

บทที่ 3

การดำเนินงาน

การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 3 เฟสต้องใช้เวลาในการศึกษาหาข้อมูลเพื่อออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ให้มีการทำงานที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่กำหนดไว้ รายละเอียดในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ชุดสเตเตอร์ ชุดโรเตอร์แม่เหล็กถาวร และโครงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์มาดัดแปลงและยังมีการคำนวณแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำไปเปรียบเทียบกับ การทดสอบ

3.1 การวางแผนงาน

1. การวางแผนการดำเนินงาน โครงการ
2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแม่เหล็กถาวร
3. ออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 1 เฟส
4. ดำเนินการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 1 เฟส
5. ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 1 เฟส
6. แก้ไขและปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผล

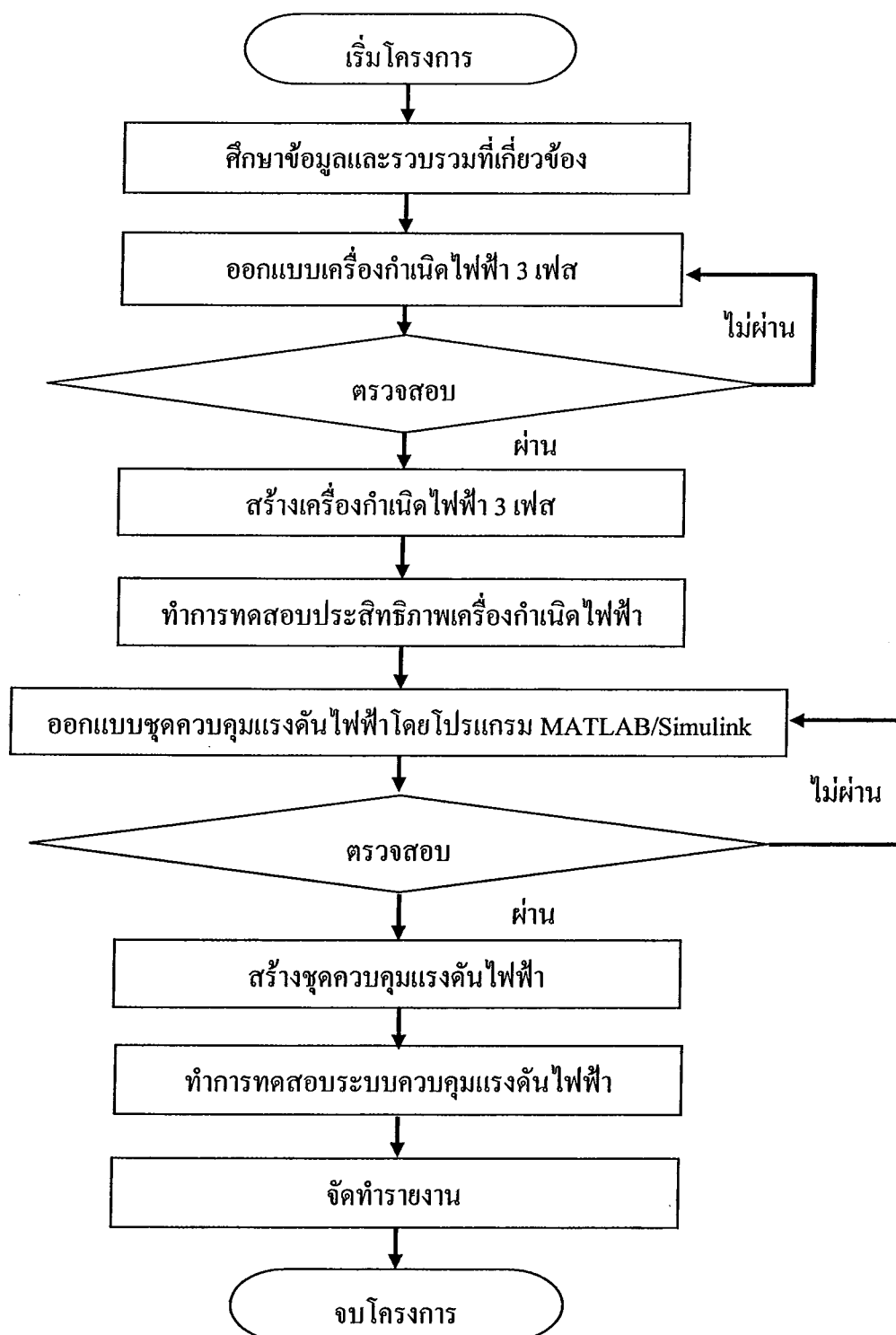
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินโครงการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 3 เฟส

รายการ	ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ (เดือน)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1) การวางแผนการดำเนินงานโครงการ	←→	←→										
2) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการ		←→	←→									
3) ออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า			←→	←→								
4) ดำเนินการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า					←→	←→	←→					
5) ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							←→	←→				
6) ออกแบบชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า									←→	←→		
7) ทำการทดสอบระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้า										←→	←→	
8) แก้ไขและปรับปรุงโครงการ											←→	←→

หมายเหตุ ←→ หมายถึง แผนดำเนินโครงการ

 ← - - → หมายถึง การดำเนินโครงการจริง

3.2 การเตรียมการ



ภาพที่ 3.1 ผังงานโครงการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 3 เฟส
และชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า

3.3 วิธีการดำเนินการ

3.3.1 การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์

จากการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์มีแรงดันพิกัดที่ 48 V ความถี่ 50 Hz จำนวนขั้วแม่เหล็ก 12 ขั้ว จึงนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาคำนวณความเร็วรอบ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก และจำนวนขดลวดในร่องสเตเตอร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{120f}{P} && (\text{rpm.}) \\
 &= \frac{120 \times 50}{12} \\
 &= 500 \text{ rpm.}
 \end{aligned}$$

N = ความเร็วรอบ

f = ความถี่ไฟฟ้า

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

เมื่อทราบจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 15,000 Gauss ต้องคำนวณหา $\Phi_{\max}$

$$15,000 \text{ Gauss} = 1.5 \text{ T} = B_r$$

$\Phi_{\max}$ = คิวค่า fundamental flux จากแม่เหล็กหาได้จาก

$$\Phi_{\max} = A_{\text{magn}} B_{\max}$$

เมื่อ A_{magn} คือ พื้นที่หน้าตัดแม่เหล็กแต่ละแท่ง = ความกว้าง x ความยาว

$$\begin{aligned}
 A_{\text{magn}} &= l \times w \\
 &= 55 \text{ mm.} \times 35 \text{ mm.} \\
 &= 1.925 \times 10^{-3} \text{ m.}^2
 \end{aligned}$$

เมื่อ $B_{\max}$ คือ ค่าความหนาแน่นสูงสุดของสนามแม่เหล็ก ผ่าน Air gap

$$\begin{aligned}
 B_{\max} &= B_r \frac{\delta}{A_{\text{gap}} + \delta} \\
 &= 1.5 \text{ T} \times 0.67
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.005T \\
 \text{เมื่อ } A_{\text{gap}} &= \text{ช่องว่างระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ (mm.)} \\
 \delta &= \text{คือความหนาแท่งแม่เหล็ก (10 mm.)} \\
 B_r &= \text{คือความหนาแน่นสนามแม่เหล็กบริเวณผิวแท่งแม่เหล็ก} \\
 \Phi_{\text{max}} &= 1.925 \times 10^{-3} \times 1.005T \\
 &= 1.93 \times 10^{-3} \text{ Wb/m}^2
 \end{aligned}$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$$\begin{aligned}
 E &= 2\pi \times N_c \times f \times \Phi_{\text{max}} \times \frac{N_s}{N_{\text{ph}}} \\
 \text{เมื่อ } N_c &= \text{จำนวนรอบของขดลวด} \\
 N_s &= \text{จำนวนขดลวด (48 ขด)} \\
 N_{\text{ph}} &= \text{จำนวนเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า} \\
 \Phi_{\text{max}} &= 1.93 \times 10^{-3} \text{ Wb/m}^2
 \end{aligned}$$

