-5)$$

4.1.2 วงจรแบ่งกระแส

วงจรแบ่งกระแสไฟฟ้า (Current Divider Circuit) ประกอบด้วยความต้านทาน 2 ตัวขึ้นไปต่อขนาน (Parallel กับแหล่งจ่าย Power Supply) โดยค่าของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน (Resistor) ที่แบ่งกระแสออกมานั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานที่ต่ออยู่ภายในวงจร ถ้าใช้กฎของโอห์ม วงจรแบ่ง ใช้หลักการของวงจรไฟฟ้าแบบขนาน (Parallel Circuit) เนื่องจากวงจรขนานมีกระแสไหลผ่านตัวต้านทานหรือโหลดในแต่ ละสาขาไม่เท่ากัน (หากความต้านทานมีค่าไม่เท่ากัน) กระแสไฟฟ้าจะ



ถูกแบ่งให้ไหลผ่านไปในสาขาต่างๆ ตามพิกัดความต้านทานของไหลคนั้นๆ แต่เมื่อนากระแสที่ไหลผ่านไหลทุกตัวในวงจรมารวมกันแล้วจะมี ค่าเท่ากับกระแสที่จ่ายให้แก่วงจร จากหลักการนี้ แสดงได้ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4-2 ความต้านทานต่อขนานกันหลายตัว

ที่มา : John 2003

พิจารณาจากคุณสมบัติวงจรขนาน จะได้แรงดันไฟฟ้า ดังนี้

$$E = V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} = V_{RN} \quad (4-6)$$

หรือกฎของโอห์ม จะได้

$$I_T R_T = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = I_N R_N \quad (4-7)$$

$$I_N = I_T \frac{R_T}{R_N} \quad (4-8)$$

เมื่อ

I_N = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานใดๆ

I_T = กระแสไฟฟ้ารวมทั้งหมดยุคที่ไหลในวงจร

R_N = ความต้านทานแต่ละตัวที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

4.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลและสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก

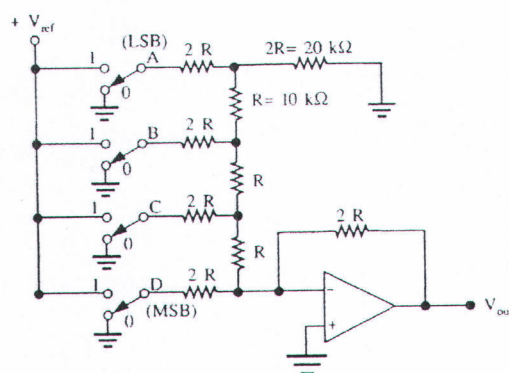
สัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ เช่น การตรวจจับสัญญาณแสงความร้อน อุณหภูมิ ความเร็วและตำแหน่ง โดยต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับต่างๆ ทำหน้าที่แปลงปริมาณทางฟิสิกส์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น แปลงปริมาณทางฟิสิกส์เป็นแรงดันไฟฟ้า หรือ ตัวแปลงสัญญาณอุณหภูมิเป็นแรงดัน สามารถแปลงอุณหภูมิ 1°C ต่อ 10 mV หรือ ตัวตรวจจับความเร็วรอบ สามารถแปลงความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีเป็นแรงดัน 100 mV เป็นต้น ตัวตรวจจับเหล่านี้ให้ปริมาณแรงดันไฟฟ้าออกมา แรงดันไฟฟ้านี้คือ สัญญาณอนาล็อกซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณทางฟิสิกส์ที่ตรวจจับได้ สัญญาณเหล่านี้เมื่อนำมาประมวลผลด้วยเครื่อง



คอมพิวเตอร์จะต้องมีการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล การจะส่งสัญญาณกลับออกมาเป็น อนาล็อก จึงต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก ดังภาพที่ 4.3 เป็นระบบดิจิทัลที่รับแรงดันอนาล็อกในย่าน $0 - 10\text{ V}$ มาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยตัวแปลงอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และส่งสัญญาณดิจิทัลเข้าวงจรประมวลผลด้วยระบบดิจิทัล (Digital processing unit) เมื่อประมวลผล โดยแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกด้วยวงจรตัวแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก จะได้แรงดันอนาล็อกด้านออก $0 - 10\text{ V}$ เหมือนกับสัญญาณแรงดันเข้า

4.2.1 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกแบบ R/2R แลคเคอร์

วงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อกที่ผ่านมาเมื่ออินพุตมีจำนวนบิตมากขึ้น เช่น วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ขนาด 12 บิต จะเกิดปัญหาเรื่องค่าความต้านทานที่ LSB จะมีค่าสูงมากประมาณ $2\text{ M}\Omega$ ซึ่งมีปัญหาในการหาค่าความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่แตกต่างกันถึง 12 ค่า จึงมีการออกแบบวงจรที่ใช้ค่าความต้านทานน้อย ๆ เช่น วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก แบบ R/2R แลคเคอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ซึ่งใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ค่าเท่านั้นคือ $10\text{ k}\Omega$ ทำให้ออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณ อนาล็อกได้ง่ายยิ่งขึ้น



