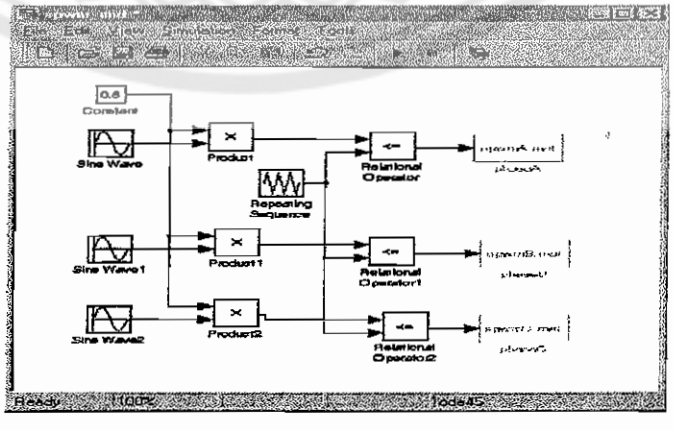
บทที่ 3
การออกแบบและวิเคราะห์สัญญาณโดยโปรแกรม MATLAB

โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบนี้ใช้โปรแกรมแมตแลปและรวมไปถึงในส่วนของซิมูลิงค์ ซึ่งมีความสะดวกในการเขียนบล็อคไดอะแกรมและสามารถพัฒนาโปรแกรมได้ง่ายและรวดเร็ว การเขียนโปรแกรมในโครงงานนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนสร้างสัญญาณควบคุมพีดับเบิลยูเอ็ม โดยใช้ส่วนของ ซิมูลิงค์ และส่วนวิเคราะห์คลื่นสัญญาณซึ่งอยู่ในรูปของไฟล์โปรแกรมแมตแลป

3.1 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมควบคุม เทคนิคพีดับเบิลยูเอ็มแบบซายน์นูซอยดอล

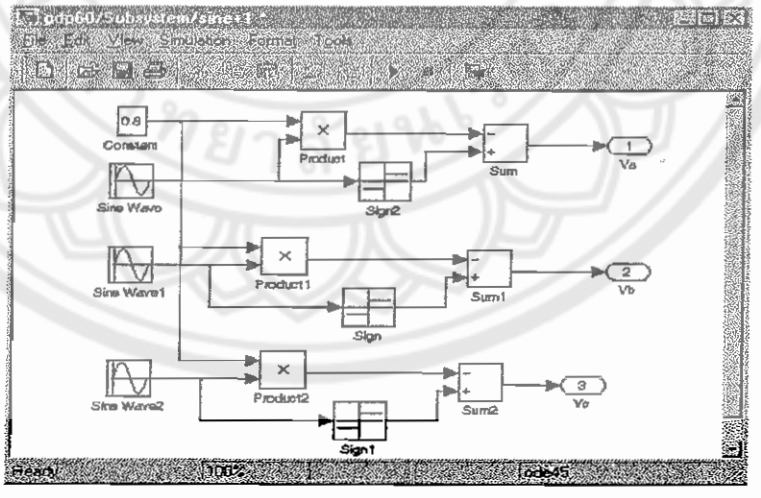
เริ่มในส่วนของ SIMULINK นำสัญญาณซายน์อ้างอิงมาคูณด้วยค่ามอดูเลชั่นอินเด็กซ์จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมแล้วนำสัญญาณควบคุมที่ได้เก็บเป็นไฟล์นามสกุลจุดแมตเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้กับส่วนการเขียนโปรแกรมในแมตแลปได้ ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดในบล็อกที่เป็นซายน์เวฟในโครงงานนี้จะให้มีความถี่ 50 Hz ซึ่งเท่ากับ 314.15 เรเดียนต่อวินาที ส่วนเฟสจะมีหน่วยเรเดียนซึ่งในเฟสที่ 1 จะให้เท่ากับ 0 จากนั้นทำการขยายให้ครบทั้ง 3 เฟส โดยการสร้างซายน์เวฟที่มีการเลื่อนเฟสออกไป 120 และ 240 องศา พารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดเฟสจะเป็น $2\pi/3$ และ $-2\pi/3$ เรเดียน เท่ากับ 2.094395102 และ –2.094395102 เรเดียน ส่วนความถี่จะเท่ากับในเฟสแรก แล้วทำตามขั้นตอนเหมือนที่ทำในเฟสที่ 1 ก็จะได้สัญญาณควบคุมที่เก็บเป็นไฟล์นามสกุลจุดแมตทั้งสามเฟสที่จะนำไปแปลงเป็นไฟล์แอสแซมบลีในโปรแกรมแมตแลป