3.3.1.2 สเตเตอร์

เมื่อเลือกขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นำมาใช้ได้แล้วจะต้องรู้จำนวนสล๊อทของสเตเตอร์ โดยนับจำนวนร่องสล๊อทได้ 48 ร่อง จำนวน 12 ขั้วแม่เหล็กจะลงขดลวดเพียง 48 ร่องสล๊อทเท่านั้นเพราะขนาดแม่เหล็กมีความกว้างเท่ากับ 4 ร่องของสเตเตอร์เพื่อให้ได้ขดลวดสเตเตอร์ 1 เฟสจะมีสูตรในการคำนวณดังนี้

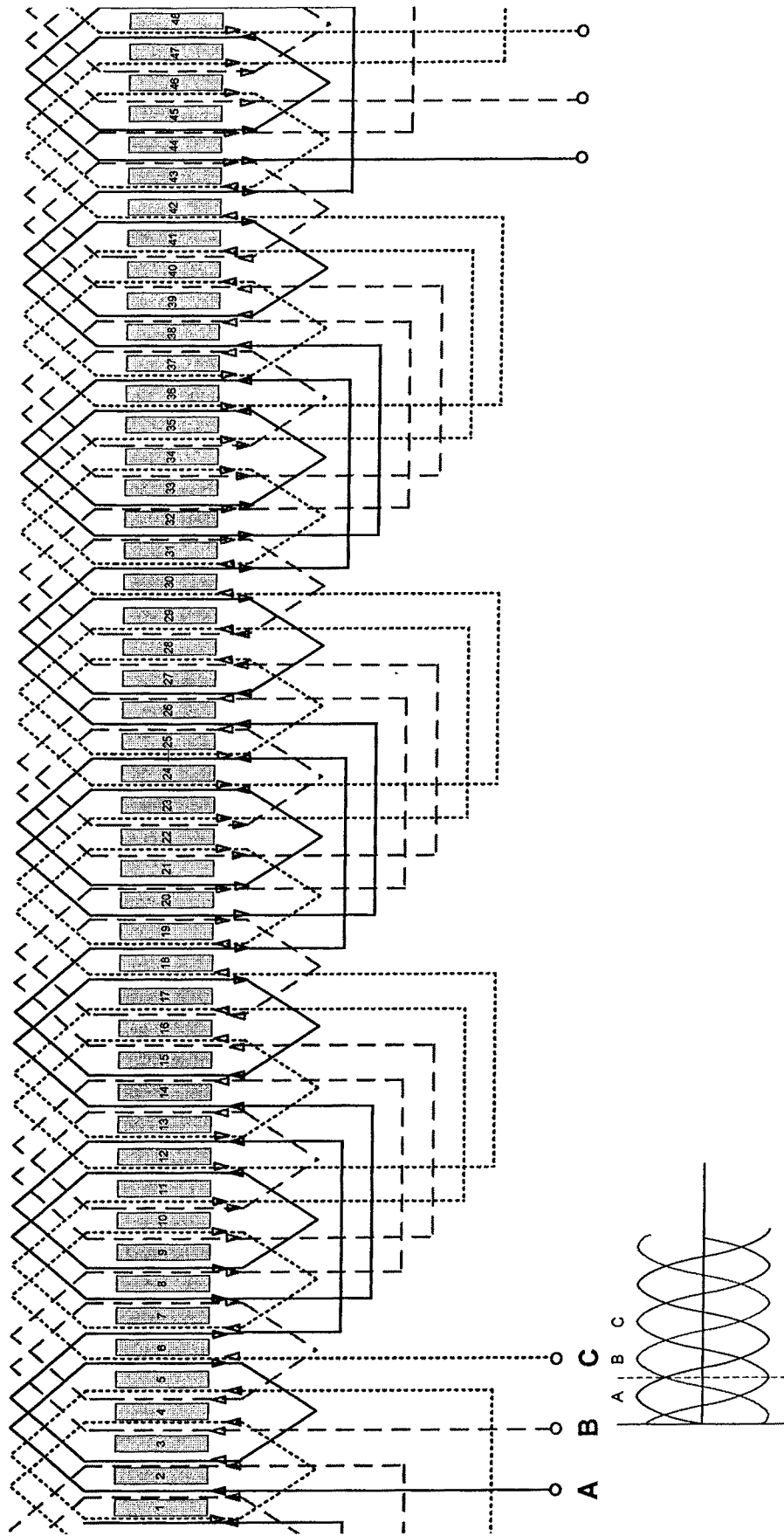
สูตรคำนวณการออกแบบการพันขดลวดสเตเตอร์

$$\begin{aligned}
 n &= \text{จำนวนร่องต่อขั้วแม่เหล็ก} \\
 &= 48 / 12 \\
 &= 4 \text{ (Slot/pole)} \\
 m &= \text{จำนวนร่องต่อขั้วแม่เหล็กต่อเฟส} \\
 &= 48/12/3 \\
 &= 1.333 \text{ coil-group} \approx 2 \text{ coil-group}
 \end{aligned}$$

การพันขดลวดจะพันแบบ Whole Coil 48 Slot 48 ขด Double Layer ใช้ขดลวดทองแดง เบอร์ 21 ทนกระแสสูงสุดได้ 1.2 แอมป์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7239 mm. จะพัน ได้เต็ม 20 รอบ ของสเตเตอร์พอดี

3.3.1.3 โรเตอร์

เมื่อทราบจำนวนร่องสล๊อตต่อขั้วแม่เหล็กเท่ากับ 4 ร่องต่อขั้วแม่เหล็ก การเลือกแม่เหล็กถาวรควรมีขนาดความกว้างเท่ากับขนาดของร่องสล๊อตต่อขั้วแม่เหล็กแต่ขนาดของแม่เหล็กถาวรที่เลือกจะมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา หลายขนาด ดังนั้นจึงต้องเลือกแม่เหล็กถาวรให้มีขนาดใกล้เคียงความยาวของสล๊อตโรเตอร์



ภาพที่ 3.2 ไดอะแกรมแสดงการพันขดลวดอาร์แบบ 3 เฟส แบบ Whole Coil 48 Slot 4 ขด Double Layer

3.3.2 การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ โดยการทดสอบที่โหลดคงที่ ความเร็วเปลี่ยนแปลง

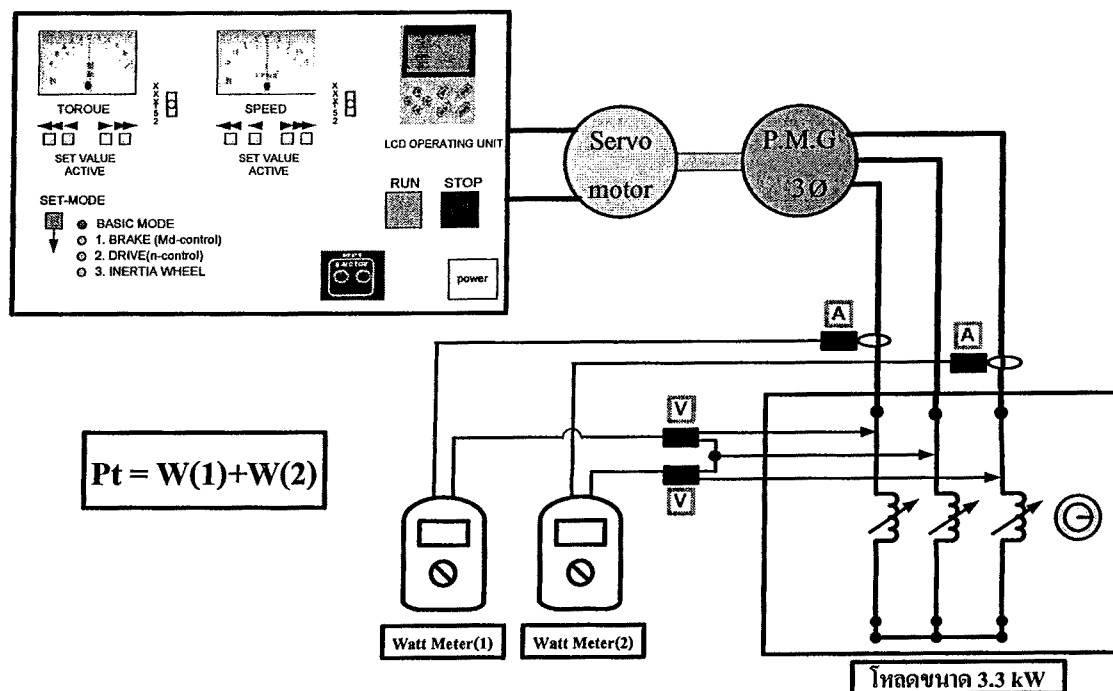
การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ ขณะต่อโหลดด้านกระแสสลับ ทำการทดสอบความเร็วรอบตั้งแต่ 300-700 rpm ต่อโหลดความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 100 วัตต์ โดยวัดและบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด กำลังเอาต์พุต และคำนวณหา กำลังอินพุตกับประสิทธิภาพ