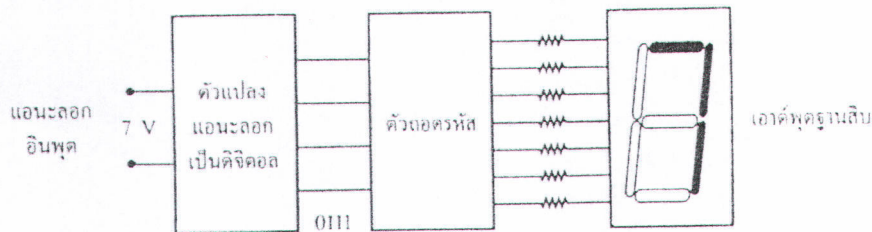
ภาพที่ 4-3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก 4 บิต แบบ R/2R แลคเคอร์

ที่มา : Malfaor 2001

4.2.2 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบสัญญาณลาดเอียง วงจรการแปลงอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรพื้นฐานแสดงในภาพที่ 4-4 ด้านอินพุตของวงจรรับแรงดันอนาล็อก และวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาล็อกให้

เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 4 บิต ค่าแรงดันต่ำสุด 0 V จะได้รับรหัสดิจิทัลเอาต์พุต 4 บิต เท่ากับ 0000 และที่ค่าแรงดันอินพุต จะได้รับรหัสดิจิทัลเอาต์พุต 4 บิต เท่ากับ 1111



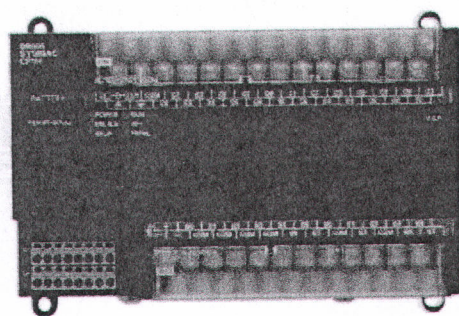
ภาพที่ 4-4 อนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ที่มา : Malfaor 2001

4.3 โปรแกรมคอนโทรลเลอร์

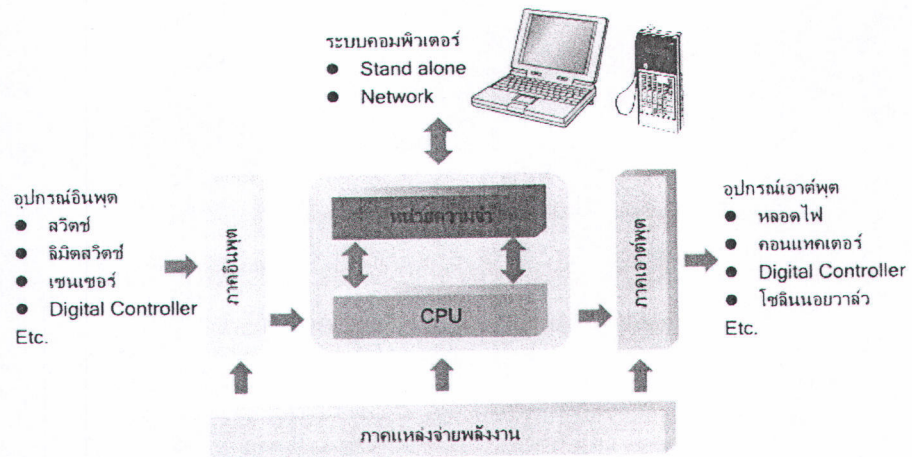
4.3.1 คุณสมบัติทั่วไปของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

PLC สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบต่างๆ แทนวงจรรีเลย์แบบเก่า ซึ่งวงจรรีเลย์มีข้อเสียคือ การเดินสายและการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุมมีความยุ่งยาก และเมื่อใช้งานไปนานๆ หน้าสัมผัสของรีเลย์จะเสื่อม ทำให้ขาดเสถียรภาพ ในการควบคุม PLC จึงเข้ามาทดแทนวงจรรีเลย์ เพราะ PLC ใช้งานได้ง่ายกว่า สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตได้โดยตรง นอกจากนั้นเพียงแค่เขียนโปรแกรมควบคุมก็สามารถใช้งานได้ทันที ถ้าต้องการจะเปลี่ยนเงื่อนไขใหม่สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงโปรแกรม