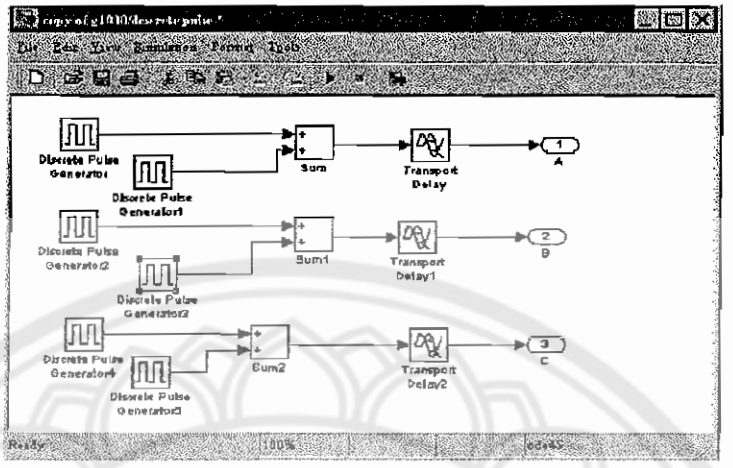
รูปที่ 3.1 การสร้างบล็อกในซิมูลิงค์ของเทคนิค SPWM

3.2 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมสัญญาณควบคุม (GDPWM)

สัญญาณอ้างอิง GDPWM นั้นเป็นรูปคลื่นที่ต้องสร้างขึ้นด้วยการนำสัญญาณที่เรียกว่าซีโร่ซีเคว้นมาบวกเข้ากับสัญญาณซายน์เวฟดังนั้นเราจึงต้องทำการสร้างสัญญาณซีโร่ซีเคว้นขึ้นมาก่อนด้วยการนำซายน์เวฟทั้ง 3 เฟสที่คูณด้วยค่ามอดูเลชั่นอินเด็กซ์แล้วมาลบออกจากสัญญาณสแควร์เวฟที่มีความถี่เดียวกันแสดงในรูปที่ 3.1 รูปคลื่นที่ได้นี้จำนำไปผ่านสวิตซ์เพื่อเลือกช่วงคลื่นที่จะนำมาทำเป็นซีโร่ซีเคว้น สวิตซ์จะทำการเลือกช่วงคลื่นก็ต่อเมื่อมีสัญญาณทริกเข้ามา สัญญาณทริกสร้างโดยตีสกรีทพัลส์โดยกำหนดพารามิเตอร์ในบล็อคให้ 1 คาบแบ่งเป็น 12 ช่วง และกำหนดให้ 1 พัลส์ มีค่าเท่ากับ 2 ช่วงของการแบ่งและแอมปลิจูดเท่ากับ 1 และกำหนดให้บล็อกแรกทำงานเมื่อเริ่มช่วงที่ 1 และบล็อกที่สองทำงานเมื่อเริ่มช่วงที่ 7 จากนั้นผ่านบล็อกเลื่อนเฟสเพื่อที่จะสามารถเลือกค่ามุมฟาย (φ) ซึ่งเป็นมุมในการเริ่มสวิตซ์ จะนำสัญญาณที่ได้ไปทริกสวิตซ์ตัวที่ 1 จากนั้นทำการเลื่อนเฟสของสัญญาณเป็น 120 และ 240 องศา จะได้สัญญาณทริกสวิตซ์ตัวที่ 2 และ 3 ในการกำหนดพารามิเตอร์ของบล็อกดีเลย์นั้นการเลื่อนจะเลื่อนออกไปในหน่วยวินาที ดังนั้นจึงต้องทำมุมเฟสให้เป็นหน่วยของวินาที คือ 1 คาบ (360 องศา) ใช้เวลาเท่ากับ 0.02 วินาที (ความถี่ 50 Hz) ดั้งนั้นการเลื่อนเฟส 30, 120 และ 240 องศา จะเป็นเวลาดีเลย์เท่ากับ 0.0016666, 0.0066666 และ 0.0133333 วินาที

