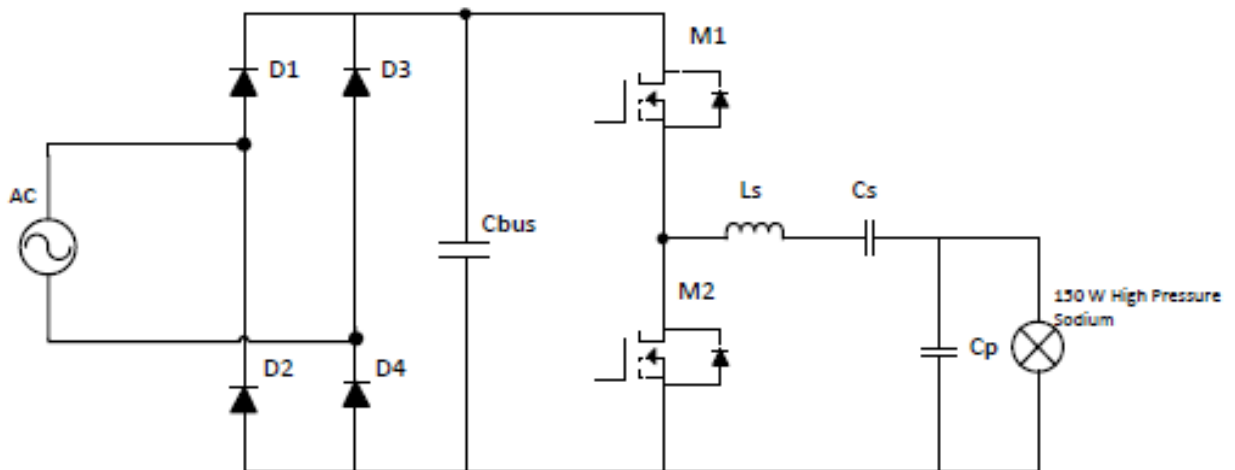


บทที่ 3

ทฤษฎีและการออกแบบวงจร

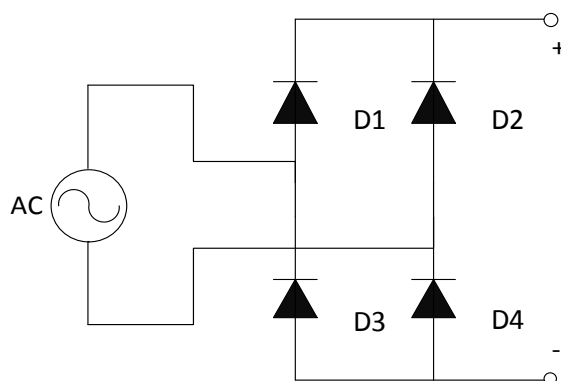
3.1 ส่วนประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

จากภาพที่ 3.1 เป็นวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอจะประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ $D_1 - D_4$ เป็นไดโอดที่ใช้งานในวงจรความถี่สูง และในส่วนวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสซี ซึ่งประกอบไปด้วยสวิตช์ M_1 และ M_2 ตัวเหนี่ยวนำ L_s ตัวเก็บประจุ C_s และตัวเก็บประจุ C_p โดยชุดเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวจุดหลอดและบัลลาสต์ให้กับหลอดโซเดียมแรงดันสูงขนาด 150 วัตต์ และสวิตช์กำลังทั้งสองตัวทำงานเป็นแบบการสวิตช์ที่แรงดันศูนย์ โดยใช้สัญญาณขับนำรูปคลื่นไซน์ความถี่สูงมาก ในการควบคุมการสวิตช์ซึ่ง