ภาพที่ 4-5 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

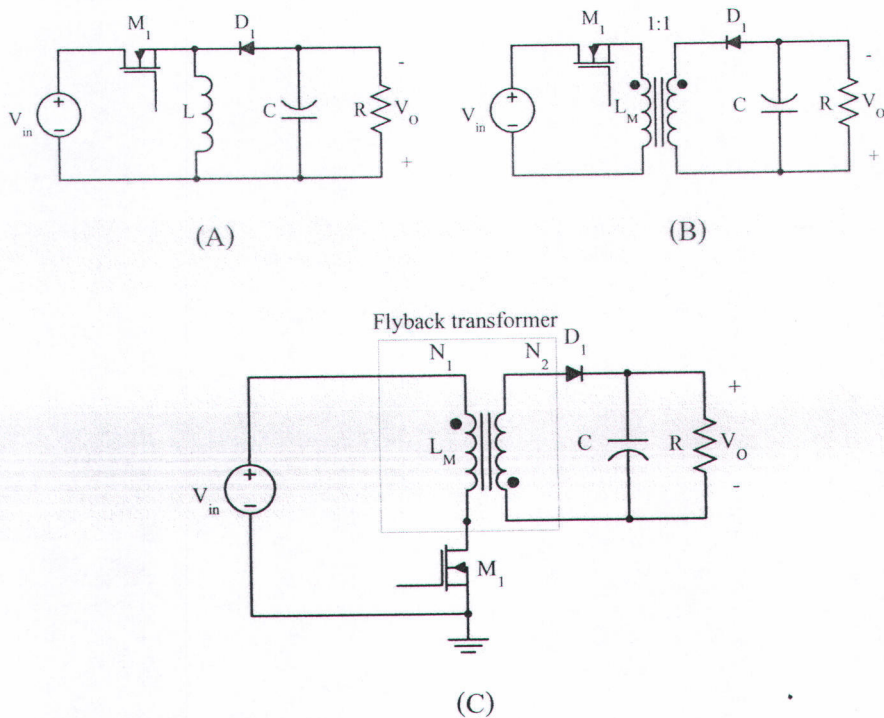
ที่มา : Omron.Co.Ltd 2008



ภาพที่ 4-6 ไดอะแกรมภายใน PLC

ที่มา : Omron.Co.Ltd 2008

4.4 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์



ภาพที่ 4.7 ขั้นตอนการพัฒนาวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จากวงจรแบบบัก-บูสต์

ที่มา : สุภชัย 2007

- (A) วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบัก-บูสต์
- (B) วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบัก-บูสต์ที่ได้จากการใช้ตัวเหนี่ยวนำแบบสองขด
- (C) วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค

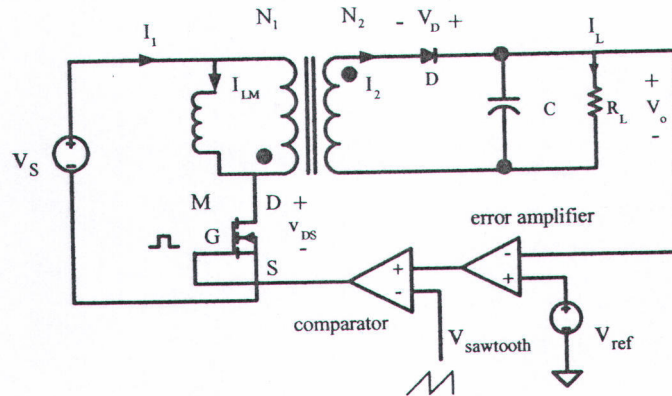
วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์พัฒนามาจากวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบัก-บูสต์ ซึ่งลำดับขั้นตอนการพัฒนาแสดงตามภาพที่ 4.7 กล่าวคือจากวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบัก-บูสต์ตามภาพที่ 4.7(A) ถ้าตัวเหนี่ยวนำ L ในภาพแยกออกเป็นขดลวดสองขดพันบนแกนอันเดียวกันและมีจำนวนรอบเท่ากันดังภาพที่ 4-7(B) การทำงานของวงจรในทุกๆคาบเวลาของการสวิตช์ คือในช่วงเวลาที่มอเตอร์เฟด (M_1) นำกระแสไฟฟ้า (ON) และไดโอด (D_1) ไม่นำกระแสไฟฟ้าเนื่องจากถูกไบแอสย้อนกลับช่วงเวลานี้คือช่วงเวลาที่ตัวเหนี่ยวนำทางอินพุต (L_m) เก็บพลังงาน ในช่วงขณะที่ M_1 หยุดนำกระแสไฟฟ้า (OFF) สนามแม่เหล็กในแกนขุดตัวทำให้สภาพขั้วของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิเปลี่ยนแปลงมีผลให้ D_1 นำกระแสไฟฟ้าเนื่องจากการถูกไบแอสตรงช่วงเวลานี้พลังงานที่เก็บไว้ใน L_m ได้ถ่ายโอนไปยังขดลวดทุติยภูมิและจ่ายพลังงานนี้ให้กับโหลด (R) และตัวเก็บประจุไฟฟ้า (C) ดังนั้นวงจรในภาพที่ 4-7 (B) ยังคงทำงานเหมือนกับวงจรตามภาพที่ 4-7 (A) เพียงแต่อินพุตและเอาต์พุตได้ถูกแยกจากกันทางไฟฟ้า (electrical isolation) ด้วยตัวเหนี่ยวนำเอาไว้ว (coupled inductor) ที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบค หม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบคแตกต่างจากหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไปคือ จะมีช่องว่างอากาศในแกนเพื่อการสะสมพลังงานวงจรฟลายแบคในภาพที่ 4-7 (C) เกิดจากการย้ายตำแหน่งของมอเตอร์กำลัง M_1 โดยให้หา ซอร์สเทียบกับการาวนและกำหนดให้ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันกลับทิศกันซึ่งทำให้ต้องกลับขั้วของไดโอดด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ช่วยให้สามารถเลือกให้ขั้วของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต V_o ตรงกันหรือตรงข้ามกับแรงดันไฟฟ้าอินพุต V_m ได้ และสามารถเลือกขนาดของแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิได้ตามต้องการ โดยใช้อัตราส่วนจำนวนรอบ จะสังเกตว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคดังแสดงในภาพที่ 4-7 (C) ประกอบด้วยอุปกรณ์จำนวนน้อยชิ้น และอุปกรณ์สวิตช์ต่อกลับจุดอ้างอิงที่เป็นกราวด์ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการสร้างวงจรขับอุปกรณ์สวิตช์

วงจรการควบคุมสำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตช์

การรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตช์ทำได้โดยการควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์กำลัง การควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่นิยมมีสองแบบคือ การควบคุมในโหมดแรงดัน (voltage mode control) และการควบคุมในโหมดกระแส (current mode control)

