

บทที่ 2

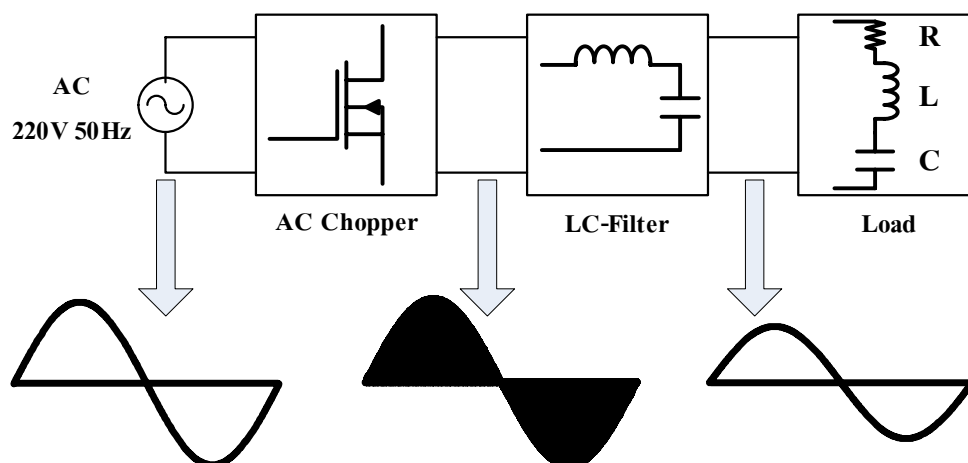
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรเอชชอปเปอร์

2.1 บทนำ

การควบคุมแรงดันไฟฟ้า แบบสแตติกจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50 Hz โดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือโดยวิธีการควบคุมเฟสและวิธีการควบคุมจำนวนไซเคิลของคลื่นแรงดัน 50 Hz เพื่อจ่ายให้โหลดซึ่งทั้งสองวิธีการนี้ ไม่สามารถให้คลื่นแรงดันที่เอาต์พุต ที่มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ 50 Hz ได้ด้วยฟิลเตอร์ขนาดเล็ก ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีขนาดน้ำหนักมาก ดังนั้นบทความวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้า ในรูปแบบใหม่ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.1 และวงจรในรูปที่ 2.2 ที่สามารถให้คลื่นไซน์ 50 Hz เอาต์พุตได้ด้วยวงจรฟิลเตอร์ขนาดเล็กโดยการนำคลื่นไซน์ 50 Hz มาสับที่ความถี่สูงในระดับ 20 kHz จากนั้นก็นำไปกรองด้วย LC ฟิลเตอร์เพื่อกำจัดฮาร์มอนิกส์ความถี่สูงออกไปให้ได้คลื่นความถี่ต่ำ 50 Hz ที่สามารถปรับแรงดัน rms ให้มากหรือน้อยได้ตามต้องการ โดยที่แรงดันที่ปรับนี้ยังคงเป็นคลื่น 50 Hz และได้อธิบายการทำงานในโหมดต่างๆ ในแต่ละช่วงการสับสวิตช์ โดยได้อธิบายถึงหลักการการทำงานในแต่ละโหมด เพื่อให้เข้าใจการทำงานของวงจรที่น่าเสนอ และได้กล่าวถึงการสร้างสัญญาณที่นำมาควบคุมรวมไปถึงอุปกรณ์ที่สนับสนุนการทำงานของวงจรเอชชอปเปอร์ให้สามารถทำงานได้ดังที่เราต้องการเช่น สนับเบอร์ วงจรเดดไทม์ (Dead Time) เป็นต้น