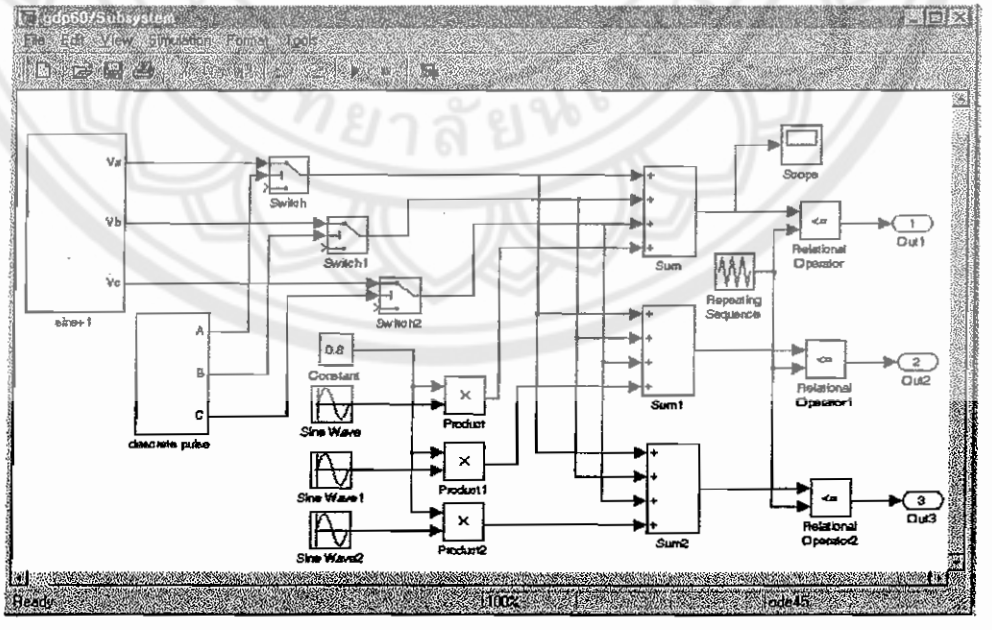


รูปที่ 3.2 การสร้างบล็อกย่อยในการสร้างสัญญาณควบคุม GDPWM ส่วนที่เป็นสแควร์เวฟลบกับสัญญาณซายน์เวฟ



รูปที่ 3.3 การสร้างบล็อกย่อยในการสร้างสัญญาณควบคุม GDPWM ส่วนที่สร้างดีสกรีทพัลส์

นำสัญญาณที่ได้จากการสวิตซ์มารวมเข้าด้วยกันก็จะได้สัญญาณซีโร่ซีเควัน นำสัญญาณซีโร่ซีเควันไปบวกกับซายน์เวฟที่ความถี่และแอมปลิจูดเท่ากับซายน์เวฟในตอนต้นทั้งสามเฟสก็จะได้สัญญาณอ้างอิงของ GDPWM ทั้งสามเฟสแล้วนำสัญญาณอ้างอิงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณแคร์เรียสามเหลี่ยมก็จะได้สัญญาณควบคุม GDPWM แล้วเก็บไว้ในไฟล์นามสกุลจุดแมตก่อนที่จะนำไปแปลงเป็นไฟล์แอสแซมบลีในโปรแกรมในแมตแลป



รูปที่ 3.4 การสร้างบล็อกในซิมูลิงค์ของเทคนิค GDPWM

3.3 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมการแปลงไฟล์จุดแมทเป็นไฟล์แอสเซมบลีและเฮกซ์ไฟล์