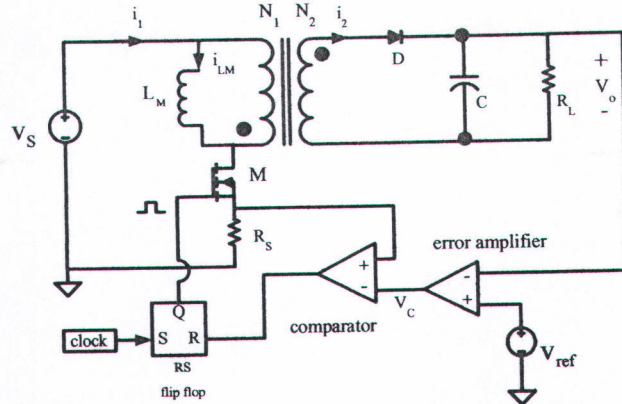


1. การควบคุมในโหมดแรงดัน (voltage mode control) ดังแสดงในภาพที่ 4-8 V_o ถูกควบคุมโดยการป้อนกลับไปยังวงจรขยายความผิดพลาด (error amplifier) สัญญาณผิดพลาด (V_e) จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อย (V_{sawtooth}) เพื่อสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM) ขับมอเตอร์เฟสเพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้คงที่



ภาพที่ 4-8 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ควบคุมแบบแรงดัน (voltage mode control)

ที่มา : Cuk 2001



ภาพที่ 4.9 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ควบคุมแบบกระแส (current mode control)

ที่มา : Cuk 2001

2. การควบคุมในโหมดกระแส (current mode control) ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ในแต่ละคาบของการสวิตช์สัญญาณ clock ความถี่ที่จะเซต RS flip flop ทำให้มอเตอร์เฟสนำกระแสไฟฟ้า V_o ถูกควบคุมโดยการป้อนกลับไปยังวงจรขยายความผิดพลาด สัญญาณผิดพลาด (V_e) จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_s (ซึ่งก็คือสัญญาณกระแสของมอเตอร์เฟส) เมื่อแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_s มี



ค่ามากกว่า V_C RS flip flop จะถูกรีเซต (reset) ทำให้มอสเฟตหยุดนำกระแสไฟฟ้า โดยวิธีการดังกล่าวนี้ความกว้างพัลส์ของสัญญาณ PWM จะเปลี่ยนแปลงเพื่อชดเชย V_o ที่เปลี่ยนแปลงไป

วงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ทั้งในโหมดควบคุมแบบแรงดันและโหมดควบคุมแบบกระแส เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับในลักษณะลูปปิด (closed loop feedback control) ซึ่งอาจเกิดจากการแกว่ง (oscillation) ขึ้นได้หากไม่มีการชดเชยวงจรควบคุมที่ดีพอ

วงจรมีเสถียรภาพเมื่อเงื่อนไขดังต่อไปนี้เป็นจริง

1. เฟสมาร์จินและเกนมาร์จินควรมีค่าเป็นบวกไม่น้อยกว่า 45° และ 6dB ตามลำดับเพื่อมีความเสถียรภาพและไม่ให้แรงดันเอาต์พุตแกว่งมากเกินไป
2. อัตราขยายดีซีควรมีค่ามากเพื่อให้มีการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตที่ดี
3. ความถี่ครอสโอเวอร์ควรมีค่ามากเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรเกิน 0.25 เท่าของความถี่ในการสวิตช์เพราะอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพได้

4.5 หม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบค

หม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบคเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในวงจรภาคกำลังของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือ หม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยไม่เกิดการอิ่มตัว

4.5.1 การหาขนาดของแกน

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบคในวิทยานิพนธ์ใช้เทคนิคค่าผลคูณพื้นที่ (area product, A_p) ซึ่งคือค่าผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดขวางของแกน (cross sectional area, A_c) กับพื้นที่ที่ใช้บรรจุขดลวด (window area, A_w) ค่า A_p สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบคทำงานในโหมด CCM และ DCM ถูกแสดงดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ [4]

$$A_p = A_c A_w = \frac{P_{02} \left[\left(\frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{4D_{\min} \alpha}{3}} \right) + \left(\sqrt{\frac{4(1-D_{\min}) \alpha}{3}} \right) \right]}{K_w J \Delta B f_s} \quad (4.9)$$



$$A_p = A_c A_w = \frac{P_{02} \left[\left(\frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{4D_{\min}}{3}} \right) + \left(\sqrt{\frac{4(1-D_{\min})}{3}} \right) \right]}{K_w JB_{\max} f_s} \quad (4.10)$$

- โดย P_{02} : กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทางด้านทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบค (W)
 $D_{\min}$: ค่าวัฏจักรหน้าที่ต่ำสุด
 f_s : ความถี่ของการสวิตช์ (Hz)
 α : ตัวเลขดัชนีการถ่ายโอนพลังงานที่มีค่า $0.75 < \alpha < 1$ สำหรับการทำงานในโหมด CCM และเท่ากับ 1 สำหรับการทำงานในโหมด DCM
 η : ค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบค
 K_w : ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ใช้บรรจุขดลวด (window utilizing factor)
 J : ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดที่ใช้พันขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ (A/m^2)
 $\Delta B = B_{\max} - B_{\min}$: ค่าความแตกต่างความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก
 $B_{\max}$: ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กค่าสูงสุด (T)
 $B_{\min}$: ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กค่าต่ำสุด (T)

ค่าของ P_{02} คำนวณได้จากสมการที่ (4.3)

$$P_{02} = (V_o + V_D) I_o \left[\frac{(1-D_{\min})}{D_{\min}} \right] \quad (4.11)$$