2.2 หลักการสร้างคลื่นไซน์ 50 Hz เอาต์พุตที่สามารถปรับค่า rms ของแรงดันได้

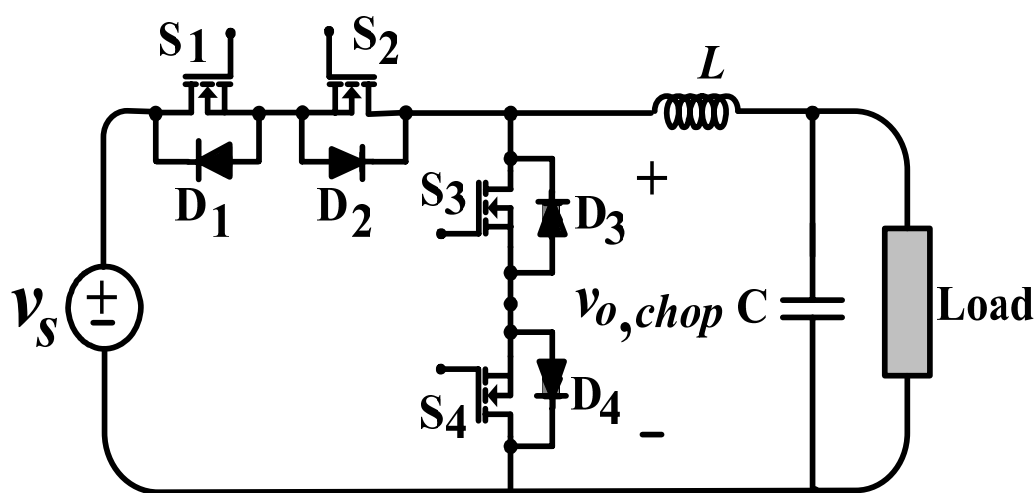
สำหรับโครงสร้างของวงจรเอชชอปเปอร์สวิตช์ที่ความถี่สูง 20 kHz ที่มีอินพุตเป็นไซน์การไฟฟ้า 220 V (rms) 50 Hz และได้คลื่นไซน์ 50 Hz ทางด้านเอาต์พุตที่สามารถปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-200V โดยการปรับค่าดิ้วไซด์ไซเคิลตั้งแต่ 0-1 สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.1 รายละเอียดประกอบด้วย แหล่งจ่ายไซน์การไฟฟ้า 1 เฟส 220 V (rms) 50 Hz ป้อนให้กับวงจรเอชชอปเปอร์ซึ่งทำหน้าที่สับไซน์ 220 V (rms) 50 Hz ให้เป็นคลื่นไซน์ 50 Hz ที่ถูกแบ่งเป็นช่องเท่าๆกันที่ความถี่ 20 kHz โดยจะได้จำนวนช่องเท่ากับ 400 ช่องในหนึ่งไซเคิลไซน์ 50 Hz โดยใช้อุปกรณ์มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ จากนั้นไซน์ 50 Hz ที่ถูกสับจะไปเป็นอินพุตให้วงจร LC ฟิลเตอร์ โดยวงจร LC ฟิลเตอร์จะมีส่วนประกอบคือ L และ C ที่มีขนาดเล็กต่ออนุกรมกันแล้วนำมาต่อขนานกับวงจรเอชชอปเปอร์ทางด้านเอาต์พุตของวงจรเอชชอปเปอร์ โดยวงจร LC ฟิลเตอร์จะทำหน้าที่กรองเอาฮาร์มอนิกส์ความถี่สูงออกจากคลื่น 50 Hz ทำให้เหลือแต่ไซน์ที่มีความถี่ 50 Hz ที่สามารถปรับค่า (rms) ได้โดยปรับค่าดิ้วไซด์ไซเคิลของการสวิตช์เพื่อจ่ายให้กับโหลด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเอชอปเปอร์สวิตช์ที่ความถี่สูง 20 kHz ที่มี LC ฟิลเตอร์แล้ว

2.3 หลักการทำงาน

วงจรเอชอปเปอร์สวิตช์ที่ความถี่สูง 20 kHz ที่มี LC ฟิลเตอร์[2]



รูปที่ 2.2 วงจรกำลังของ AC Chopper

จากรูปที่ 2.2 เป็นการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง มาต่อกันขึ้นเป็นวงจรที่สามารถนำไปใช้งานได้ ในทางด้านควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการนำไซน์ที่ได้จากแหล่งจ่ายมาทำการสับโดยสวิตช์ทั้งสี่ตัวที่เห็นในวงจรดังรูปที่ 2.2 จากนั้นนำไซน์ที่ถูกสับที่สามารถปรับค่าดีไซด์ได้นี้ไปผ่านวงจร LC เพื่อทำการกรองแยกฮาร์มอนิกส์ความถี่สูงออก ให้ผ่านได้เฉพาะความถี่ต่ำที่เป็นไซน์ 50 Hz เพื่อให้วงจรทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวเราจำเป็นต้องสร้างสัญญาณมาควบคุมการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัว หลังจากที่ได้เฉพาะคลื่นไซน์ 50 Hz ที่สามารถปรับดีไซด์ให้เคลเพื่อ