ภาพที่ 3.1 ส่วนประกอบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

3.2 วงจรเรียงกระแส



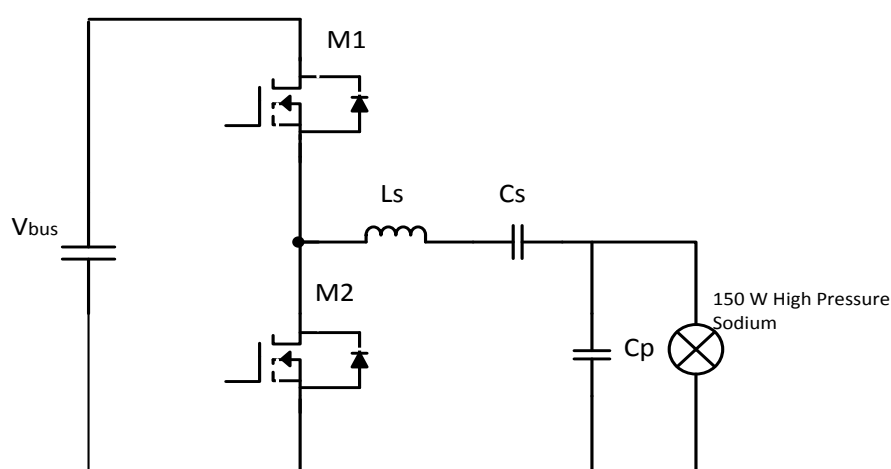
ภาพที่ 3.2 วงจรเรียงกระแส (Bridge Rectifier)

วงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 311 โวลต์ ดังภาพที่ 3.1 โดยใช้วงจรเรียงกระแสไดโอดแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) วงจรเรียงกระแสที่ต้องใช้งานจะต้องสามารถทนแรงดันไบอัสกลับได้ และทนต่อกระแสที่จ่ายให้ไหลคได้ โดยที่การใช้งานจริงจะเป็นตัวคูณเพื่อเป็นค่าตัวประกอบความปลอดภัย (Safety Factor) โดยอยู่ที่ 1.2 เท่าขึ้นไป แต่เนื่องจากวงจรนี้มีการทำงานที่มีความถี่สูงมาก จึงเลือกใช้ไดโอดที่มีช่วงเวลาในการฟื้นตัวย้อนกลับเร็ว และขณะเดียวกันสามารถลดการสูญเสียของการฟื้นตัวกลับได้ด้วย โดยเลือกใช้ไดโอดชนิด Ultra Fast เบอร์ MUR460 ทนกระแสได้สูงสุด 4 แอมป์แปร์ ทนแรงดันไฟฟ้าได้ 600 โวลต์

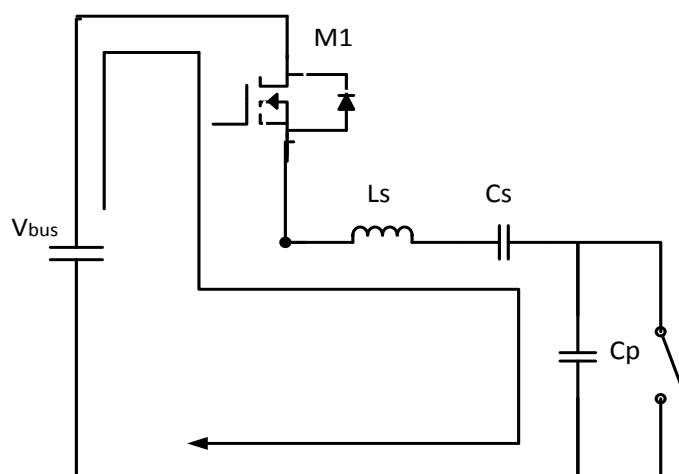
3.3 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานดี

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-คลาสิคมีหน้าที่เป็นตัวจุดหลอดและบัลลาสต์ การจุดติดของหลอดเมทัลฮาไลด์ด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้วงจรเรโซแนนซ์ ($L_s - C_s - C_p$) ดังภาพที่ 3.3 (ข) แต่หลังจากที่หลอดจุดติดแล้ว ทิศทางการไหลของกระแสจะไหลผ่านโซเดียมแรงดันสูง ซึ่งคาปาซิเตอร์ C_p จะไม่มีความจำเป็นสำหรับการจ่ายพลังงานให้แก่หลอดอีกแล้ว โดยชุดเรโซแนนซ์ที่จะทำการจ่ายแรงดันให้กับหลอดเมทัลฮาไลด์ คือ ชุดเรโซแนนซ์อนุกรม