- โดย V_o : แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเอาต์พุต
 V_D : แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดขณะที้นำกระแสไฟฟ้าทางด้านทฤษฎี
 I_o : กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเอาต์พุต

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบคที่ใช้ในวงจรต้นแบบทั้งสี่มีค่าดังนี้

$V_{in,rms} = 198-242 \text{ V}$	$V_o = 5 \text{ V}$	$\Delta V_o = 10\% V_o$	$V_D = 0.7 \text{ V}$
$I_o = 1-5 \text{ A}$	$D_{\min} = 0.25$	$\eta = 0.75$	$P_{02} = 85.5 \text{ W}$
$K_w = 0.4$	$\Delta B = 0.1 \text{ T}$	$J = 5 \times 10^6 \text{ A/m}^2$	$f_s = 50 \text{ kHz}$
$R_L = 1-5 \text{ } \Omega$	$\alpha = 1 \text{ DCM และ CCM}$		



นำค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดข้างต้นไปแทนในสมการที่ (4.9)

ในโหมด CCM ได้ค่า $A_p = 1.5 \times 10^{-8} \text{ m}^4 = 15,000 \text{ mm}^4$ เลือกแกนเฟอร์ไรต์ที่มีค่า A_p สูงกว่าค่า A_p ที่คำนวณได้ คือ แกนแบบ ETD 44 ($A_c = 174 \text{ mm}^2$ $A_w = 213 \text{ mm}^2$ $A_p = 37,062 \text{ mm}^4$)

ในโหมด DCM ได้ค่า $A_p = 0.75 \times 10^{-8} \text{ m}^4 = 7,500 \text{ mm}^4$ เลือกแกนเฟอร์ไรต์ที่มีค่า A_p สูงกว่าค่า A_p ที่คำนวณได้คือแกนแบบ ETD 39 ($A_c = 125 \text{ mm}^2$ $A_w = 174 \text{ mm}^2$ $A_p = 21,750 \text{ mm}^4$)

4.1.2 การหาขนาดจำนวนรอบและขนาดของลวด

จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบคสามารถออกแบบคำนวณดังสมการที่ (4.4)

$$N_1 = \frac{V_{cc, \max} \cdot D_{\min}}{\Delta B \cdot A_c \cdot f_s} \quad (4.12)$$

ในโหมด CCM ที่แรงดันไฟฟ้าคิซีอินพุตสูงสุด ($V_{cc, \max} = 342.2 \text{ V}$) ได้ $N_1 = 136.8$ รอบ ถ้าอัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิต่อจำนวนรอบปฐมภูมิ (n) คำนวณได้ดังสมการที่ (4.5)

$$n = \frac{N_2}{N_1} = \frac{(V_o + V_D)}{V_{cc, \max}} \left(\frac{1 - D_{\min}}{D_{\min}} \right) \quad (4.13)$$

ได้ $n = 0.05$ ดังนั้นจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบค $N_2 = n \cdot N_1 = 6.84$ รอบ เลือก $N_2 = 7$ รอบ คำนวณย้อนกลับได้ $N_1 = 140$ รอบ ในโหมด DCM จำนวนรอบ N_1 และ N_2 ของหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบคมีค่าเท่ากันกับในโหมด CCM เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบ

กระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิ $I_{1, \text{rms}}$ และที่ไหลในขดลวดทุติยภูมิ $I_{2, \text{rms}}$ ของหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบค คำนวณได้ดังสมการที่ (4.6)

$$I_{1, \text{rms}} = \frac{\sqrt{2P_o}}{\eta \cdot V_{cc, \min}} \quad I_{2, \text{rms}} = I_{1, \text{rms}} / n \quad (4.14)$$

ที่ $P_o = 25 \text{ W}$ และ ($V_{cc, \min} = 280 \text{ V}$) และ $\eta = 0.75$ ได้ $I_{1, \text{rms}} = 0.168 \text{ A}$ และ $I_{2, \text{rms}} = 3.37 \text{ A}$

พื้นที่หน้าตัดของขดลวดปฐมภูมิ a_1 และทุติยภูมิ a_2 คำนวณได้ดังสมการที่ (4.14)



$$a_1 = \frac{I_{1,rms}}{J}$$

$$a_2 = \frac{I_{2,rms}}{J}$$



(4-15)

ที่ $J = 5 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ได้ $a_1 = 0.033 \text{ mm}^2$ และ $a_2 = 0.674 \text{ mm}^2$

ความลึกจากผิวขดลวดที่นำกระแสไฟฟ้า (skin depth, δ_{cu}) เนื่องจากปรากฏการณ์ทางผิว (skin effect) คำนวณได้ดังสมการที่ (4.8) [1], [5]

$$\delta_{cu} = \sqrt{\frac{\rho_{cu}}{\pi \mu_o \mu_{cu} f_s}} \quad (4-16)$$

ρ_{cu} ความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดมีค่าเท่ากับ $(1.709 \times 10^{-8} \text{ } \Omega \text{ m ที่ } 20 \text{ } ^\circ \text{C})$

μ_o ค่า permeability ของ free space มีค่าเท่ากับ $(4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m})$