ปรับค่า rms ของแรงดันเอาต์พุตได้ตามความต้องการแล้ว เราสามารถแบ่งการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวที่ทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป ได้โดยสังเกตจากวงจรจะมีทั้งหมดสี่ส่วนคือ

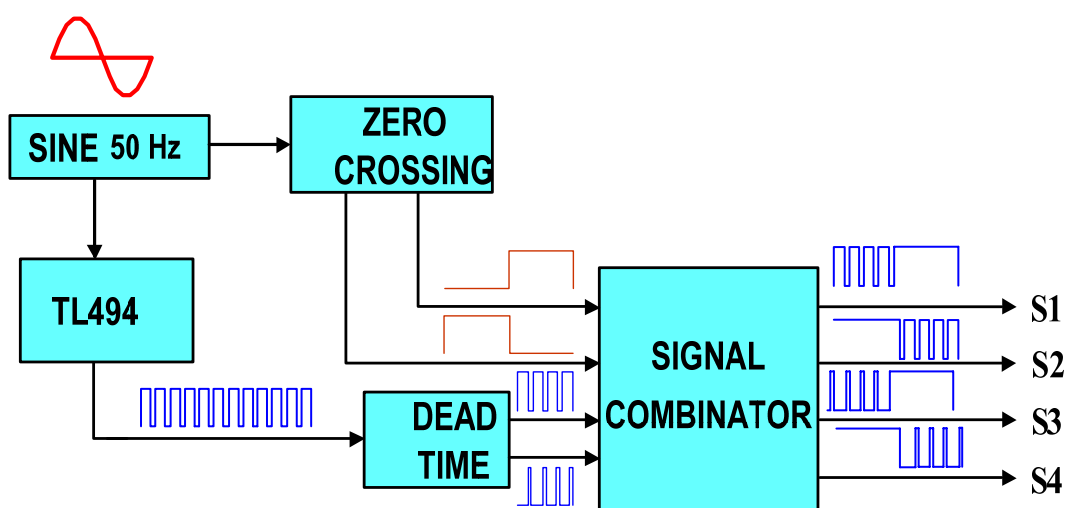
1.แหล่งจ่ายทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่ 50 Hz สำหรับในงานนี้ได้ใช้แหล่งจ่ายจากการไฟฟ้า

2.ชุดสวิตซ์ทำหน้าที่เป็นตัวสับคลื่นไซน์ความถี่ 50 Hz ที่ได้รับมาจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า โดยในที่นี้ให้เป็น v_s โดยไซน์ที่ถูกสับที่สามารถปรับความถี่ได้ เพื่อปรับค่า rms ของคลื่นแรงดันจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งสำหรับในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้มอสเฟต 4 ตัวนำมาต่อตามรูปที่ 2.2 เข้าเป็นชุดสวิตซ์

3.ชุดกรองฮาร์มอนิกส์ความถี่สูงจากรูปวงจรที่ 2.2 ก็จะประกอบไปด้วย L และ C หรือที่เรียกว่า LC ฟิวเตอร์ ทำหน้าที่กรองฮาร์มอนิกส์ความถี่สูงที่เกิดจากการทำงานของสวิตซ์ไม่ให้ผ่านไปยังชุดโหลดได้

4.ชุดโหลดในการทำงานของวงจรเอชไอโอพีอาร์จะต้องจ่ายโหลดได้ทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นโหลด R ,L หรือ C ในงานวิจัยชิ้นนี้ก็เช่นกันเพราะในขณะที่ใช้กับงานจริงเราไม่สามารถกำหนดชนิดของโหลดได้