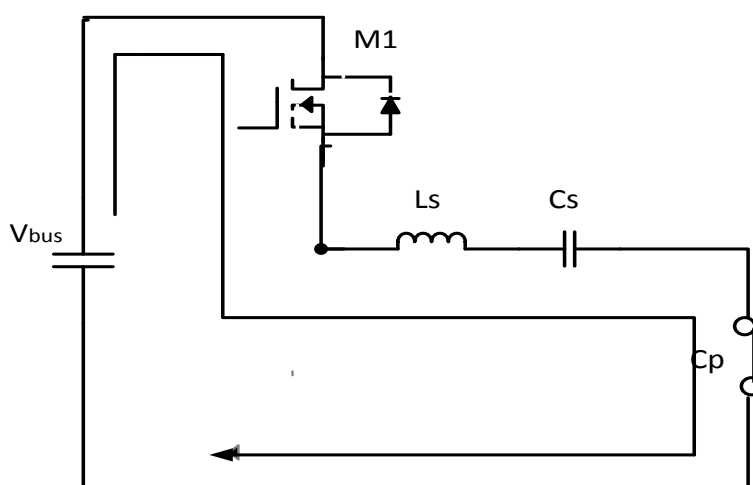
L_S และ C_S เท่านั้น ดังภาพที่ 3.3 (ค) จากภาพที่ 3.3 (ก) แรงดันไฟฟ้า V_{bus} จะเป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงที่ถูกวงจรเรียงกระแส ทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง วงจรจะใช้พื้นฐานของวงจรบริดจ์ ซึ่งสวิตช์กำลังจะมีการสลับการทำงานตามสัญญาณที่ใช้ในการ ควบคุมโดยแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์จะมีค่าเท่ากับ V_{bus} ซึ่งในการออกแบบจึงต้องเลือกสวิตช์กำลัง ที่สามารถทนพิกัดแรงดันขนาด 311 โวลต์ได้ และชุดเรโซแนนซ์ ($L_S - C_S - C_P$) เป็นส่วนที่ใช้ สร้างแรงดันสูง และจ่ายแรงดันให้กับหลอดไฟ



ก. วงจรแปลงผันอนุกรม-ขนานเรโซแนนซ์คลาสติ



ข. การไหลของกระแสผ่านชุดเรโซแนนซ์ ($L_S - C_S - C_P$)



ก. การไหลของกระแสผ่านชุดเรโซแนนซ์ ($L_s - C_s$)

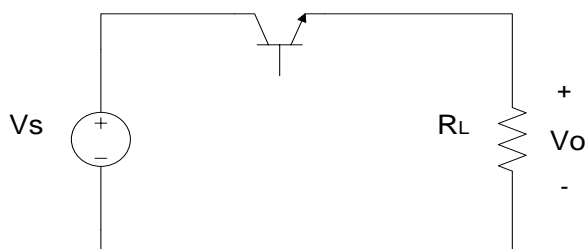
ภาพที่ 3.3 การทำงานของวงจรแปลงผันอนุกรม-ขนานเรโซแนนซ์คลาสดีช่วงก่อนและหลังจุด
หลุด

3.4 วงจรชอปเปอร์ (Chopper)