μ_{cu} ค่า permeability สัมพัทธ์ของขดลวดมีค่าเท่ากับ $(\approx 1 \text{ H/m})$

ที่ $f_s = 50 \text{ kHz}$ ได้ $\delta_{cu} = 0.2942 \text{ mm}$ ขนาดของขดลวดที่ไม่มีผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์ทางผิว ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดเพิ่มขึ้นคือ ขดลวดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง (ϕ) น้อยกว่า $2\delta_{cu}$ นั่นคือ $\phi_{cu} < 0.5884 \text{ mm}$ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกขดลวดเบอร์ AWG30 ($a_{30} = 0.0507 \text{ mm}^2$, $\phi_{30} = 0.2540 \text{ mm}$) จำนวนหนึ่งเส้นสำหรับขดลวดปฐมภูมิและเลือกขดลวดเบอร์ AWG24 ($a_{24} = 0.205 \text{ mm}^2$, $\phi_{24} = 0.5105 \text{ mm}$) จำนวนสี่เส้นขนานกันสำหรับขดลวดทุติยภูมิ ความเป็นไปได้ในการพันขดลวดที่เลือกไว้ลงในพื้นที่ที่ใช้พันขดลวดของแกนเฟอร์ไรต์ที่เลือกไว้ สามารถตรวจสอบได้ด้วยสมการที่ (4.9)

$$K_w A_w \geq a_1 N_1 + a_2 N_2 \quad (4-17)$$

ในโหมด DCM แกน ETD39 ($K_w = 0.4$, $A_w = 174 \text{ mm}^2$)

$$0.4 \times 174 \text{ mm}^2 \geq (140 \times 0.0507 \text{ mm}^2) + (7 \times 4 \times 0.205 \text{ mm}^2)$$

$$69.6 \text{ mm}^2 \geq 12.8 \text{ mm}^2$$

ในโหมด CCM แกน ETD44 ($K_w = 0.4$, $A_w = 213 \text{ mm}^2$)

$$0.4 \times 213 \text{ mm}^2 \geq (140 \times 0.0507 \text{ mm}^2) + (7 \times 4 \times 0.205 \text{ mm}^2)$$



$$85.2\text{mm}^2 \geq 12.8\text{mm}^2$$

ดังนั้นแกนแบบ ETD39 และแบบ ETD44 ที่เลือกสามารถรองรับจำนวนขดลวดทั้งหมดได้

4.6 เลือกขนาดการทนกำลังของอุปกรณ์กำลัง

การเลือกพิกัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของมอสเฟตกำลัง ไดโอดกำลัง และไดโอดบริดจ์นั้นต้องคำนึงถึงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวอุปกรณ์มีพิกัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์กำลังในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ถูกแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พิกัดกระแสไฟฟ้าและพิกัดแรงดันไฟฟ้าของมอสเฟตกำลัง ไดโอดกำลังและไดโอดบริดจ์ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตช์ที่ใช้ในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

อุปกรณ์	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด	กระแสไฟฟ้าสูงสุด	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย
มอสเฟตกำลัง	$2V_{in,pk} + \frac{V_o}{n}$	$\frac{2P_o}{nV_{in,pk}}$	$\frac{4}{\pi} \frac{P_o}{nV_{in,pk}}$
ไดโอดกำลัง	$V_o \left(\frac{1+nV_{in,pk}}{V_o} \right)$	$\frac{1}{n} \frac{2P_o}{nV_{in,pk}}$	$\frac{4}{\pi n} \frac{P_o}{nV_{in,pk}}$
ไดโอดบริดจ์	$V_{in,pk}$	$\frac{2P_o}{nV_{in,pk}}$	$\frac{2}{\pi} \frac{P_o}{nV_{in,pk}}$

4.7 การประมวลผลโปรแกรม

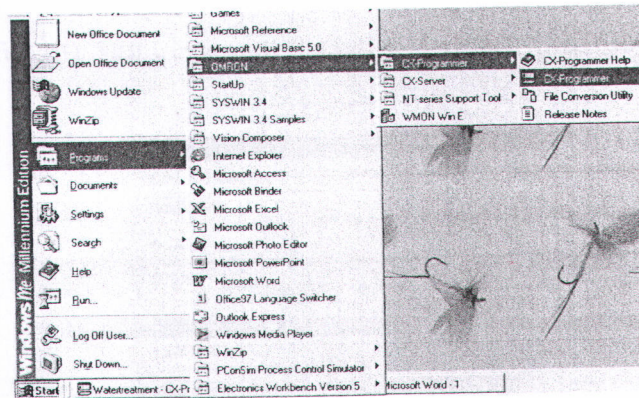
แบ่งเป็นการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีแอลซี OMRON รุ่น CPIL โดยใช้โปรแกรม CX-Programmer ในการควบคุมระบบการทำงานการรับและส่งค่าที่ใช้ในการคำนวณ หาค่าโพลาร์ไลท์เซนส์ และใช้การสั่งการผ่านจอ Touch Screen โดยใช้โปรแกรม CX-Designer ดังรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

4.7.1 CX-Programmer

การเปิดใช้ Software CX-Programmer

Click ปุ่ม start ที่ task bar แล้ว click เลือก program → OMRON → CX-Programmer → CX-Programmer ดังรูป



