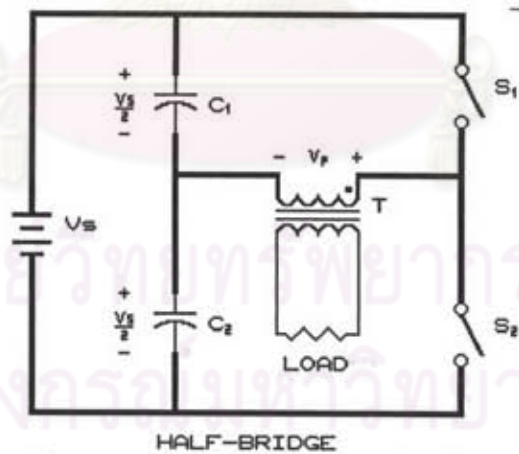




บทที่ 3

วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ

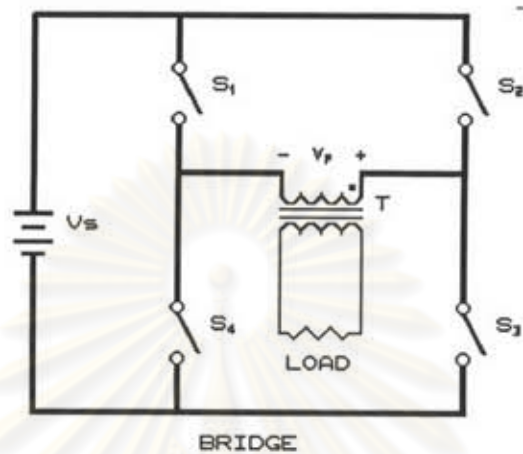
วงจรอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปที่แรงดันด้านออกมีความถี่ต่ำ เช่น 50 Hz จะใช้หม้อแปลงแกนเหล็กความถี่ต่ำ เป็นส่วนประกอบของวงจรด้านออก เพื่อแปลงให้แรงดันด้านออกมีค่าที่ต้องการ เช่น $220V_{RMS}$ ซึ่งถูกกำหนดโดยอัตราส่วน จำนวนรอบของขดทุติยภูมิต่อขดปฐมภูมิ ของหม้อแปลง อย่างไรก็ตามหม้อแปลงความถี่ต่ำมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ซึ่งเป็นข้อเสียของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ แต่มีข้อดีคือแรงดัน V_s มีระดับใดก็ได้ ในการแปลงผันอินเวอร์เตอร์ใช้สวิตช์ 2-4 ตัว สลับกันนำไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ในกรณีที่ V_s มีค่าค่อนข้างสูง เรานิยมใช้วงจรกึ่งบริดจ์หรือบริดจ์ (ดูรูปที่ 3.1 ก และ ข) แต่ถ้า V_s มีค่าต่ำเช่น 12 V เราจะนิยมใช้วงจรพุก-พูล (ดูรูปที่ 3.1 ค) ทั้งนี้เพราะต้องการให้แรงดันตกคร่อมขดปฐมภูมิเท่ากับ V_s ไม่ใช่ $V_s/2$ ดังในกรณีที่กึ่งบริดจ์ และให้มีแรงดันสูญเสียเท่ากับแรงดันคร่อมสวิตช์ตัวเดียว ไม่ใช่ สองตัวดังในกรณีบริดจ์



รูปที่ 3.1 (ก) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge)

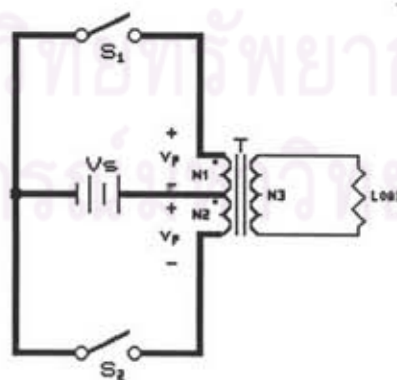
รูปที่ 3.1 (ก) แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge) ทำงานโดยใช้ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ซึ่งมีขนาดเท่ากันต่อแบบอนุกรมเพื่อแบ่งครึ่งแรงดันของ V_s เท่ากับ $V_s/2$ และสวิตช์ S_1 สลับกันทำงานกับสวิตช์ S_2 ทีละครึ่งคาบเวลา โดยในครึ่งคาบเวลาแรกสวิตช์ S_1 ต่อวงจร ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 (เท่ากับ $+V_s/2$) ป้อนเข้าขดปฐมภูมิของ

หม้อแปลง (แรงดัน V_p) และในครึ่งคาบเวลาหลังสวิตช์ S_2 ต่ วงจร ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 (เท่ากับ $-V_p/2$) ป้อนเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลง แรงดันที่ป้อนให้แก่ขดปฐมภูมิในหนึ่งคาบเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ขนาดแรงดันจากยอดถึงยอดเท่ากับ V_p



รูปที่ 3.1 (ข) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ (Bridge)

รูปที่ 3.1 (ข) แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ (Bridge) ทำงานโดยใช้สวิตช์ 4 ตัวทำงานพร้อมกันทีละ 2 ตัว ทีละครึ่งคาบเวลา โดยในครึ่งคาบเวลาแรก สวิตช์ S_1 และ S_3 ทำงาน ป้อนแรงดัน $-V_p$ เข้าหม้อแปลง และในครึ่งคาบเวลาหลัง สวิตช์ S_2 และ S_4 ทำงานป้อนแรงดัน $+V_p$ เข้าหม้อแปลง แรงดันที่ป้อนให้แก่ขดปฐมภูมิในหนึ่งคาบ เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ขนาดแรงดันจากยอดถึงยอดเท่ากับ $2V_p$