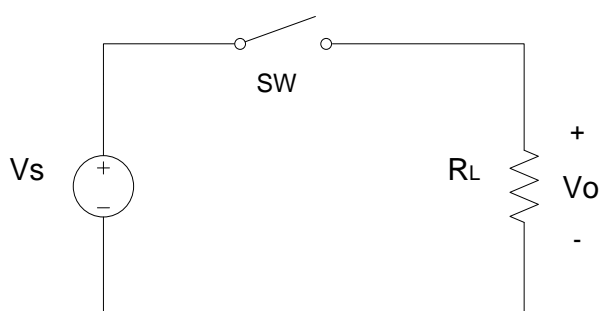
วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC to DC Converter) หรือ วงจรชอปเปอร์ (Chopper) เป็นที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมและคอมพิวเตอร์กันอย่างแพร่หลาย วงจรชอปเปอร์ เป็นการเปลี่ยนแปลงแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่มีแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่งไปเป็นแรงดันไฟฟ้าอีกค่าหนึ่ง โดยจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น BJT SCR IGBT MOSFET หรือ GTO เป็นต้น ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์ควบคุม ควบคุมด้วยสัญญาณ (Duty Cycle) ของรูปคลื่นเอาต์พุตทำให้สามารถควบคุมค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตได้ ชอปเปอร์ ช่วยในการควบคุมอัตราเร่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ให้มีประสิทธิภาพสูง รวดเร็ว และมีการควบคุมการตอบสนอง ในการเคลื่อนที่ไหว่ได้รวดเร็วทำให้ ชอปเปอร์เหมาะกับงานหลายประเภท เช่น การจุดหลอดโซเดียมแรงดันสูงและรักษาระดับแรงดัน เพื่อให้พลังงานกลับไปสู่แหล่งจ่ายทำให้ประหยัดพลังงาน เป็นต้น ชอปเปอร์อาจทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้ลดลง (Step down) หรืออาจทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้สูงขึ้น

3.4.1 หลักการทำงานของวงจรสวิตช์ซิ่ง

อุปกรณ์สวิตช์ซิ่ง เช่น มอสเฟต (MOSFET) หรือ ไอจีบีที (IGBT) จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์ มีโหมดการทำงาน คือ โหมดนำกระแสและหยุดนำกระแส โดยสมมติให้ มอสเฟต หรือ ไอจีบีทีที่ใช้เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ในอุดมคติดังแสดงในภาพที่ 3.4 และ ภาพที่ 3.5

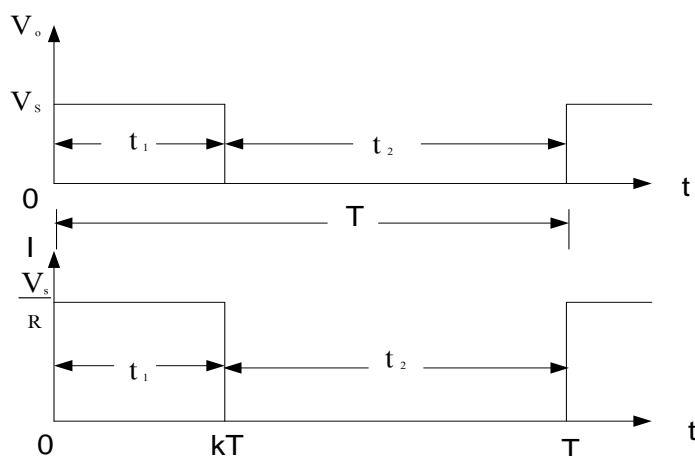


ภาพที่ 3.4 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงพื้นฐาน



ภาพที่ 3.5 วงจรสมมูลของสวิตช์

วงจรรูปเปอร์ใช้หลักการทำงานแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้ลดลง โดยเมื่อสวิตช์ SW เปิด On หรือต่อสัญญาณไฟฟ้า และปิด Off หรือตัดสัญญาณไฟฟ้าด้วยความถี่ค่าหนึ่งที่คิดไว้จะเกิด $k = \frac{t_1}{T}$ จะได้รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตที่มีลักษณะเป็นพัลส์ ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แรงดันไฟด้านออก

ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุต V_o มีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุต V_s เมื่อสวิตช์เปิดเป็นเวลา t_1 จะมีแรงดันอินพุตตกคร่อมโหลด และถ้าปิดสวิตช์เป็นเวลา t_2 แรงดันตกคร่อมโหลดจะมีค่าเป็น 0 โวลต์ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ในชอปเปอร์ประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์กำลัง MOSFET กำลัง GTO และไทรสเตอร์ ที่มีการหยุดกระแสแบบบีบบังคับ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์กำลังซึ่งควบคุมดีวีดีไอเกิดและความถี่ในการทำงานได้ ถ้าไม่คิดแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตช์ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตในหนึ่งคาบเวลาจะหาได้จาก

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^{kT} V_s dt = kV_s \quad (3.1)$$

โดยที่

T = คาบเวลาชอปเปอร์

f = เป็นความถี่ชอปเปอร์

$(k = \frac{t_1}{T})$ = ดีวีดีไอเกิดของชอปเปอร์

หาค่า rms ของแรงดันเอาต์พุตได้จาก

$$V_o = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{kT} V_o^2 dt} = \sqrt{k} V_s \quad (3.2)$$

มีค่าเฉลี่ยของกระแสที่ไหล

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{kV_s}{R} \quad (3.3)$$

คิดที่ไซเคิลมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยปรับค่า t_1 หรือ f จึงปรับค่า V_o ได้ตั้งแต่ 0 ถึง V_s โดยการควบคุมค่า k ให้ชอปเปอร์ไม่มีกำลังสูญเสียสามารถหาค่ากำลังอินพุตของชอปเปอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับเอาต์พุตได้จาก

$$P_{in} = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{V_o^2}{R} dt = k \frac{V_s^2}{R} \quad (3.4)$$

ความต้านทานอินพุตของชอปเปอร์เมื่อพิจารณาจากแหล่งจ่าย มีค่าเป็น

$$R_{in} = \frac{V_s}{I_o} = \frac{V_s}{\frac{kV_s}{R}} = \frac{R}{k} \quad (3.5)$$

การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในชอปเปอร์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การทำงานที่ความถี่คงที่ และ การทำงานที่ความถี่แปรค่าได้

3.4.1.1 การทำงานที่ความถี่คงที่ (Constant Frequency Operation)

การทำงานที่ความถี่คงที่มีค่าชอปเปอร์หรือคาบเวลาชอปเปอร์คงที่ แต่เวลาในการเปิด t_1 รวมทั้งความกว้างของพัลสนั้นแปรค่าได้ การควบคุมประเภทนี้ เรียกว่า การควบคุม มอดูเลชันตามความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM)

3.4.1.2 การทำงานที่ความถี่แปรค่าได้ (Variable Frequency Operation)

การทำงานที่ความถี่แปรค่าได้มีความถี่ชอปเปอร์แปรค่าได้ แต่เวลาในการเปิด t_1 หรือเวลาปิด t_2 อย่างใดอย่างหนึ่งเป็นค่าคงที่ การควบคุมประเภทนี้เรียกว่า มอดูเลชันความถี่ (Frequency Modulation) เนื่องจากการทำงานนี้มีความเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นช่วงกว้างเพื่อให้ได้ช่วงแรงดันเอาต์พุตเต็มคลื่น การควบคุมประเภทนี้จึงสร้างฮาร์โมนิกจำนวนมาก ทำให้การออกแบบวงจรมีความยุ่งยากมากเนื่องจากต้องเพิ่มฟิลเตอร์เข้ามาดังนั้นชอปเปอร์ทั่วไปจึงทำงานที่ความถี่คงที่ถ้าคิดค่าแรงดันตกคร่อมสวิตช์ขณะเปิดจะได้ค่าเอาต์พุตมีค่า

$$P_{out} = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{V_o^2}{R} dt$$

$$P_{out} = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{(V_s - V_{ch})^2}{R} dt$$