อุปกรณ์การทดสอบ

1. โหลดความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 3.3 kW	1 เครื่อง
2. Servomotor และชุด Digital Control Unit for Servodrive	1 เครื่อง
3. วัดคีมเตอร์	2 เครื่อง
4. สายต่อวงจร	2 ชุด

ลำดับขั้นตอนการทดสอบ

1. ประกอบระบบขับเคลื่อน Servo motor กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 3 เฟสและวัดคีมเตอร์เพื่อวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้า ดังภาพที่ 3.3
2. เปิดสวิตช์ชุด Digital Control Unit for Servodrive ปรับตำแหน่งสวิตช์ set mode ไปที่ตำแหน่ง 2 DRIVE (n-control)
3. ปรับความเร็วรอบแบบละเอียดทดสอบเพิ่มความเร็วรอบตั้งแต่ 300-700 rpm
4. บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด



ภาพที่ 3.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ ขณะต่อโหลดด้านกระแสสลับ

3.3.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ โดยการทดสอบที่ความเร็วคงที่ โหลดเปลี่ยนแปลง

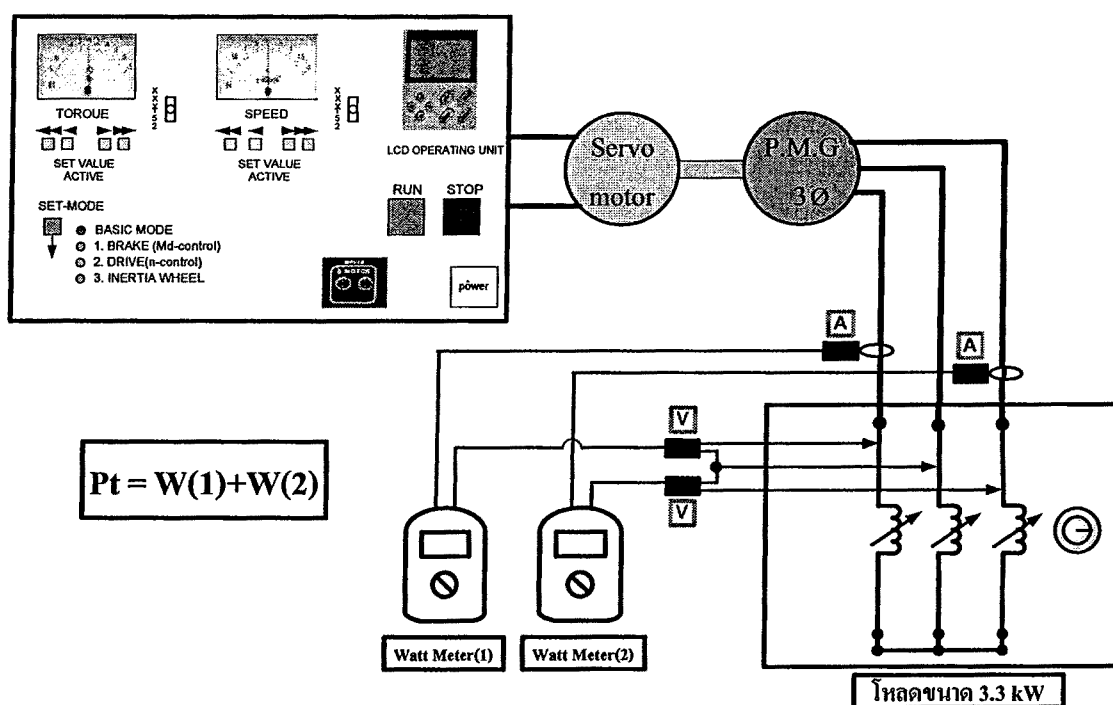
การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ ขณะต่อโหลดด้านกระแสสลับ ทำการทดสอบความเร็วคงที่ 500 rpm ต่อโหลดความต้านทานปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 - 1,000 วัตต์ โดยวัดและบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด กำลังเอาต์พุต และคำนวณหา กำลังอินพุตกับประสิทธิภาพ

อุปกรณ์การทดสอบ

- | | |
|--|-----------|
| 1. โหลดความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 3.3 kW | 1 เครื่อง |
| 2. Servomotor และชุด Digital Control Unit for Servodrive | 1 เครื่อง |
| 3. วัดคัมมิเตอร์ | 2 เครื่อง |
| 4. สายต่อวงจร | 2 ชุด |

ลำดับขั้นตอนการทดสอบ

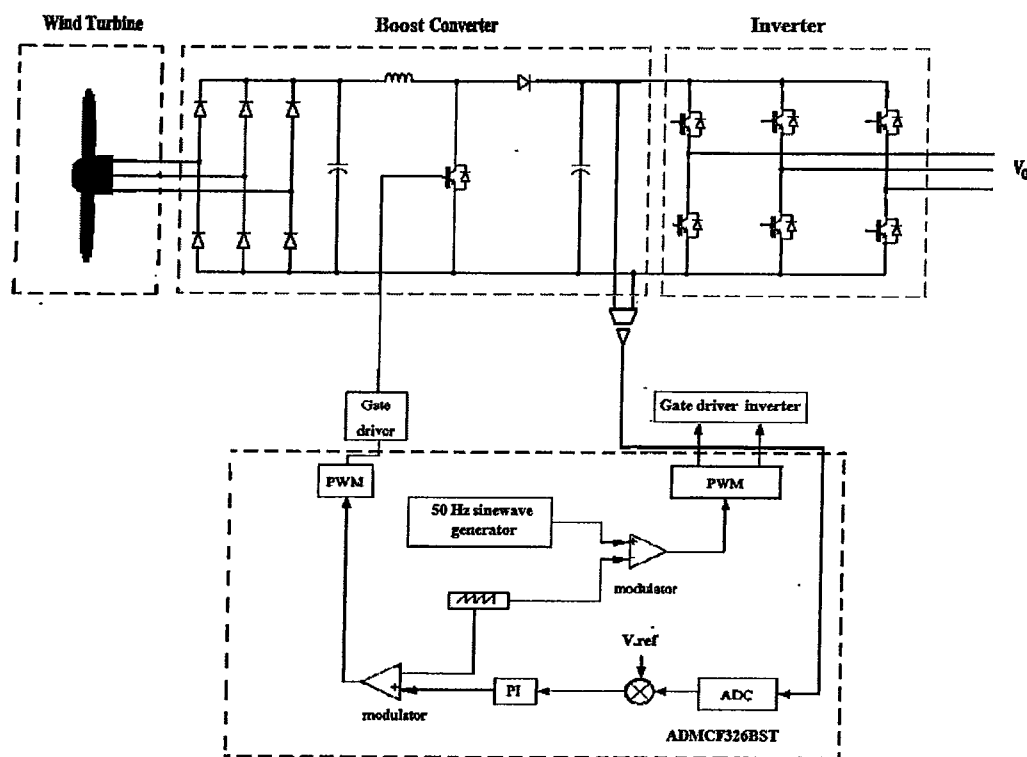
1. ประกอบระบบขับเคลื่อน Servo motor กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 3 เฟสและวัดมิเตอร์เพื่อวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้า ดังภาพที่ 3.4
2. เปิดสวิตช์ชุด Digital Control Unit for Servodrive ปรับตำแหน่งสวิตช์ set mode ไปที่ตำแหน่ง 2 DRIVE (n-control)
3. ปรับความเร็วรอบที่ 500 rpm
4. ปรับโหลดความต้านทานแบบละเอียดทดสอบเริ่มตั้งแต่ 0 - 1,000 W
5. บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด



ภาพที่ 3.4 การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ ขณะต่อ โหลดด้านกระแสลับ

3.3.4 การออกแบบชุดควบคุมแรงดัน

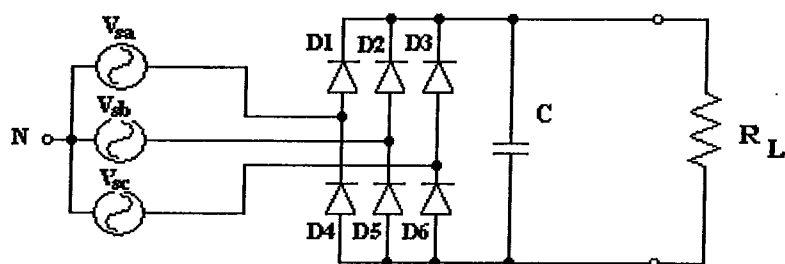
3.3.4.1 แนวคิดในการออกแบบ และการสร้างวงจรแปลงผันกำลังงาน



ภาพที่ 3.5 โครงสร้างพื้นฐาน และส่วนประกอบของวงจรแปลงผันกำลังงาน

3.3.4.2 การออกแบบวงจรเรียงกระแส

จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 48 โวลต์ และพิกัดกำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์



ภาพที่ 3.6 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส

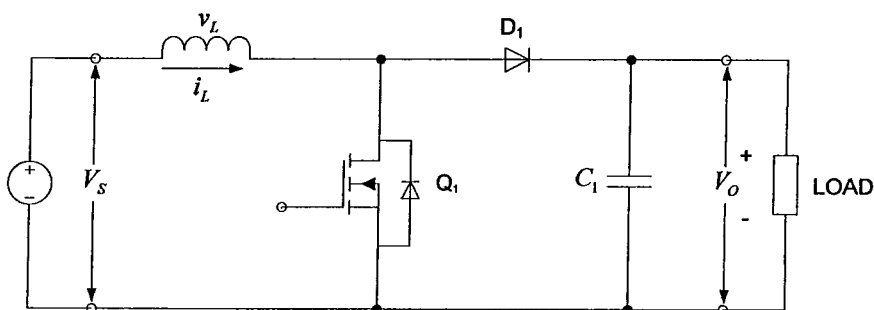
การเลือกค่า C ที่ต่อกับวงจร

ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส และตัวเก็บประจุที่นำมาต่อใช้งาน

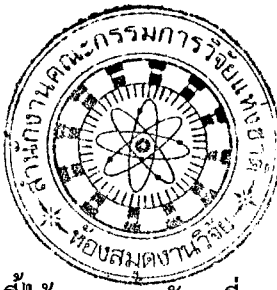
กระแสสูงสุดของวงจรที่นำมาต่อใช้งาน	ค่าของตัวเก็บประจุที่นำมาต่อเพื่อสำรองไฟ
125 mA	470 μF
250 mA	1,000 μF
500 mA	2,200 μF
1A	4,700 μF
2A	6,800 μF
4A	10,000 μF
8A	22,000 μF

3.3.4.3 วงจรทบทระดับแรงดัน

วงจรทบทระดับแรงดันที่ใช้ในโครงการจะแสดงดังภาพที่ 3.7 จึงสามารถ
ออกแบบค่าพารามิเตอร์จากทฤษฎีที่กล่าวในบทที่ 2 และวงจรที่ใช้กับโครงการนี้



ภาพที่ 3.7 วงจรทบทระดับแรงดัน



ในโครงการนี้ได้ออกแบบตัวเหนี่ยวนำสำหรับวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

ดังต่อไปนี้

- แรงดันเอาต์พุต 100 V
- แรงดันอินพุต 48 V
- ความถี่สวิตช์ 10 kHz
- ค่าความต้านทานโหลด 10 Ω

1. หาค่า Duty Cycle จากสมการ (2.75)

จาก
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$$
$$\frac{100}{48} = \frac{1}{1-D}$$
$$1 - D = \frac{48}{100} = 0.48$$
$$D = 0.52$$

หาขนาดตัวเหนี่ยวนำ (L) สามารถคำนวณจากสมการ (2.83)

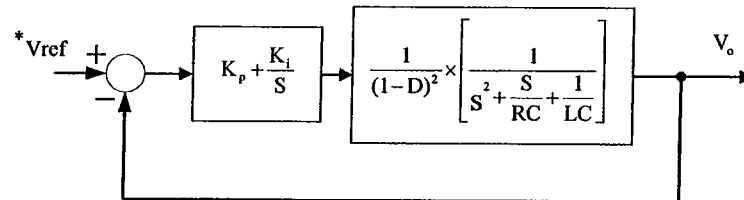
$$L_{\min 1} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f}$$
$$L_{\min 1} = \frac{0.52(1-0.52)^2 \times 10}{2(10 \times 10^3)}$$
$$= 60 \mu\text{H}$$

2. หาขนาดตัวเก็บประจุค่าระลอกคลื่นแรงดันของตัวเก็บประจุเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์จากสมการที่ (2.86)

จะได้
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf}$$
$$C_1 = \frac{D}{Rf \frac{\Delta V_o}{V_o}}$$
$$C_1 = \frac{0.52}{10 \times (10 \times 10^3) \times 0.1}$$
$$= 52 \mu\text{F}$$

3.3.4.4 การจำลองตัวควบคุมชนิด PI ด้วย Ziegler-Nichols

เป็นการออกแบบตัวควบคุมชนิด PI ด้วย Ziegler-Nichols เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ระบบมีความผิดพลาด (Error) น้อยที่สุด ที่สภาวะคงตัว (Steady State) และมีผลต่อการตอบสนองที่รวดเร็ว จึงสามารถออกแบบหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวงจรได้ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 บล็อกฟังก์ชัน โอนย้าย Transfer Function ตัวควบคุมชนิด PI

