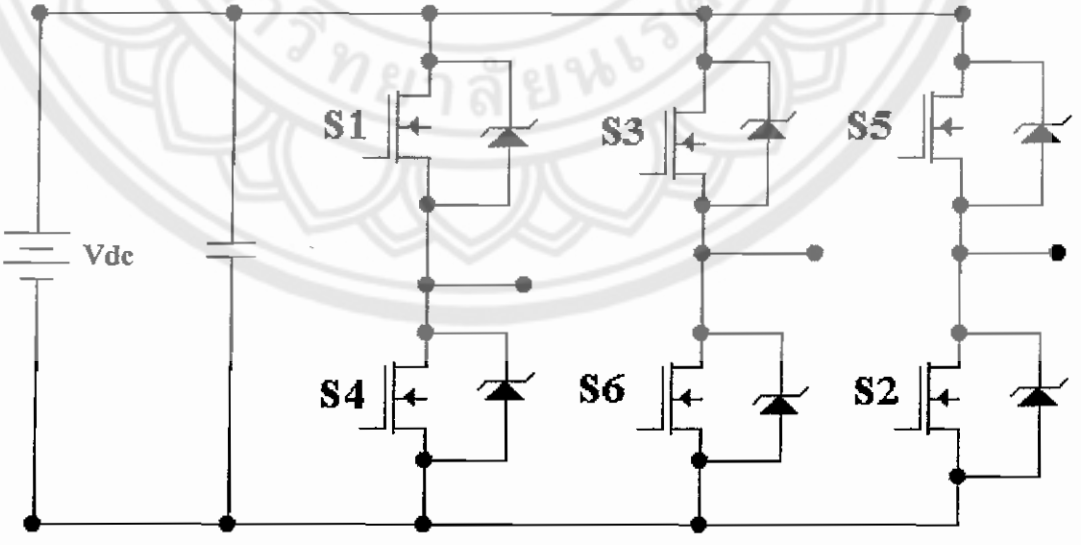
# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

จากบทนำได้ทราบแล้วว่าอินเวอร์เตอร์ คือ วงจรเปลี่ยนไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับ อินเวอร์เตอร์จะส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงให้กับโหลดที่ใช้ไฟกระแสสลับซึ่งควบคุมแรงดันและความถี่ได้ ซึ่งจะนำไปใช้ในงานต่างๆ เช่น ปรับความเร็วมอเตอร์กระแสสลับ, เครื่องจ่ายไฟสำรองและทำให้สามารถใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอร์รี่รถยนต์ได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

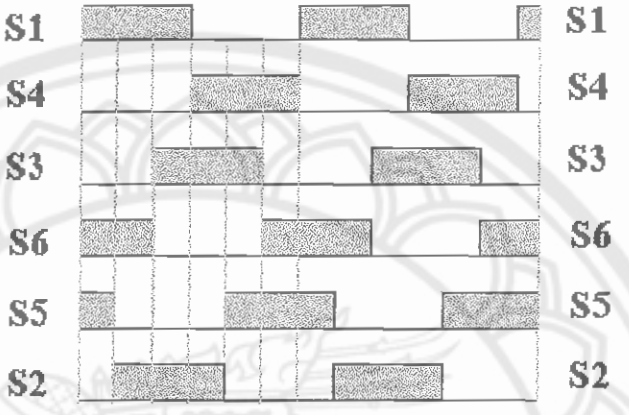
## 2.1 อินเวอร์เตอร์สามเฟส

จากรูปที่ 2.1 เป็นอินเวอร์เตอร์สามเฟสซึ่งเป็นวงจรพื้นฐานที่ใช้เปลี่ยนไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับ เอาท์พุทกระแสสลับนั้นได้จากการปิดและการเปิดสวิตช์ในลำดับที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.1 แสดงวงจรสวิตช์ซึ่งสวิตช์อาจเป็นทรานซิสเตอร์, ไทริสเตอร์หรืออย่างอื่นก็ได้แต่สำหรับในโครงงานนี้จะใช้เพาว์เวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตช์เพราะสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้




รูปที่ 2. 1 อินเวอร์เตอร์สามเฟส

จากรูปเมื่อพิจารณาจะพบว่า S1 กับ S4 จะต้องไม่ทำงานพร้อมกัน S3 กับ S6 และ S5 กับ S2 ก็เช่นกันเพราะถ้าทำงานพร้อมกันจะทำให้ลัดวงจรที่แหล่งจ่ายไฟดีซี ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์จะสลับกันทำงานเช่น ดังรูปที่ 2.2