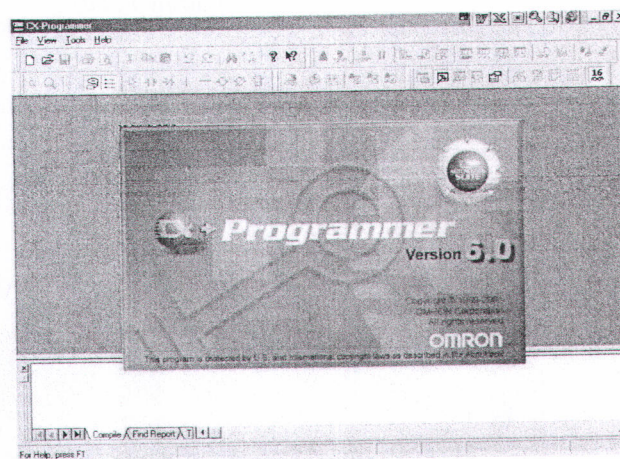


ภาพที่ 4.10 การเปิดใช้งานโปรแกรมควบคุมพีแอลซี

ที่มา : Omron.Co.Ltd

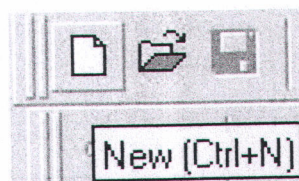
เปิด file หรือสร้าง file ใหม่

เมื่อเปิด software ตัว CX-Programmer ขึ้นมาในขั้นตอนแรก จะขึ้นหน้าจอดังรูป



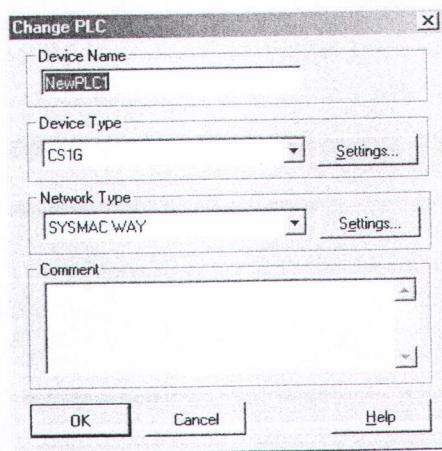
ภาพที่ 4.11 หน้าจอแรกเมื่อเปิด Software CX-Programmer

ที่มา : Omron.Co.Ltd

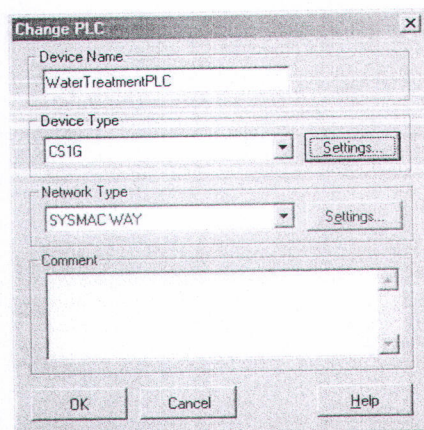


ภาพที่ 4.12 หน้าจอแรกเมื่อเปิด Software CX-Programmer

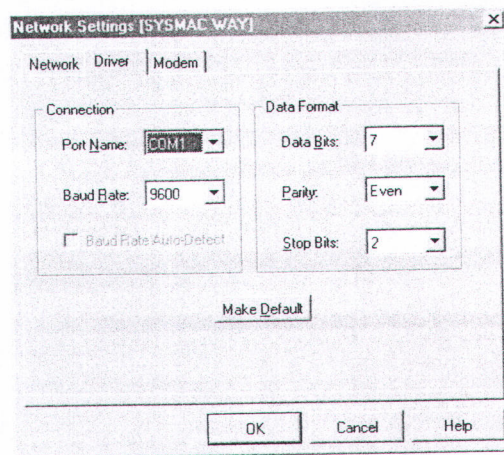
เมื่อ click ปุ่ม สร้าง file. ใหม่ จะมี windows ที่ชื่อ change PLC ขึ้นมาเพื่อให้เลือกรุ่นของ PLC ดังรูป



ภาพที่ 4.13 Windows ที่ชื่อ Change PLC ขึ้นมาเพื่อให้เลือกรุ่นของ PLC
ที่มา : Omron.Co.Ltd



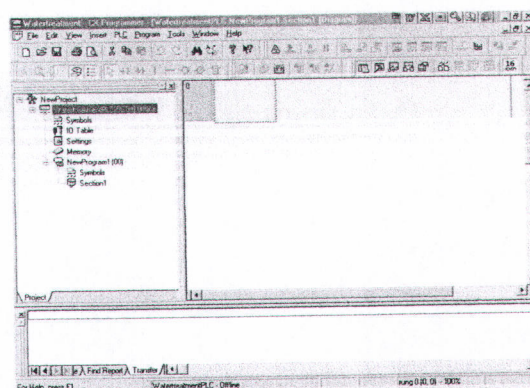
ภาพที่ 4.14 Windows ที่ชื่อ Change PLC ขึ้นมาเพื่อให้เลือกรุ่นของ PLC
ที่มา : Omron.Co.Ltd



ภาพที่ 4.15 Click ปุ่ม Setting ที่กรอบของ Network Type แล้ว click tab ที่ชื่อ driver เพื่อเลือก Com Port ที่ต่อจากเครื่อง computer

ที่มา : Omron.Co.Ltd

- Project Workspace :- เป็นตัว Project Explorer จะเป็นลักษณะคล้าย windows explorer (ของ MS-windows95/98) ซึ่งเมื่อ double click ที่ icon ตัวใด ก็จะไปเปิด window ของส่วนประกอบนั้นขึ้นมา
- Editor window :- เอาไว้เขียน Program ให้ PLC ในรูปแบบเป็น Ladder Diagram หรือ Pneumonic Code (หรือเรียก Statement List, Instruction List)
- Output window :- เป็นส่วนที่รายงานผลการ compile program ว่ามี error หรือ warning หรือมีข้อผิดพลาดอะไรที่เกี่ยวข้องกับ PLC