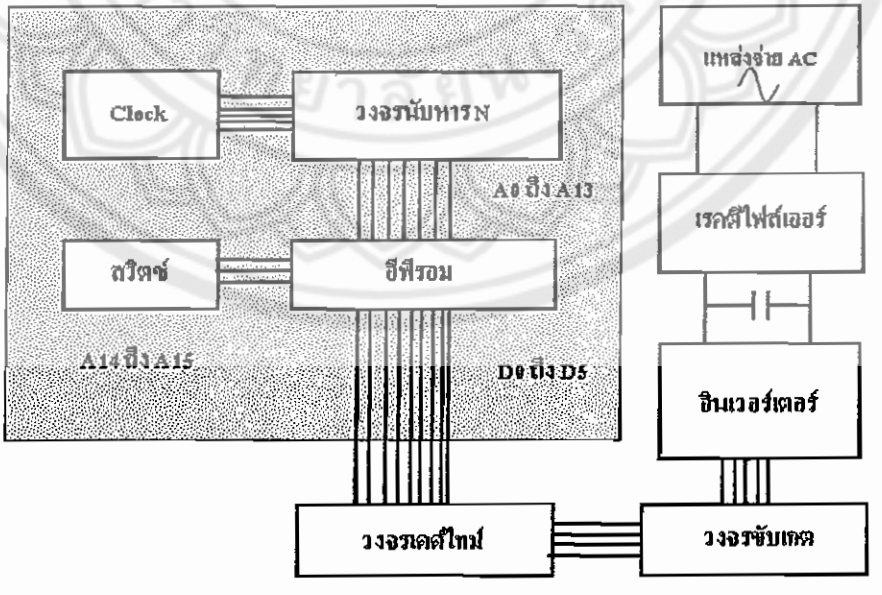
ขั้นตอนนี้เป็นการเขียนโปรแกรมทั้งหมดให้ศึกษาได้จากภาคผนวก

3.4 การออกแบบวงจรควบคุมและวงจรกำลัง

ในวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตช์ วงจรควบคุมจะใช้วงจรดิจิตอลที่สามารถนำข้อมูลที่โปรแกรมในอีพีรอมมาใช้ในการควบคุมโดยจะต่อเข้ากับวงจรเดด์ไทม์ที่มีเวลาเดด์ไทม์ 1 ไมโครวินาที เนื่องจากโปรแกรมได้ออกแบบเดด์ไทม์เก็บไว้ในแพทเทรินแล้ว 3 ไมโครวินาที รวมแล้วเป็น 4 ไมโครวินาที วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบในโครงงานนี้มีขนาด 400 โวลต์แอมป์ แรงดันดีซีลิงค์ 250 โวลต์ กระแส 2 แอมป์ ความถี่การสวิตช์ 4 กิโลเฮริทซ์ ในส่วนของวงจรควบคุมที่ออกแบบจะเป็นวงจรดิจิตอลที่เปลี่ยนความถี่การสวิตช์หรือค่ามอดูเลชั่นอินเด็กซ์รวมถึงเดด์ไทม์ตามข้อมูลที่อยู่ในอีพีรอมซึ่งได้ข้อมูลมาจากโปรแกรมที่ออกแบบขึ้น ดังนั้นการทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะของรูปคลื่นจึงทำได้ง่ายและรวดเร็ว

3.5 บล็อคไดอะแกรมและการทำงานของวงจรควบคุม

บล็อคไดอะแกรมของวงจรทดลองที่ออกแบบในโครงงานนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 บล็อคไดอะแกรมของวงจรอินเวอร์เตอร์

3.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและคุณสมบัติของรูปคลื่นสัญญาณ

การวิเคราะห์ในเรื่องของค่าดัชนีที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตทั้งแรงดันและกระแสที่ใช้ในโครงงานนี้จะใช้ทฤษฎีของอนุกรมฟูเรียร์ซึ่งเป็นอนุกรมที่สามารถใช้วิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณที่ไม่เป็นรูปซายน์ได้ ซึ่งตามทฤษฎีสามารถอธิบายได้ดังนี้

ฟังก์ชั่นคาบ $f(t)$ ทั่วไป จะสามารถเขียนอยู่ในรูปอนุกรมได้ดังสมการที่ 3.1

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)] \quad (3.1)$$

เมื่อ

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_{\frac{-T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t)dt$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{\frac{-T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t)\cos(n\omega_0 t)dt$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_{\frac{-T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t)\sin(n\omega_0 t)dt \quad (3.2)$$

ในส่วนของค่า a_n และ b_n จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบซายน์และโคซายน์ตามลำดับ ซึ่งจากการรวมสมการทางคณิตศาสตร์ สามารถเขียนได้อีกรูปหนึ่งในสมการที่ 3.3

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (3.3)$$

เมื่อ

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \text{ และ } \theta_n = \tan^{-1}(\frac{a_n}{b_n}) \quad (3.4)$$

จากสมการที่ 3.1 ถึง 3.4 เมื่อนำไปวิเคราะห์รูปคลื่นจะได้ค่าดัชนีต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 นิยามของดัชนีและปริมาณที่กำหนดคุณสมบัติและคุณภาพรูปคลื่นเอาท์พุท

ค่า	นิยาม	ค่า	นิยาม
THD_v	$100*\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}$ (%)	THD_i	$100*\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$ (%)
V_{1rms}	$(V_{peak})/\sqrt{2}$	I_{1rms}	$(I_{peak})/\sqrt{2}$
V_{rms}	$\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2}$	I_{rms}	$\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$
DF_1	$100*\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{V_h^2}{h^2}}}{V_1}$ (%)	DF_2	$100*\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{V_h^2}{h^4}}}{V_1}$ (%)

เมื่อ V_h : ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ฮาร์มอนิคลำดับที่ h (r.m.s.)