ลำดับขั้นตอนการหาค่า K_p K_i ด้วย Ziegler-Nichols

1. ทำการหาค่า K_p K_i ขึ้นมาเพื่อทำการหา Step Response

$$k_p = 10;$$

$$k_i = 15;$$

$$L = 60e6;$$

$$C = 52e-6;$$

$$R = 10;$$

$$\text{Num} = [k_p \ k_i];$$

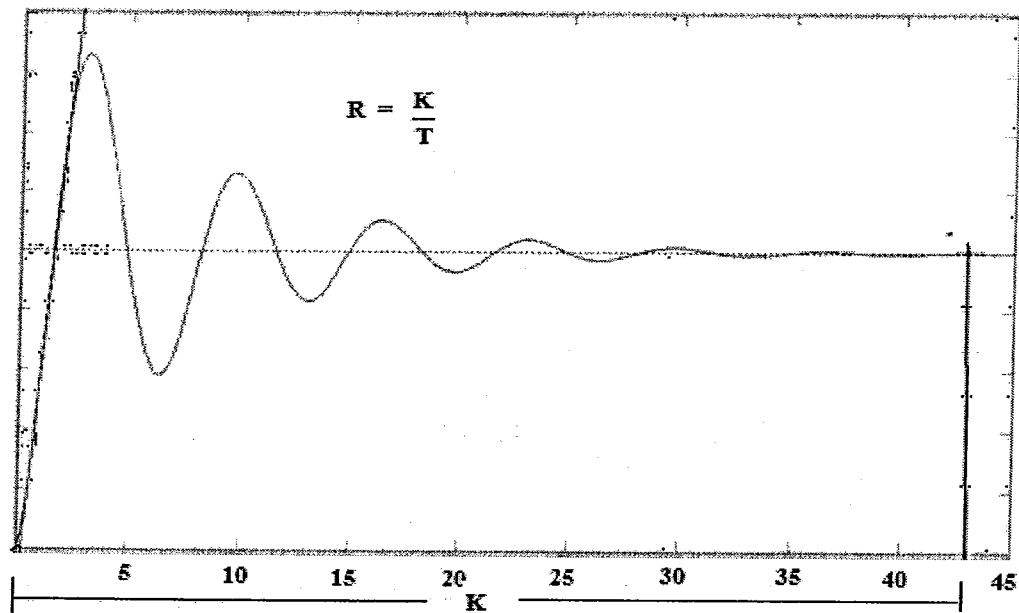
$$\text{Den} = [1 \ 1/(R*C) \ 1/(L*C) \ 0];$$

$$\text{Sys} = \text{tf}(\text{num}, \text{den});$$

$$\text{sys1} = \text{feedback}(\text{sys}, 1);$$

$$\text{step}(\text{sys1})$$

จะได้กราฟ Step Response ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 กราฟแสดง Step Response จากการสุ่มค่าเริ่มต้น

จากภาพที่ 3.9 จะได้ค่าดังนี้

$$L = 0.2$$

$$R = 1/43.5 = 0.02298$$

ต้องการควบคุมแบบ PI controller

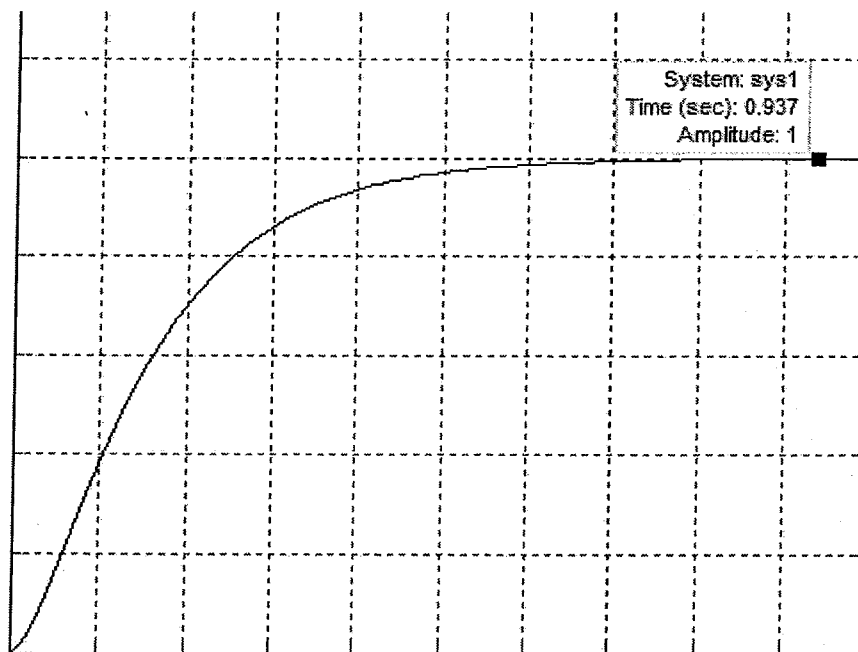
$$K_p = 0.9/R.L = 0.9/0.2 \times 0.02298 = 195.822$$

$$K_i = L/0.3 = 0.2/0.3 = 0.666666$$

3. นำค่าที่ได้มาคำนวณการควบคุมแบบ PI controller ตามกฎของ Ziegler - Nichols และนำค่าที่ได้จากการมาคำนวณหา Step Response อีกครั้ง ได้ดังภาพที่ 3.10

$$K_p = 0.9T/L = 0.9 \times 0.54/0.12 = 4.05$$

$$K_i = L/0.3 = 0.12/0.3 = 0.4$$



ภาพที่ 3.10 กราฟแสดง Step Response ที่ได้จากกฎของ Ziegler-Nichols

4. เมื่อได้ค่าจากการคำนวณตามกฎของ Ziegler-Nichols จะเห็นได้ว่ามีผลการตอบสนองที่เร็วขึ้นและนำค่าที่ได้จากการคำนวณนี้ ไปใช้ในการออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ โดยโปรแกรม MATLAB/Simulink

3.3.4.5 การจำลองระบบควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องกำเนิดแม่เหล็กถาวรขนาด 1 kW

เป็นการเอาวงจรทั้ง 3 ภาคส่วนมารวมกันเป็นระบบควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ดังภาพที่ 3.11

โดยในโปรแกรม MATLAB/Simulink แยกการทำงานออกเป็นส่วนๆดังนี้

1. Wind Turbine ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแรงดันกระแสสลับ 48 V 3 Phase 50 Hz และมีการจำลองการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะแรงดันต่างกัน
2. Rectifier ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแส 3 เฟส เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(AC-DC)
3. Boost converter ทำหน้าที่เป็นวงจรทบระดับแรงดันหรือวงจรแปลงผันไฟตรง (DC-DC Converter) ส่วนที่ 1 ซึ่งจะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีแรงดันมีค่ามากกว่าอินพุต ซึ่งแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรนี้มีค่าเท่ากับ 100 V

4. PI Controller ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณทางออก (Output) ของระบบกับสัญญาณทางเข้า (Input) ผลจากการเปรียบเทียบนั้นจะนำไปสร้างสัญญาณใหม่เพื่อควบคุมให้ระบบลดค่าผิดพลาดลงให้เป็นศูนย์

5. Inverter ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-AC)

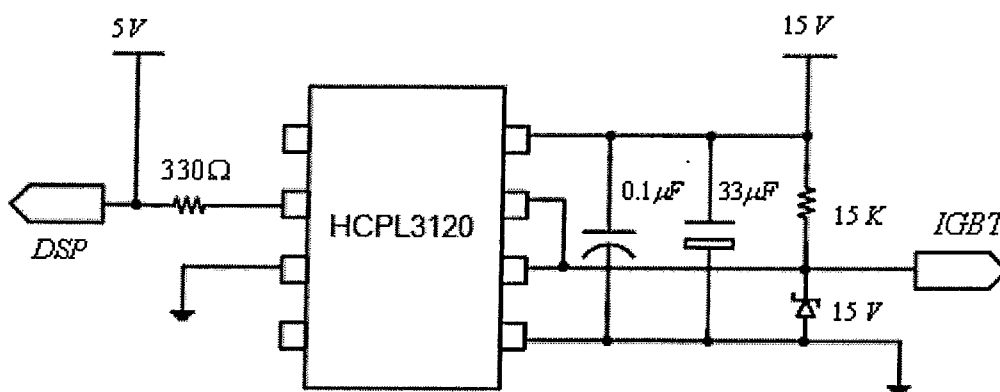
6. Load ทำหน้าที่เป็นโหลดขนาด 1 kW

7. Measurement ทำหน้าที่เป็นตัววัดแรงดัน และรูปคลื่นสัญญาณต่างๆ

3.3.4.6 วงจรขับนำและตรวจจับสัญญาณ

3.3.4.6.1 วงจรขับนำสัญญาณ

การควบคุมการทำงานของสวิตช์ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ทำการแยกแยะระหว่างขาเกิดกับสัญญาณควบคุมที่ถูกสร้างขึ้นจากตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลในการแยกกันของสัญญาณนี้ ก็เพื่อต้องการแยกกราวด์ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรอันเกิดจากการใช้กราวด์เดียว อุปกรณ์ที่ใช้แยกกราวด์จะเลือกใช้ไอซีแยกระบบด้วยแสง (Opto Coupler) เบอร์ HCPL3120 จำนวน 7 ตัวสำหรับวงจรทบทระดับแรงดัน และสำหรับอินเวอร์เตอร์ โดยแสดงวงจรดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 วงจรขับเกิดสำหรับวงจรแปลงผันกำลังงาน