รูปที่ 2.2 ลำดับการสวิตช์ ( 1 ช่องย่อยห่างกัน 60 องศา )

ในความเป็นจริงสวิตช์จะไม่เปิดหรือปิดในทันที ดังนั้นในการออกแบบจะต้องออกแบบช่วงเวลาที่เรียกว่า เดด์ไทม์ เข้าไปด้วยเพื่อความปลอดภัยซึ่งจะกล่าวต่อไป

จากรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 สวิตช์ทุกตัวสามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจากการเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอ้างอิง ( ซายน์เวฟ ) กับสัญญาณแคร์เรียสามเหลี่ยม ( กรณีเทคนิคแบบซายน์นูซอยดอลพัลส์วิธมอดดูเลชั่น ) โดยที่สัญญาณที่ได้จะนำไปควบคุมสวิตช์โดยที่สวิตช์ S1 และ S4 ต้องเป็นอินเวอร์สกันทำให้สวิตช์ทั้งสองไม่ทำงานพร้อมกัน

## 2.2 ทฤษฎีพื้นฐานในการวิเคราะห์และสร้างสัญญาณพัลส์วิธมอดดูเลชั่น

การสร้างสัญญาณมอดูเลชั่นทางความกว้างของรูปคลื่นซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณพาหะที่มีความถี่สูง ในโครงงานชิ้นนี้จะทำการศึกษา 2 รูปแบบคือ **เทคนิคการสวิตช์แบบซายน์นูซอยดอลพัลส์วิธมอดดูเลชั่นเป็นการเปรียบเทียบรูปคลื่นซายน์กับสัญญาณความถี่สูงและเทคนิคและเทคแบบเจนเนอร์รอลไรซ์เซชั่นดิสคอนทินิวอัสพัลส์วิธมอดดูเลชั่นเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณพาหะกับรูปคลื่นที่ได้จากซีโร่ซีเคว้นมาบวกกับรูปคลื่นซายน์**

โดยที่ความถี่ของการสวิตช์ของเทคนิคซายน์นูซอยดอลพัลส์วิธมอดดูเลชั่นนั้นจะเท่ากับความถี่ของสัญญาณพาหะ แต่ในการสวิตช์ของเทคนิคแบบเจนเนอร์รอลไรซ์เซชั่นดิสคอนทินิวอัสพัลส์วิธมอดดูเลชั่นนั้นจะมีช่วงพักการสวิตช์ไป 120 องศา ข้อดีของการสวิตช์แบบซายน์นูซอยดอลพัลส์วิธมอดดูเลชั่นคือสามารถลดขนาดของฮาร์มอนิคลำดับต่ำได้เป็นผลทำให้ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นเอาท์พุทที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ลดน้อยลง แต่ข้อเสียคือให้ค่าองค์ประกอบแรงดันเอาท์พุทของความถี่มูลฐานน้อยลงด้วย ส่วนข้อดีของเทคนิคแบบเจนเนอร์รอลไรซ์เซชั่นดิสคอนทินิวอัสพัลส์วิธมอดดูเลชั่นคือให้ค่าระดับแรงดันเอาท์พุทสูงกว่าเทคนิคซายน์นูซอยดอลพัลส์วิธมอดดูเลชั่นและเนื่องจากมีช่วงพักการสวิตช์ทำให้การสูญเสียในการสวิตช์ลดลง ความร้อนที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์สวิตช์ลดลงทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้น

## 2.3 เทคนิคพีดับเบิลยูเอ็มแบบซายน์นูซอยดอล ( SPWM )

เทคนิคนี้จะใช้หลักการโดยนำรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิงแบบซายน์นูซอยดอลที่มีความถี่เท่ากับความถี่มูลฐานที่ต้องการมาเปรียบเทียบกับสัญญาณแคเรียร์ ( สามเหลี่ยม ) ที่มีความถี่เท่ากับความถี่การสวิตช์ที่ออกแบบไว้ ค่าแอมปลิจูดมอดูเลชั่นอินเด็กซ์จะหมายถึง ค่าอัตราส่วนของขนาดของแอมปลิจูดของรูปคลื่นซายน์อ้างอิงเทียบกับขนาดของแอมปลิจูดของรูปคลื่นแคเรียร์ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิงได้ดังนี้

$$v_{control,a} = m_a \sin(\omega t) \qquad \text{เมื่อ } 0 \le \omega t \le 2\pi \tag{2.1}$$