$$P_{out} = k \frac{(V_s - V_{ch})^2}{R} \tag{3.6}$$

กำลังอินพุตของชอปเปอร์

$$P_{in} = \frac{1}{T} \int_0^{kT} V_s I dt$$

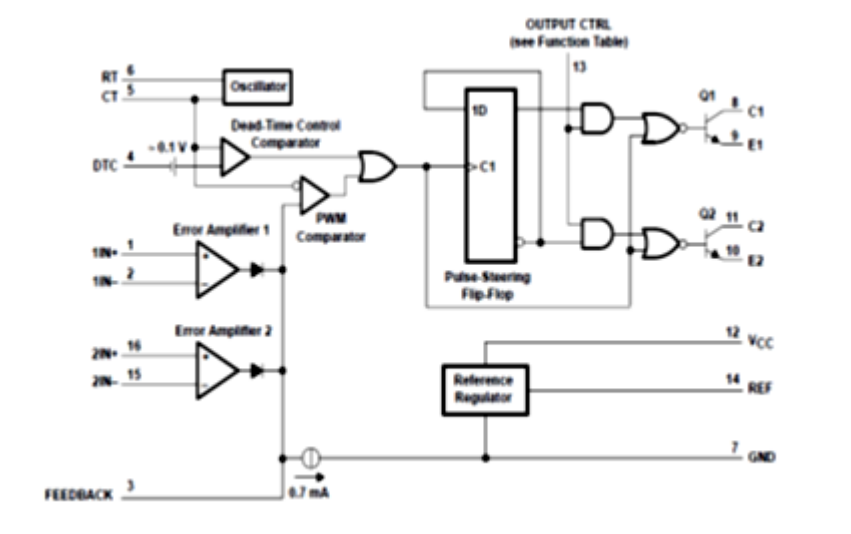
$$P_{in} = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{V_s (V_s - V_{ch})}{R} dt$$

$$P_{in} = k \frac{V_s (V_s - V_{ch})}{R} \tag{3.7}$$

3.5 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM)

เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณควบคุมให้กับวงจรชอปเปอร์ โดยจะสร้างสัญญาณควบคุมไปที่ขาเกต (Gate) ของ MOSFET ซึ่ง IC ที่ใช้ในวงจร PWM นี้คือ TL494 โดยมีวงจรภายในดังภาพที่

3.7



ภาพที่ 3.7 วงจรภายในของ IC เบอร์ TL494

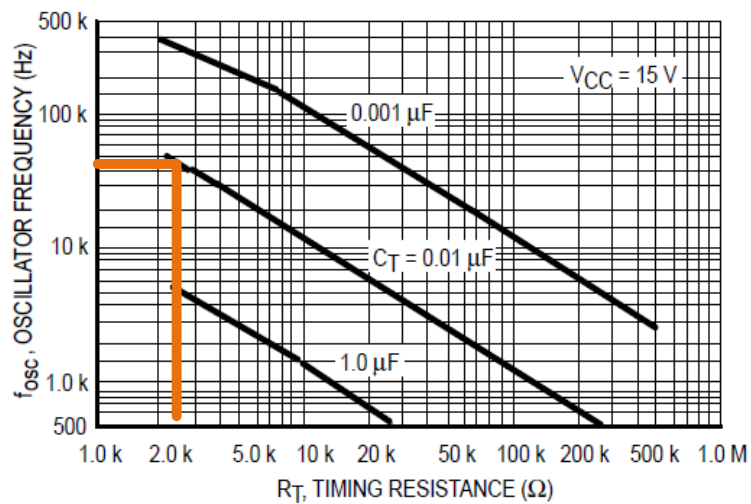
ความถี่ของสัญญาณ PWM ของวงจรสามารถหาได้ จากการคำนวณจากสูตร

$$f_{osc} = \frac{1.2}{R_T \times C_T} \quad (3.8)$$

โดย R_T และ C_T คือ ความต้านทาน และตัวเก็บประจุที่ใช้กำหนดความถี่ PWM จากการออกแบบ กำหนดให้มีความถี่สัญญาณ PWM มีค่า 60kHz และกำหนดให้ C_T มีค่าเท่ากับ $0.01 \mu F$ ดังนั้นค่าความต้านทาน R_T จะมีค่าเท่ากับ