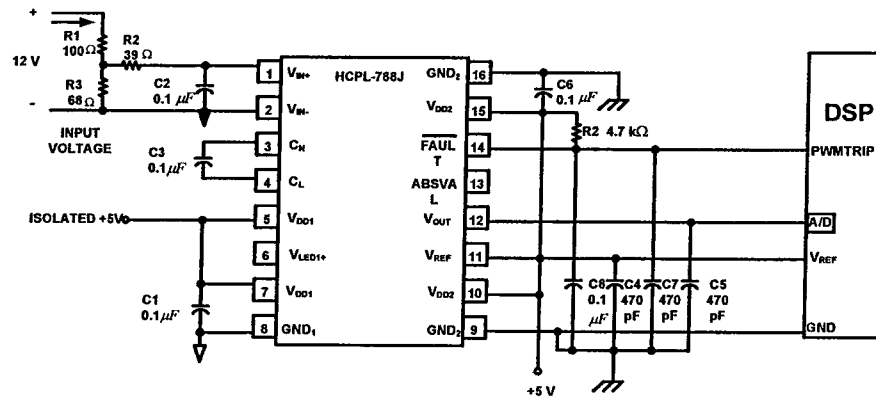
3.3.4.6.2 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน

เนื่องจากแรงดันด้านออกของวงจรทบทระดับ 100 V ในที่นี้จะออกแบบให้ HCPL-788J วัดค่าแรงดันสูงสุดที่ 100 V ซึ่งจะต้องแบ่งแรงดันเพื่อให้แรงดันตกคร่อม R1 ที่ใช้เป็นแรงดันอินพุต (V_{sense}) ให้กับ HCPL-788J มีค่าอยู่ในช่วง 0-50 mV โดยตำแหน่งตัวต้านทาน R1 แสดงดังภาพที่ 3.13 โดยตัวต้านทาน R1 สามารถหาค่าได้จากสมการแบ่งแรงดัน

$$V_{\text{sense}} = \frac{R_1}{R+R_1} V_{\text{boost}}$$

$$50\text{mV} = \frac{R_1}{R+R_1} + 100$$

เลือก $R = 100 \text{ k}\Omega$ จะ $R_1 = \frac{50 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^{-3}}{100} = 50 \text{ }\Omega$ ดังนั้นเลือกใช้ $R_1 = 50 \text{ }\Omega$



ภาพที่ 3.13 วงจรการตรวจจับสัญญาณแรงดัน

3.3.4.6.3 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

การพัฒนาด้านการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ที่มีความเร็วสูง ทำให้มีการคิดค้นประดิษฐ์ตัวประมวลผลที่ใช้สำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล หรือที่เรียกว่า ดีเอสพี (DSP) โดยตัวประมวลผลดังกล่าวจะเน้นที่ความเร็วของคำสั่งทางคณิตศาสตร์ ในปัจจุบันที่บริษัทผู้ผลิตชิปดีเอสพีอยู่หลายบริษัท และชิปของแต่ละบริษัทยังแบ่งตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันไป ในโครงการนี้ได้เลือกใช้ชิปของบริษัท Analog Device เบอร์ ADMCF326 โดยมีรายละเอียดต่างๆดังที่จะกล่าวต่อไป

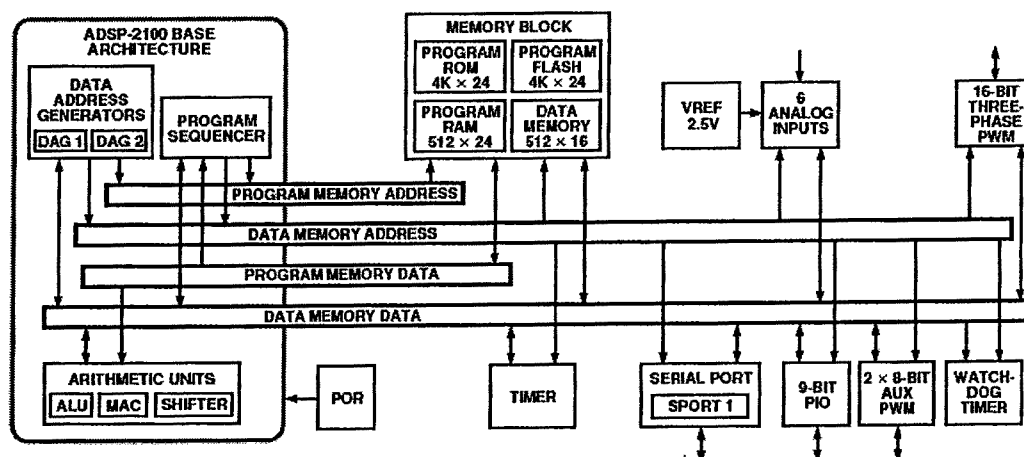
คุณลักษณะของ ADMCF326BST

ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบอร์ ADMCF326 ของบริษัท Analog Device มีโครงสร้างของตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นแบบจุดทศนิยมคงที่ขนาด 16 บิต (16 bit fixed-point digital signal processing) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

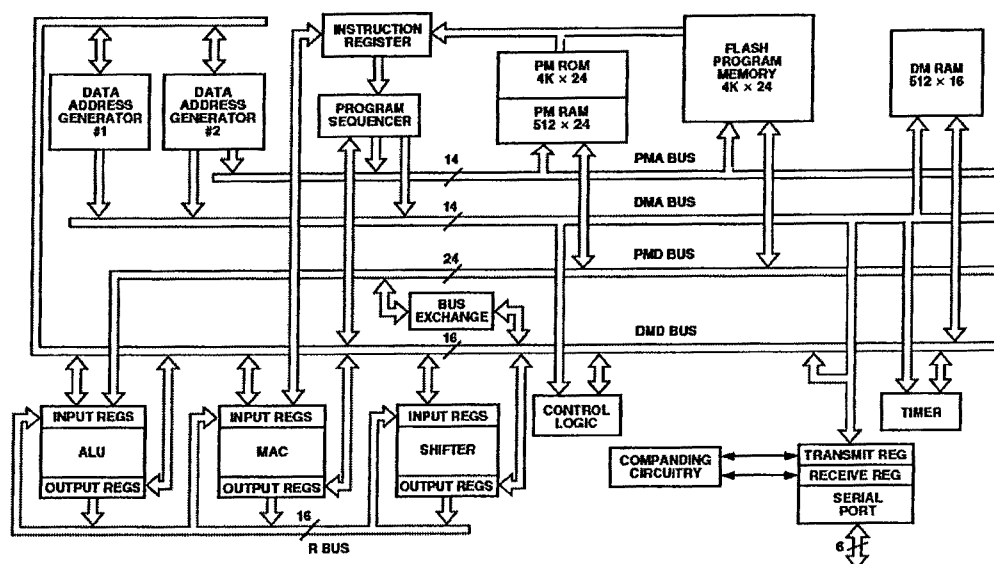
- เป็นตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต ใช้แรงดันไฟเลี้ยง 5 โวลต์
- ความเร็วในการประมวลผล 20 MIPS (ล้านคำสั่งในหนึ่งวินาที) ต่อ 1 แมกซีนไซเคิล
- ฮาร์ดแวร์การคูณแบบขนานขนาด 16 บิต มีผลลัพธ์เป็น 32 บิต
- มี Accumulator ขนาด 32 บิต และ Arithmetic logic unit ขนาด 32 บิต
- มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตขนาด 24 บิต
- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแรม ขนาด 512 x 24 บิต แบบรอม ขนาด 4k x 24 บิต
- หน่วยความจำข้อมูลแบบแรม ขนาด 512 x 16 บิต

- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช ขนาด 4k x 24 บิต
- ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 12 บิต จำนวน 7 ช่อง รับค่าอนาล็อกได้ 4 ช่องในเวลาเดียวกัน
- ตัวสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse width modulation, PWM) ขนาด 16 บิต
- มีตัวโปรแกรมการประวิงเวลา (Dead time) และตัวยกเลิกพัลส์ที่แคบ (Narrow Pulse Deletion)
- มีขาทรูปของพีดับเบิลยูเอ็มจากภายนอก (External PWM Trip)
- มีย่านอุณหภูมิการใช้งานตั้งแต่ -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส
- มีปริโปรแกรมฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์
- ติดต่อกับดีบั๊กเจอร์ (Debugger) ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ด้วยบอด (Baud) แบบอัตโนมัติ

ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบอร์ ADMCF326BST จะประกอบไปด้วยระบบประมวลผลอิสระ 3 ชุด คือ ส่วนประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic and Logic Unit; ALU) ฮาร์ดแวร์การคูณ และฮาร์ดแวร์การบวก (Multiplier/Accumulator; MAC) และฮาร์ดแวร์การชิฟท์ (Shift) โดยกระบวนการประมวลผลจะเป็นแบบ 16 บิต โดยมีหน่วยความจำทั้งแบบรอม แบบแรมและแบบแฟลชติดต่อกับดีบั๊กเจอร์ (Debugger) ผ่านพอร์ตอนุกรม



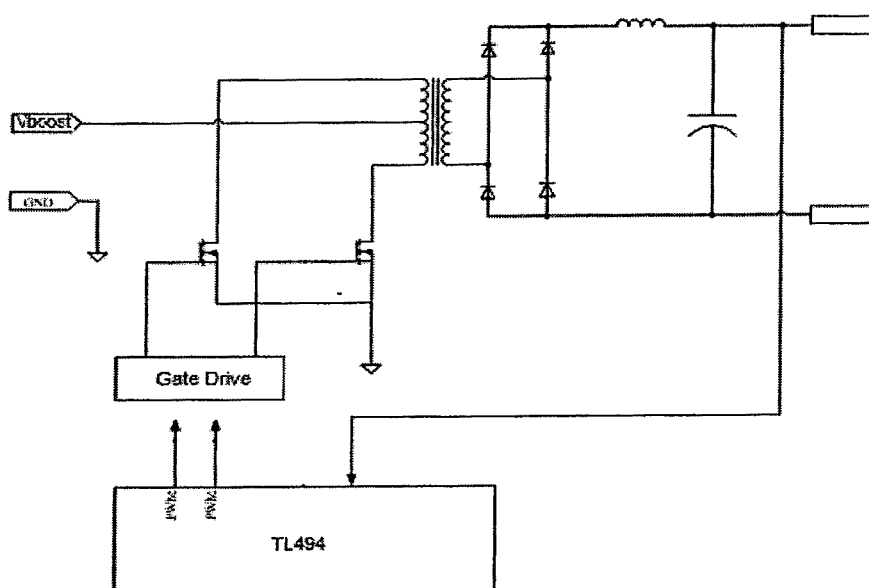
ภาพที่ 3.14 โครงสร้างของตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบอร์ ADMCF326BST



ภาพที่ 3.15 สถาปัตยกรรมของตัวประมวลผลหลักของ ADMCF326BST

3.3.5 การออกแบบวงจรพุ่ม-พูลคอนเวอร์เตอร์

โดยผู้วิจัยได้ใช้วิธีการด้วยการออกแบบ และสร้างวงจรพุ่ม-พูลคอนเวอร์เตอร์ โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีดำเนินโครงการดังนี้



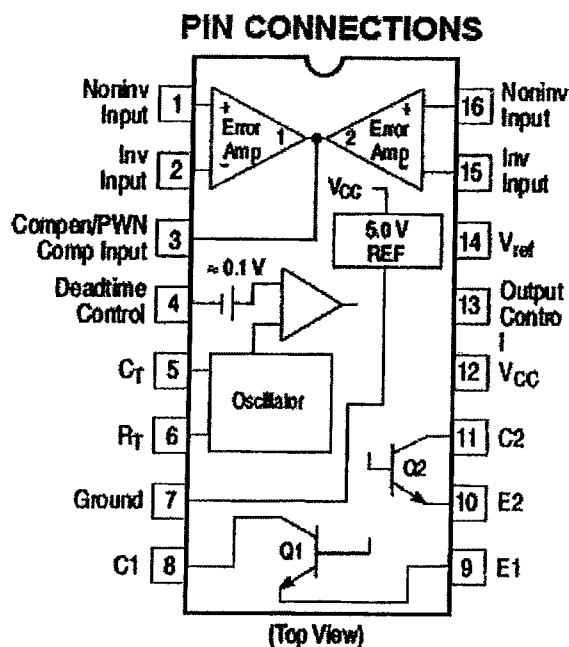
ภาพที่ 3.16 โครงสร้างพื้นฐาน และส่วนประกอบของวงจรพุ่ม-พูล คอนเวอร์เตอร์

3.3.5.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบวงจรควบคุม

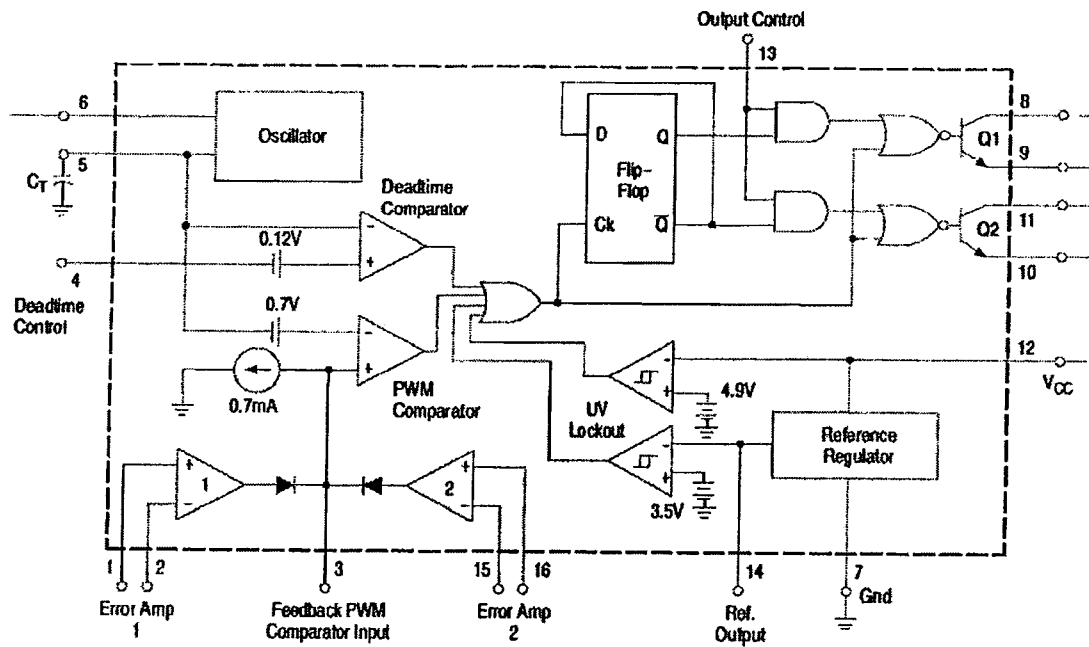
การออกแบบวงจรควบคุมเป็นการออกแบบสัญญาณ เพื่อไปควบคุมการขับสวิตช์ IGBT จะพิจารณาจากลักษณะว่าจะใช้วงจรว่าจะให้วงจรทำงานแบบใด ในโครงการนี้จะออกแบบให้วงจรทำงานที่ภาคขับกำลังแบบ Push-Pull converter จึงต้องออกแบบให้สัญญาณเอาต์พุตคู่และมีการแยกราวด์ของชุดวงจรควบคุมออกจากชุดไฟสูง ด้วยวิธีการเชื่อมโยงสัญญาณทางแสงเพื่อให้มีความปลอดภัยในการใช้งานและปรับความกว้างพัลส์ และความถี่ให้ได้ตามที่ต้องการด้วยความต้านทานปรับค่าได้