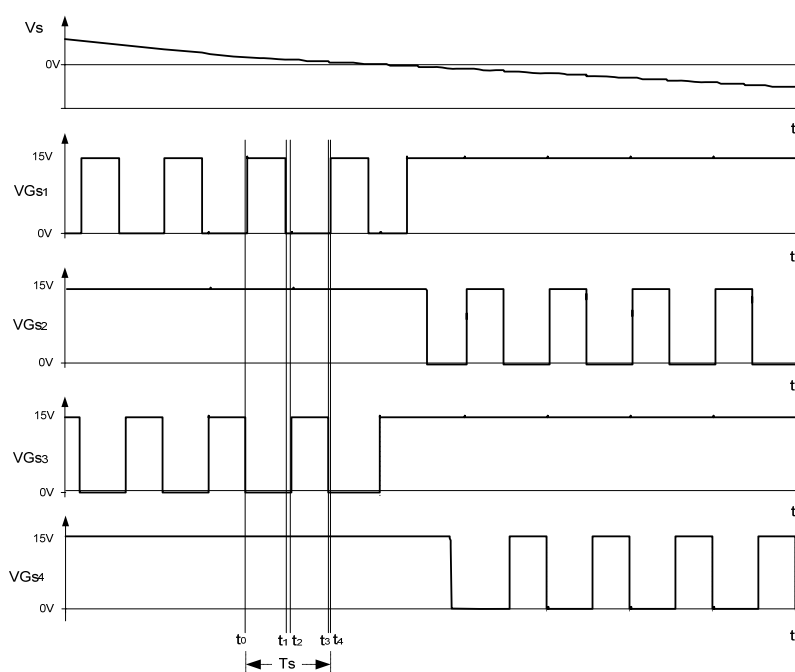
2.4 สัญญาณขับ



รูปที่ 2.3บล็อกไดอะแกรมของการสร้างสัญญาณขับของวงจรเอชไอโอพีอาร์

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.3 เป็นลักษณะการสร้างสัญญาณ โดยสัญญาณที่สร้างขึ้นมานี้เพื่อนำไปใช้สั่งให้สวิตซ์แต่ละตัวทำงาน ซึ่งการทำงานของสวิตซ์จะแตกต่างกันตามหน้าที่ของมัน โดยสวิตซ์บางตัวอาจจะทำงานพร้อมกันเพื่อให้ได้คลื่นที่ต้องการ แต่บางตัวถ้าทำงานพร้อมกัน

ก็จะทำให้เกิดการลัดวงจรทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ในวงจร จึงต้องให้ความสำคัญกับสัญญาณที่จะนำมาขับอุปกรณ์สวิตช์เป็นที่สุด ในการสร้างสัญญาณขับสวิตช์ของบทความวิจัยนี้ได้ใช้ ไอซีที่ทำได้โดยทั่วไปตามท้องตลาดมาประกอบกันเข้ากับเกตุต่างๆ เพื่อให้ได้สัญญาณที่ต้องการและทำการปรับแต่งสัญญาณเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้การปรับแต่งสัญญาณก็เพื่อให้สัญญาณความคมทั้งในขาขึ้นและขาลงเพราะจะทำให้อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งทำงานได้ดีที่สุด โดยในช่วงขาขึ้น(สวิตช์ ON) ต้องมีแรงดันไม่น้อยกว่า 8 V ที่ไปสั่งให้สวิตช์ทำงานและสัญญาณในช่วงขาลง(สวิตช์ OFF) ต้องมีแรงดันเป็นลบประมาณ -5 V เพื่อช่วยให้สวิตช์ทำการหยุดการทำงานได้เร็วขึ้น และยังต้องมีการปรับแต่งสัญญาณอีกหลายอย่างเช่น ความถี่ (Frequency) ค่าเวลาเพื่อ (Dead Time) ค่าดีวตี้ไซเคิล (D) [2] ดังนั้นในบทความฉบับนี้จึงได้นำสัญญาณขับที่ได้สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองมาประกอบการอธิบายได้ดังรูปที่ 2.4

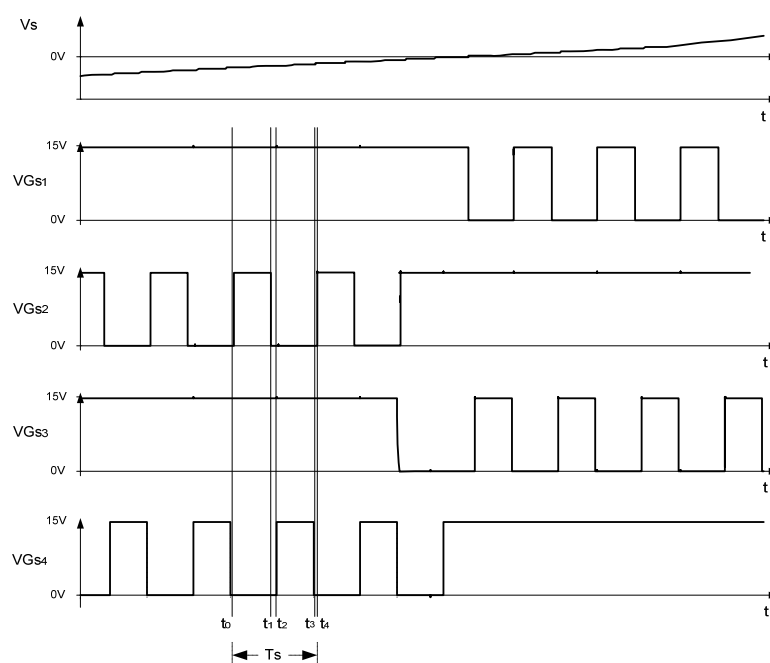


รูปที่ 2.4 แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20 kHz ในช่วง แรงดันไซน์จากบวกไปลบที่ค่าดีวตี้ไซเคิล (D= 80%)