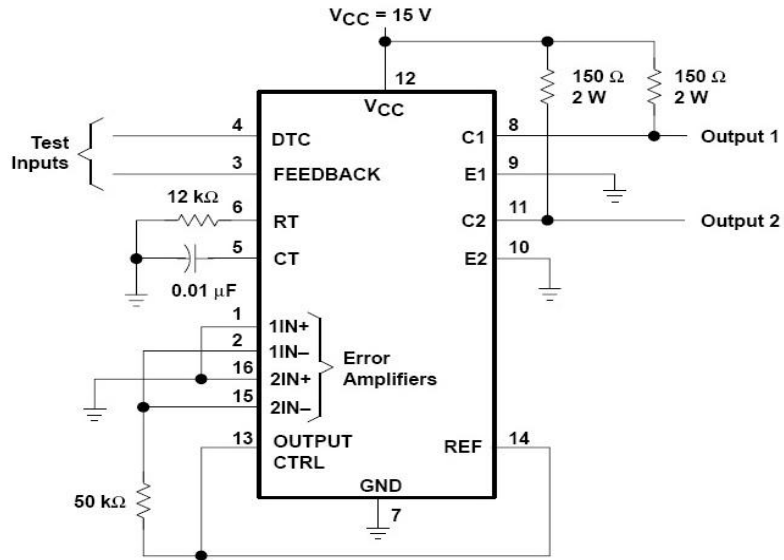
$$R_T = \frac{1.2}{60k \times 0.01\mu} = 2k\Omega$$

หรือ หาได้จากกราฟใน Datasheet ของ IC เบอร์ TL494 ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 การกำหนดความถี่ของสัญญาณ PWM

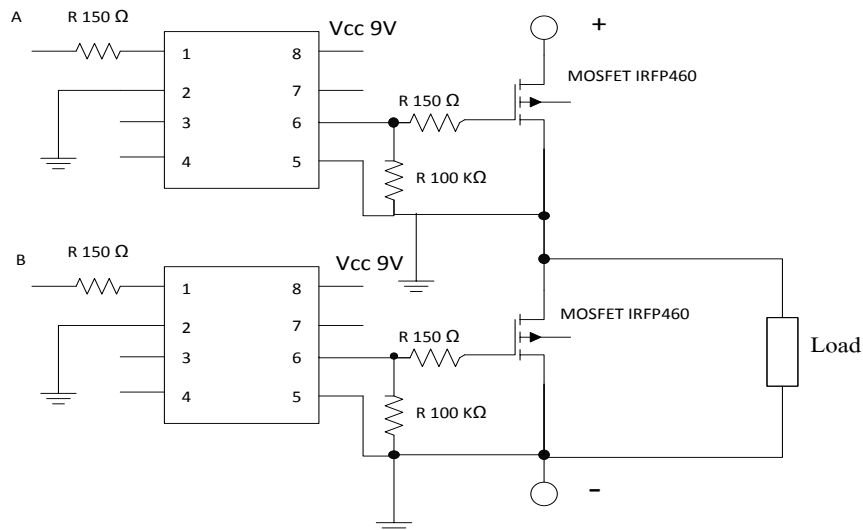
วงจร PWM ที่จะนำมาใช้งานดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 วงจร Pulse Width Modulation

3.6 วงจรขับขาเกท

ในการสร้างวงจรชุดขับมอเตอร์ประกอบด้วย IC TLP250 และ MOSFET ในการสร้างตัว TLP250 จะเป็นตัวควบคุมไปที่ขาเกท (Gate) แต่ตัว MOSFET จะเป็นตัวสวิทช์ซึ่งจะได้ดังภาพที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจร Drive Gate