3.3.5.2 การออกแบบวงจรควบคุม

วงจรควบคุมเลือกใช้ไอซี TL494 เนื่องจากไอซีเบอร์นี้สามารถใช้ในการควบคุมวงจรพุ่ม-พูล คอนเวอร์เตอร์และสามารถควบคุม PWM ของวงจรควบคุม โดยภายในตัวไอซีจะมีแรงดันอ้างอิง, และวงจรเปรียบเทียบ 2 วงจร, วงจรผลิตความถี่, PWM, flip flop และเอาต์พุต



ภาพที่ 3.17 แสดงขาต่างๆภายในตัวไอซี



ภาพที่ 3.18 แสดงโครงสร้างภายในตัวไอซี

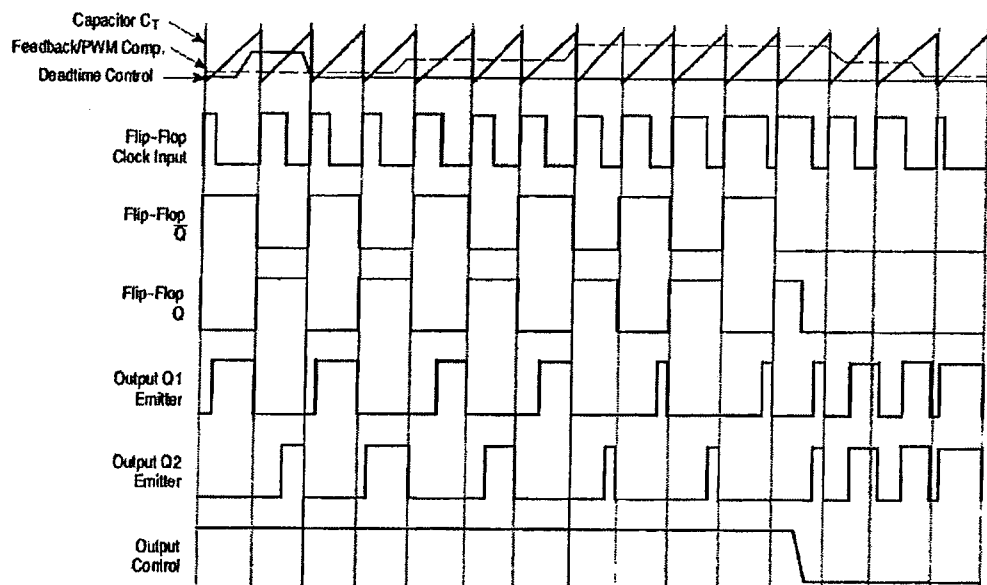


Figure 2. Timing Diagram

ภาพที่ 3.19 แสดงสัญญาณที่ขาต่างๆของตัวไอซี TL494

คำนวณหาความถี่ที่ใช้

$$f_{osc} \approx \frac{1.1}{R_T C_T} \quad \text{..... (3.1)}$$

แต่จาก Data sheet ของ TL494 การใช้เอาต์พุตของไอซีเพื่อขับวงจร ให้ทำงานแบบ push-pull

ความถี่

$$\frac{f_{out}}{f_{osc}} = 0.5$$

ดังนั้นสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาความถี่เอาต์พุตจึงเท่ากับ

$$f_{out} = \frac{f_{osc}}{2} \quad \text{..... (3.2)}$$

ดังนั้นความถี่เอาต์พุตเท่ากับ

$$f_{out} = \frac{1.1}{2R_T C_T} \quad \text{..... (3.3)}$$

ในการออกแบบเลือกความถี่ในการทำงานเท่ากับ 10 kHz และเลือกค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 1nF การหาค่าความต้านทาน R_T จึงเท่ากับ

$$R_T = \frac{1.1}{2C_T f_{out}} \quad \text{..... (3.4)}$$

$$R_T = \frac{1.1}{2 \times 1 \times 10^{-9} \times 10 \times 10^3} \quad \text{..... (3.5)}$$

$$R_T = 55k\Omega$$

3.3.5.3 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับวงจรพวง-พูลคอนเวอร์เตอร์

แรงดันด้านเข้า (V_{in}) 100 V

กระแสด้านออก (I_o) 2 A

ความถี่สวิตชิง (f_s) 10 kHz

แรงดันด้านออก (V_o) 537 V $\pm 10\%$

3.3.5.4 หากำลังไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

$$P_{o2} = (V_o + V_{ri} + V_D) \cdot I_o = (537 + (537 \cdot 10\%) + 1.5) \cdot 2 = 1184 \text{ W}$$

3.3.5.5 การเลือกขนาดของแกนแม่เหล็ก

$$A_p = A_c A_w \frac{\sqrt{2} \cdot P_{o2} \cdot \left(1 + \frac{1}{\eta}\right)}{4 J K_w B_w f_s} \quad \dots\dots (3.12)$$

เลือกค่าที่ออกแบบหม้อแปลงปลอดภัย

$$\eta = 0.8$$

$$J = 3 \text{ A/mm}^2$$

$$K_w = 0.4$$

$$B_m = 0.2 \text{ T}$$

แทนค่าในสูตร

$$A_p = \frac{\sqrt{2} \times 882 \times \left(1 + \frac{1}{0.8}\right)}{4 \times 3 \times 0.4 \times 0.2 \times 35 \times 10^3} \quad \dots\dots (3.13)$$

$$A_p = 0.0835269 \text{ m}^2$$

$$A_p = 83526.9 \text{ mm}^4$$

ทำการเลือกแกนแม่เหล็กจากตาราง โดยต้องเลือก A_p ในตารางให้มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นทำการเลือกแกนแม่เหล็กเบอร์ E65/32/13

$$A_p = 142840 \text{ mm}^4, A_w = 537 \text{ mm}^2, A_c = 266 \text{ mm}^2$$

3.3.5.6 หาจำนวนรอบของหม้อแปลง

จำนวนรอบด้านปฐมภูมิ

$$N_1 = \frac{V_{in,max}}{4A_c B_m f_s} \quad \dots\dots (3.14)$$

$$N_1 = \frac{100 + (100 \times 10\%)}{4 \times 266 \times 10^{-6} \times 0.2 \times 10 \times 10^3}$$

$$N_1 = 51 \text{ รอบ}$$

เลือก $N_1 =$ รอบ

$$n = \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_o'}{V_{in,min} (2D_{max})} \quad \dots\dots (3.15)$$

เลือกใช้ $D_{max} = 0.45$

$$\eta = \frac{537}{(100 - (100 \times 10\%)) \times 2 \times 0.45}$$

$$\eta = 5.1$$

$$N_2 = \eta N_1$$

$$N_2 = 5.1 \times 55 = 273 \text{ รอบ}$$

เลือก $N_2 = 273$ รอบ

3.3.5.7 การเลือกขนาดลวดตัวนำ

ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสจะมีค่าเท่ากับ

$$I_2 = I_o \sqrt{D_{\max}} \quad \text{..... (3.16)}$$

$$I_2 = 2 \times \sqrt{0.45} = 1.35 \text{ A}$$

$$I_1 = nI_2$$

$$I_1 = 5.1 \times 1.34 = 6.83 \text{ A}$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของขดลวด จาก

$$a_1 = \frac{I_1}{J} \quad \text{..... (3.17)}$$

$$a_1 = \frac{6.83 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 2.27 \text{ mm}^2$$

$$a_2 = \frac{I_2}{J}$$

$$a_2 = \frac{1.35 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 0.45 \text{ mm}^2$$

จากตาราง ทำการเลือกขนาดขดลวดที่มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ
จะได้ขดลวด a_1 เบอร์ SWG15 (2.54 mm^2) และขดลวด a_2 เบอร์ SWG20 (0.65 mm^2) จำนวน