เมื่อสังเกตจากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่ามีสัญญาณอยู่สองลักษณะคือสัญญาณความถี่ 50 Hz กับสัญญาณความถี่ 20 kHz เมื่อดูทำงานจากรูปที่ 2.4 สัญญาณ S_1 กับ S_3 ON ยาวพร้อมกันในช่วงความถี่ที่ 50 Hz และจะทำงานสลับกันในช่วงความถี่ 20 kHz โดยการทำงานในช่วงความถี่ 20 kHz นี้จะมี (Dead Time) หรือ ค่าเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้สวิตช์ทั้งสองทำงานพร้อมกันเพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นทำให้วงจรเกิดความเสียหาย และเช่นเดียวกันสวิตช์ S_2 กับ S_4 ก็จะ ON ยาวพร้อมกันในช่วงความถี่ 50Hz และจะสลับกันทำงานโดยที่มี (Dead Time) หรือค่าเวลาเพื่อ

เช่นเดียวกับสวิตช์ S_1 กับ S_2 ลักษณะของสัญญาณดังในรูปที่ 2.4 นี้เป็นสัญญาณในขณะที่เริ่มการทำงานในจังหวะที่หนึ่ง คือในช่วงครึ่งคลื่นไซน์อินพุตในช่วงแรก

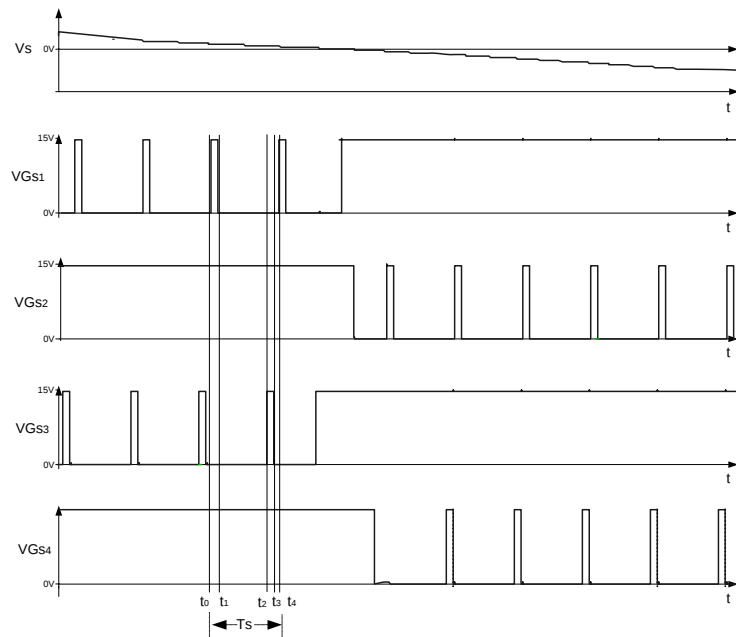
เมื่อสังเกตจากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าสัญญาณอยู่สองลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 2.4 คือมีสัญญาณความถี่ 50 Hz และ สัญญาณความถี่ 20 kHz S_1 กับ S_3 ก็จะ ON ยาวพร้อมกันในช่วงความถี่ที่ 50 Hz และจะทำงานสลับกันในช่วงความถี่ 20 kHz โดยการทำงานในช่วงความถี่ 20 kHz นี้จะมี (Dead Time) หรือ และเช่นเดียวกับสวิตช์ S_2 กับ S_4 ก็จะ ON ยาวพร้อมกันในช่วงความถี่ 50Hz และจะสลับกันทำงานโดยมี (Dead Time) หรือค่าเวลาเพื่อซึ่งกันและกันเช่นเดียวกับสวิตช์ S_1 กับ S_2 แต่การทำงานในรูปที่ 2.4 นี้เป็นการทำงานในตอนปลายของคลื่นไซน์อินพุตในช่วงครึ่งไซเคลบวก