โดยที่ $m_a = \dfrac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}}$

เมื่อ $\hat{V}_{control}$ คือ ค่าขนาดของแอมปลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิง และ

$\hat{V}_{tri}$ คือ ค่าขนาดของแอมปลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณแคเรียร์

สำหรับการสร้างสัญญาณควบคุมในวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสนั้น จะใช้สัญญาณแคเรียร์เปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง 3 สัญญาณโดยแต่ละสัญญาณจะต่างเฟสกัน 120 องศา ซึ่งจะได้สัญญาณควบคุม 6 สัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณขับเกตของอุปกรณ์สวิตช์ ค่าอัตราส่วนระหว่างความถี่ของสัญญาณแคเรียร์กับสัญญาณอ้างอิงจะนิยามไว้โดยในโครงงานนี้จะใช้ค่า $m_f$ โดยนิยามว่า

$$m_f = \frac{f_{tri}}{f_{control}} \tag{2.2}$$

เมื่อ $f_{control}$ คือ ค่าความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิง และ

$f_{tri}$ คือ ค่าความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณแคเรียร์

ในการออกแบบโดยเลือกค่า $m_f$ ที่เหมาะสมนั้นได้สรุปได้ดังนี้

1. ในกรณีที่ออกแบบค่า $m_f$ ($m_f \leq 21$) ต่ำๆ จะต้องเลือกค่า $m_f$ เป็นเลขคี่เพื่อไม่ให้เกิดฮาร์มอนิคลำดับคู่ขึ้น
2. กรณีค่า $m_f$ ($m_f > 21$) สูง ผลของการเลือกใช้ซิงโครนัสพีดับเบิลยูเอ็มจะมีน้อยจึงอาจใช้การสวิตช์แบบอะซิงโครนัสพีดับเบิลยูเอ็มได้

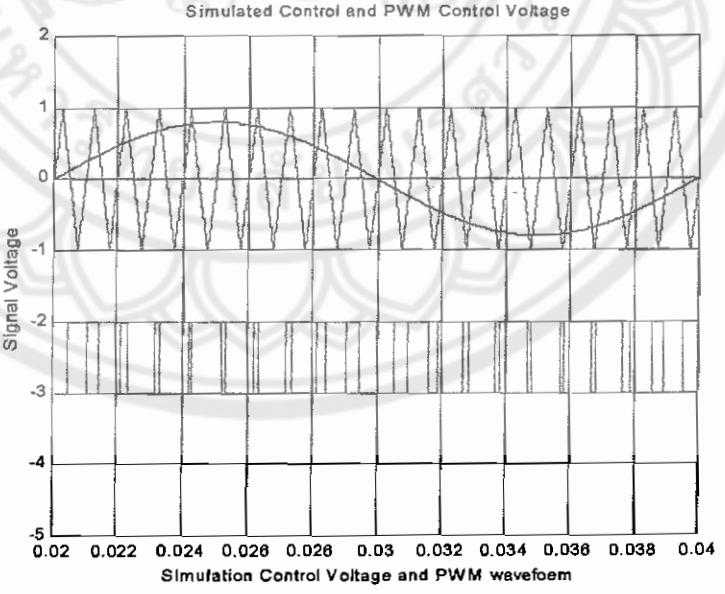
ในการพิจารณาสัญญาณเอาต์พุทแรงดันที่เกิดจากรูปคลื่นนี้สามารถพิจารณาได้ 2 ย่าน คือ ย่านลิเนียร์มอดูเลชั่น ($m_a \leq 1$) เป็นย่านที่แรงดันเอาต์พุทแปรผันตรงแบบเชิงเส้นกับค่าแอมปลิจูดมอดูเลชั่นอินเด็กซ์โดยค่าแรงดันไลน์-ทู-ไลน์เอาต์พุทมีค่าประมาณดังสมการต่อไปนี้

$$V_{LL,rms} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} m_a V_d \tag{2.3}$$