I_h : ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ฮาร์มอนิคลำดับที่ h (r.m.s.)

THD_v : ค่า total harmonics distortion ของแรงดัน

THD_i : ค่า total harmonics distortion ของกระแส

DF_1 : ค่าดิสทอร์ชั่นแฟคเตอร์ด้านฝั่งเอซี สำหรับที่มีการฟิลเตอร์แบบลำดับที่ 1

DF_2 : ค่าดิสทอร์ชั่นแฟคเตอร์ด้านฝั่งเอซี สำหรับที่มีการฟิลเตอร์แบบลำดับที่ 2

3.6.1 ค่า Total Harmonic Distortion (*THD*)

ทั้งของแรงดัน (THD_v) และของกระแส (THD_i) เป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้คุณภาพของความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุทที่แตกต่างจากองค์ประกอบแรงดันหรือกระแสความถี่มูลฐาน ในการหาค่า *THD* นี้จะต้องอาศัยการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีฟูเรียร์ เพื่อหาองค์ประกอบความถี่มูลฐานและฮาร์มอนิคของรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุท จึงสามารถนำไปเข้าสูตรและหาค่าออกมาได้เปอร์เซ็นต์ *THD* หากมีค่ามากแสดงว่ารูปคลื่นสัญญาณมีความผิดเพี้ยนมาก

3.6.2 ค่า อาร์.เอ็ม.เอส ขององค์ประกอบความถี่มูลฐาน

ค่า อาร์.เอ็ม.เอส ขององค์ประกอบความถี่มูลฐาน ทั้ง แรงดัน (V_{1rms}) และ กระแส (I_{1rms}) เป็นค่าระดับแรงดันและกระแส อาร์.เอ็ม.เอสที่ความถี่มูลฐานซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งานของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ องค์ประกอบนี้จะเป็นองค์ประกอบที่สร้างกำลังไฟฟ้าและเป็นองค์ประกอบที่ต้องการใช้งาน

ค่า อาร์.เอ็ม.เอส ของแรงดัน (V_{rms}) และ กระแส (I_{rms}) เอาต์พุทเป็นค่าระดับแรงดันและกระแส อาร์.เอ็ม.เอสของสัญญาณเอาต์พุท ซึ่งเป็นค่ารวมขององค์ประกอบทุกตัวทั้งความถี่มูลฐานและฮาร์มอนิค

3.6.3 ค่าดิสทอร์ชั่นแฟคเตอร์

สำหรับค่า DF_2 ที่นิยามในโครงงานนี้ เป็นค่าดิสทอร์ชั่นแฟคเตอร์ที่มีตัวหารลดทอนสัญญาณขนาดเท่ากับ h^2 เมื่อ h เป็นเลขลำดับของฮาร์มอนิค ค่านี้จะใช้ในการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนจากการต่อโหลดชนิดฟิลเตอร์แบบลำดับที่ 2 (Second-Order Filter) ตัวอย่างเช่นแหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง (UPS) โดยมากมักมีวงจรฟิลเตอร์แบบ LC ชนิดลำดับที่ 2 อยู่ระหว่างชุดอินเวอร์เตอร์กับโหลด ซึ่งฟิลเตอร์ดังกล่าวจะมีการลดทอนฮาร์มอนิคแปรผันตามกำลังสองของลำดับฮาร์มอนิค (h) ทำนองเดียวกัน สำหรับโหลดชนิดฟิลเตอร์ลำดับที่ 1 เช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำเอซี ซึ่งจะมีอินดักแตนซ์ที่ตัวฮาร์เมเจอร์และลีดเกจ อินดักแตนซ์เหล่านี้เปรียบเหมือนกับการลดทอนสัญญาณฮาร์มอนิคโดยแปรผันตามลำดับฮาร์มอนิค (h) ดังนั้นในการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนจึงใช้ค่า DF_1