รูปที่ 2.5 แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณถี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20 kHz

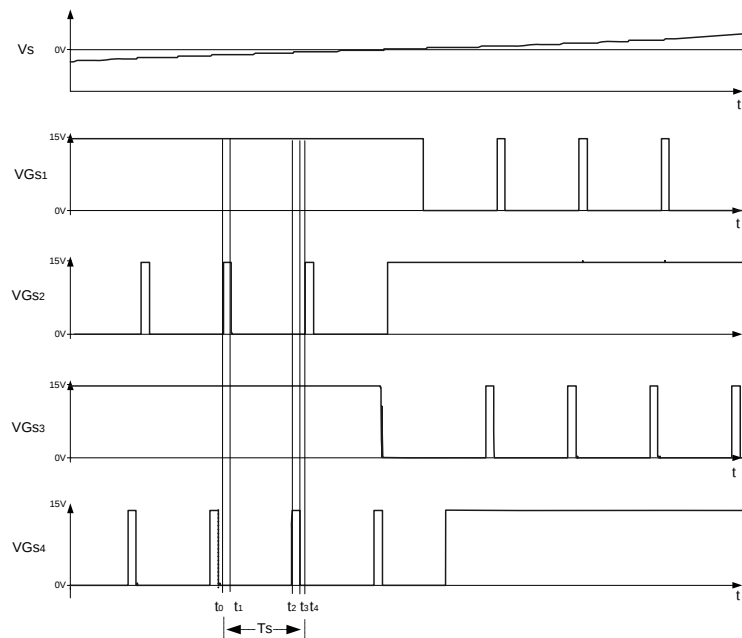
ในช่วง แรงดันไซน์จากกลับไปบวกที่ค่าดีวตี้ไซเคิล ($D=80\%$)

แต่ถ้าสังเกตจากรูปที่ 2.5 จากสัญญาณทั้งสองนั้น จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ไซน์อินพุตเป็นช่วงบวกสวิตช์ S_1 กับ S_3 จะทำงานสลับกันที่ความถี่ 20kHz โดยมี (Dead Time) ซึ่งกันและกันและสวิตช์ S_2 กับ S_4 ก็จะ ON ยาวพร้อมกันในช่วงที่ไซน์เป็นบวก ส่วนในช่วงที่ไซน์เป็นลบก็จะเป็นสวิตช์ S_2 กับ S_4 ที่ทำงานสลับกันในช่วงความถี่ 20 kHz ส่วน S_1 กับ S_3 ก็จะ ON ยาวพร้อมกันในช่วงนี้



รูปที่ 2.6 สัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20 kHz ในช่วงแรงดันไซน์จากบวกไปลบที่ค่าดีวีไอซีเคิล(D= 20%)

จากรูปที่ 2.6 การทำงานก็จะเหมือนกับในรูปที่ 2.4 แต่ถ้าสังเกตดูจะเห็นว่าสัญญาณที่ใช้ขับเกทที่สับในช่วงความถี่ 20 kHz จะมีความกว้างน้อยกว่าในรูปที่ 2.4 เพราะมีค่าดีวีไอซีเคิลน้อยลงเหลือ 20% จาก 80% ในรูปที่ 2.4

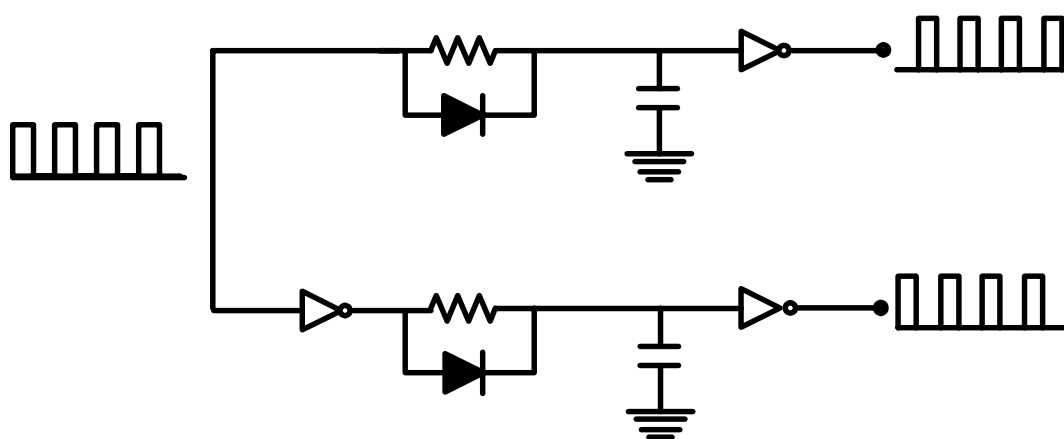


รูปที่ 2.7 แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20 kHz ในช่วงแรงดันไซน์จากลบไปบวกที่ค่าดีวีไอซีเคิล (D= 20%)