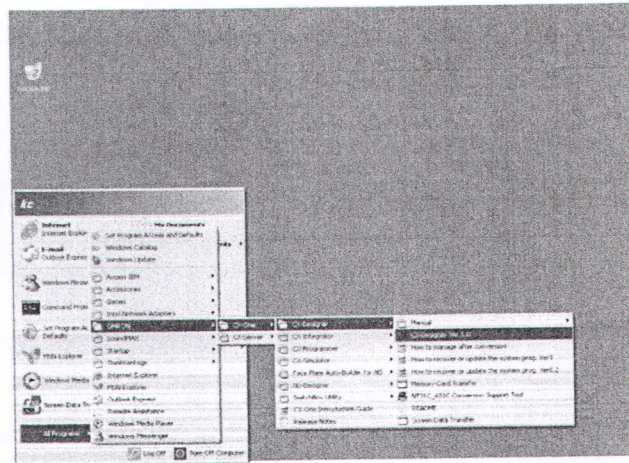


ภาพที่ 4.16 รูปแบบโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนงานวิจัย

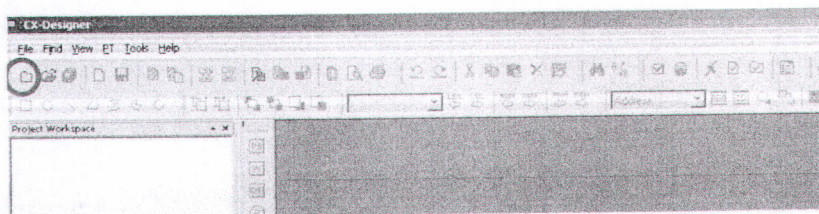
ที่มา : Omron.Co.Ltd

4.7.2 การเขียนโปรแกรมงานหน้าจอสั่งการ CX-Designer

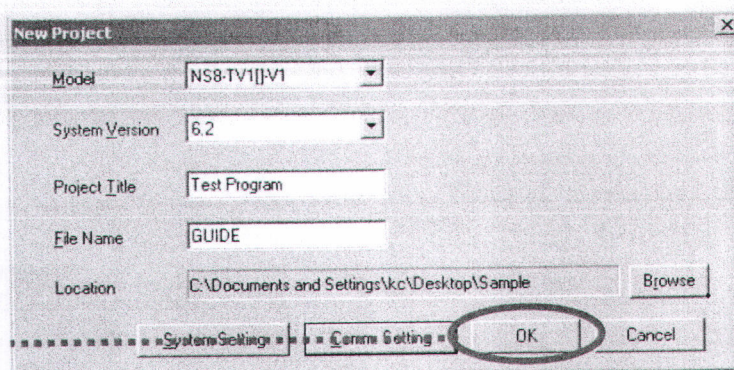
การเปิดใช้ Software CX-Designer



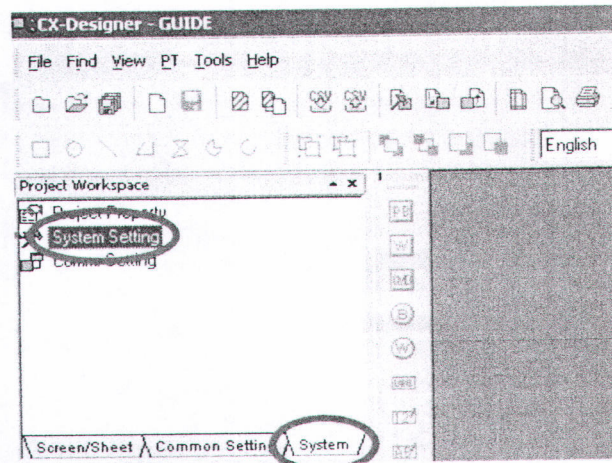
ภาพที่ 4.17 การใช้ในโปรแกรมออกแบบหน้าจอสั่งการสำหรับงานวิจัย
ที่มา : Omron.Co.Ltd



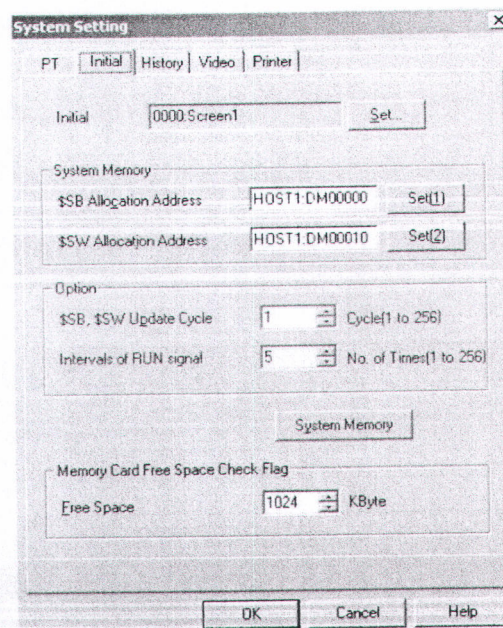
ภาพที่ 4.18 เปิดไฟล์หน้าจอสั่งการสำหรับงานวิจัย



ภาพที่ 4.19 ตั้งค่าและกำหนดพารามิเตอร์



ภาพที่ 4.20 ตั้งค่าและกำหนดพารามิเตอร์ของระบบสั่งการ
ที่มา : Omron.Co.Ltd



ภาพที่ 4.21 ตั้งค่าและกำหนดระหว่างหน่วยความจำที่กำหนด
ที่มา : Omron.Co.Ltd