เมื่อ ค่า $V_d$ เป็นค่าระดับแรงดันดีซีลิงค์

จากสมการที่ (2.3) สามารถเขียนได้เป็นค่าประมาณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{LL,rms} \approx 0.612 m_a V_d \tag{2.4}$$




รูปที่ 2.3 ลักษณะตัวอย่างการสวิตช์แบบซายน์นูซอยน์พีดับเบิลยูเอ็ม ที่ค่ามอดูเลชั่นอินเด็กซ์เท่ากับ 0.8, ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง = 50 Hz และความถี่ของสัญญาณแคเรียร์ = 1kHz

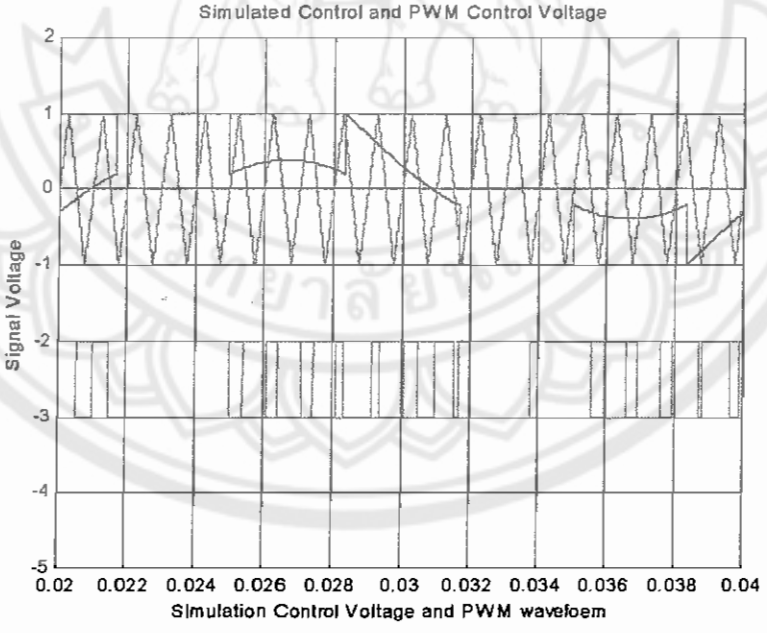
ย่านโอเวอร์มอดูเลชั่น ( $m_a > 1$ ) เป็นย่านที่แรงดันเอาต์พุทไม่แปรผันตรงแบบเชิงเส้นกับค่าแอมปลิจูดมอดูเลชั่นอินเด็กซ์ ซึ่งโดยมากมักไม่มีการนำย่านนี้ไปใช้งาน

ตัวอย่างของลักษณะของการสวิตช์แบบซายน์พีดับบลิวเอ็มแสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 ข้อดีของการสวิตช์แบบนี้คือสามารถลดขนาดของฮาร์มอนิคลำดับต่ำได้ทำให้ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นลดน้อยลง แต่มีข้อเสียคือให้ค่าองค์ประกอบแรงดันเอาท์พุทของความถี่มูลฐานน้อยลง

## 2.4 เทคนิคแบบเจนเนอรอลไรเซชั่น ดิสคอนตินิวอัส พีดับเบิลยูเอ็ม ( GDPWM )

เป็นเทคนิคการสวิตช์ที่มีช่วงไม่มีการสวิตช์เป็นช่วง 120 องศา ลักษณะของสัญญาณอ้างอิงที่ได้เกิดจากการรวมสัญญาณฟันดาเมนทอล ( ซายน์เวฟ ) กับสัญญาณซีโร่ซีเควันซ์ ( Zero Sequence Signal )

ตัวอย่างของการสวิตช์ของเทคนิคแบบเจนเนอไรเซชั่นดิสคอนตินิวอัสพีดับเบิลยูเอ็ม ( GDPWM ) 0 องศา ซึ่งเป็นเทคนิคแบบดิสคอนดินิวอัสพีดับเบิลยูเอ็ม 120 องศาแสดงดังรูปที่ 2.4




รูปที่ 2.4 ลักษณะตัวอย่างการสวิตช์แบบเจนเนอไรเซชั่น ดิสคอนตินิวอัส พีดับเบิลยูเอ็ม 0 องศา ที่ค่ามอดูเลชั่นอินเด็กซ์เท่ากับ 0.8, ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง = 50 Hz และความถี่ของสัญญาณแคเรียร์ = 1kHz