จากรูปที่ 2.7 การทำงานก็จะเหมือนกับในรูปที่ 2.5 แต่ถ้าสังเกตดูจะเห็นว่าสัญญาณที่ใช้ขับเคลื่อนที่สับในช่วงความถี่ 20 kHz จะมีความกว้างน้อยกว่าในรูปที่ 2.5 เพราะมีค่าดีวีไซน์เกิลน้อยลงเหลือ 20% จาก 80% ในรูปที่ 2.5 ซึ่งจากการสร้างสัญญาณนี้เราก็ได้นำสัญญาณที่ได้ไปขับอุปกรณ์สวิตช์และได้เกิดการทำงานของวงจรทำให้เกิดโหมดการทำงานต่าง ๆ ขึ้นดังต่อไปนี้

2.5 เดดไทม์ (Dead time)

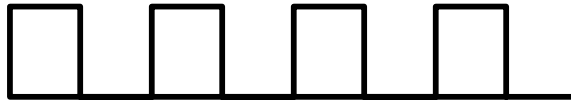
จากรูปที่ 2.4 , 2.5 , 2.6 และ 2.7 จะพบว่าคู่ของ S_1 และ S_3 มีการทำงานที่ตรงกันข้ามในช่วงบวกของแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย เช่นเดียวกับคู่ของ S_2 และ S_4 ในช่วงลบของแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไซน์การไฟฟ้า แต่มีสัญญาณที่กลับกันนั้นยังไม่พอที่จะทำให้วงจรเอช็ชอปเปอร์ทำงานได้อย่างปลอดภัย และเนื่องจากในทางปฏิบัติแล้ว การทำให้สวิตช์นำกระแส (ON) หรือหยุดนำกระแส (OFF) นั้นจำเป็นต้องใช้เวลาช่วงสั้น ๆ ช่วงหนึ่ง อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของเซมิคอนดักเตอร์สวิตช์ ก่อนที่สวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งนำกระแส (ON) ขึ้นมา ต้องแน่ใจว่าสวิตช์ในคู่เดียวกันนั้นได้หยุดนำกระแสไปแล้ว เพื่อป้องกันการลัดวงจรของแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยสวิตช์ทั้งสองซึ่งจะทำให้สวิตช์ทั้งคู่เกิดความเสียหายได้ โดยเหตุนี้สัญญาณเกทของแต่ละสวิตช์จะถูกหน่วงเวลาในช่วงขาขึ้นของสัญญาณไปช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อให้คู่สวิตช์ที่กำลังหยุดนำกระแส ได้หยุดนำกระแสโดยสมบูรณ์เสียก่อนซึ่งจะทำให้เกิดช่วงเวลาที่ทั้ง S_1 และ S_3 หรือ S_2 และ S_4 หยุดนำกระแสทั้งคู่ช่วงเวลานี้เรียกว่าช่วงเดดไทม์ (Dead time) มีลักษณะของวงจรที่ทำให้เกิดช่วงเดดไทม์ดังในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรสร้างเดดไทม์

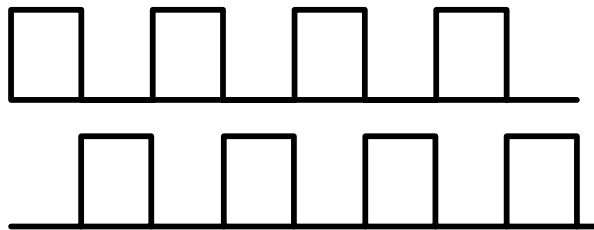
2.5.1 หลักการทำงานของวงจรสร้างเคดไทม์

จากวงจรดังรูปที่ 2.8 ได้มีลักษณะการทำงานคือเมื่อได้สัญญาณมาจากวงจรสร้างสัญญาณก็จะนำไปเข้าชุดวงจรสร้างสัญญาณเคดไทม์โดยสัญญาณที่จะนำมาสร้างมีลักษณะดังในรูปที่ 2.8



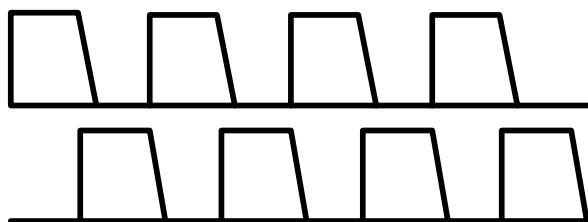
รูปที่ 2.9 สัญญาณที่จะสร้างเคดไทม์

เมื่อสัญญาณอินพุตผ่านเข้ามาในวงจรสร้างสัญญาณเคดไทม์ในจังหวะแรงจะทำให้สัญญาณกลับกันโดยใช้ชุดอินเวอร์ตติ้งแอมป์ใส่ให้กับวงจรสร้างสัญญาณขาใดขาหนึ่งโดยวงจรที่แสดงในรูปที่ 2.8 ใส่ชุดอินเวอร์ตติ้งแอมป์ให้กับขาล่าง



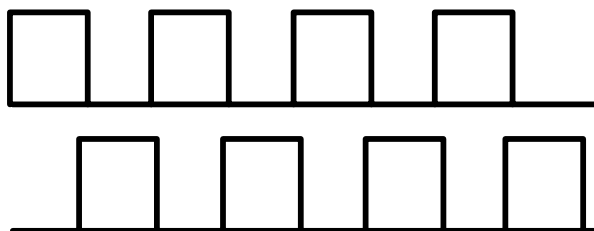
รูปที่ 2.10 สัญญาณที่สร้างให้กลับกัน

ผลที่ได้คือจะทำให้ได้สัญญาณสองสัญญาณที่มีลักษณะกลับกันแต่สัญญาณที่ได้นี้ยังไม่สามารถนำไปขับสวิทช์ได้เพราะยังไม่มีช่วงเคดไทม์ระหว่างกันคือในช่วงที่สัญญาณที่หนึ่งลงก็จะ เป็นจังหวะเดียวกับช่วงที่สัญญาณที่สองขึ้น เราจึงทำการหน่วงเวลาในช่วงขาของสัญญาณทั้ง ออกไปจะทำให้ได้สัญญาณทั้งสองดังรูปที่ 2.11



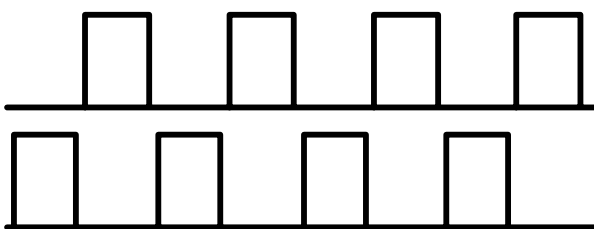
รูปที่ 2.11 สัญญาณที่ถูกหน่วงการลงออกไป

จากรูปสัญญาณในรูปที่ 2.11 ซึ่งสัญญาณทั้งสองจะถูกหน่วงออกไปในช่วงขาลงลักษณะที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากการคายประจุของ C ผ่าน R เมื่อสัญญาณมาตัดโดยถ้าต่ำกว่า 5 V ให้เป็น 0 ก็จะได้สัญญาณที่มีจุดทับซ้อนกันดังในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 สัญญาณที่มีจุดทับกัน

จากในรูปที่ 2.12 สัญญาณทั้งสองจะมีจุดที่ทับกันเราจึงนำสัญญาณทั้งสองนี้มาทำการอินเวอร์สกลับก็จะได้สัญญาณที่มีเดดไทม์ระหว่างกันสามารถนำไปใช้งานได้ดังในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สัญญาณที่มีเดดไทม์ที่สามารถนำไปใช้งานได้แล้ว

2.6 สรุป

จากทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรเอชโซปเปอร์สามารถทำให้ทราบถึงการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ของวงจร จะทำให้ง่ายขึ้นต่อการที่จะศึกษาถึงการทำงานในเบื้องต้นและสามารถเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์วงจรเอชโซปเปอร์ในส่วนต่าง ๆ อีกทั้งยังทำให้สามารถสร้างสัญญาณที่จะใช้ควบคุมการทำงานของวงจรและสร้างเครื่องต้นแบบไว้ใช้ทดลองเพื่อเก็บผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