รูปที่ 3.1 (ค) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบpush-pull (Push-Pull)

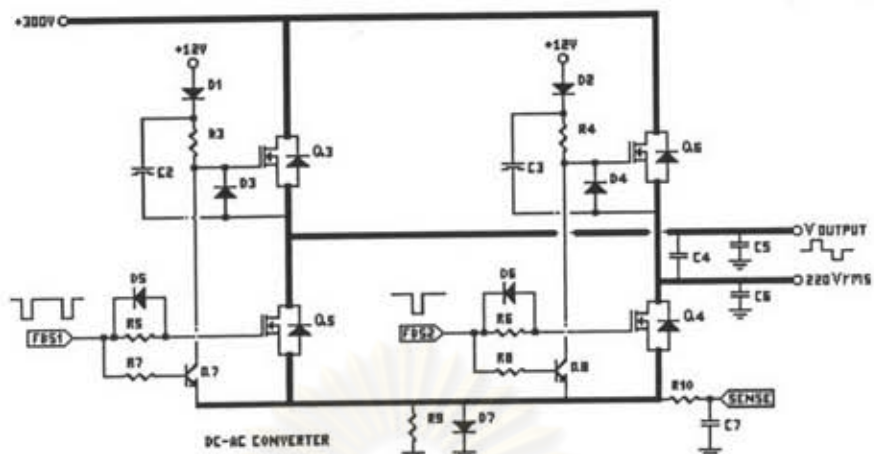
รูปที่ 3.1 (ก) แสดงอินเวอร์เตอร์แบบพุช-พูล (Push-Pull) ทำงานโดยใช้สวิตช์ 2 ตัว สลับกันทำงานทีละครึ่งคาบ ป้อนแรงดันเข้าหม้อแปลง ซึ่งมีขดปฐมภูมิ 2 ขดแบบมีขั้วร่วม (center-tap) ในครึ่งคาบเวลาแรกสวิตช์ S_1 ต่อกับขดปฐมภูมิ $-V_p$ เข้าปฐมภูมิ N_1 ของหม้อแปลง ($V_p = -V_s$) และในครึ่งคาบเวลาหลังสวิตช์ S_2 ต่อกับขดปฐมภูมิ V_p เข้าปฐมภูมิ N_2 (แรงดัน $V_p = V_s$) แรงดันที่ป้อนให้แก่ขดปฐมภูมิในหนึ่งคาบ เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมขนาดแรงดันจากยอดถึงยอดเท่ากับ $2V_s$

โครงการที่สร้างขึ้นไม่ใช้หม้อแปลงเป็นส่วนประกอบของวงจรด้านออก แต่ใช้วงจรบริดจ์เป็นอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายพลังงานโดยใช้สวิตช์ 4 ตัว ผลัดกันนำกระแสจากแรงดันไฟตรง V_s ค่าสูงประมาณเท่ากับค่าแอมพลิจูดของแรงดันไฟสลับ $220V_{RMS}$ หรือประมาณ $300V_{dc}$ อินเวอร์เตอร์ให้แรงดันออกเป็นรูปคลื่นเกือบสี่เหลี่ยม ขนาดแรงดัน $220 V_{RMS}$ ความถี่ 50 Hz เนื่องจาก V_s มีค่าสูง ซึ่งทำให้กระแสที่ผ่านสวิตช์จะต่ำกว่ากรณีที่มีค่าต่ำสำหรับกำลังด้านออกที่เท่ากัน ดังนั้นเราจึงสามารถใช้สวิตช์ขนาดเล็กได้ นอกจากนี้เพื่อความเชื่อถือได้ของวงจร เราควรมีการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น โดยการคุมค่าแรงดันไฟตรง V_s (วงจรป้อนกลับแรงดันออก, บทที่ 2) และจำกัดค่ากระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ (วงจรป้องกันกระแสเกิน, บทที่ 2)

วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ

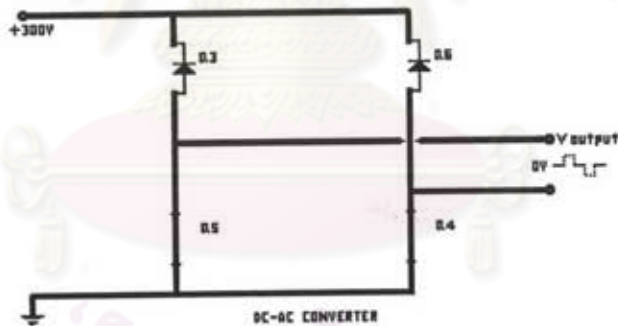
วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแสดงดังรูปที่ 3.2 ใช้ MOSFET 4 ตัวเป็นสวิตช์ (Q3-Q6) ต่อกันแบบบริดจ์ ทำงานตามสัญญาณจากวงจรหารความถี่และจัดสัญญาณรูปคลื่น (FBS1, FBS2) โดยผ่านวงจรขับนำสวิตช์ความถี่ต่ำ (Q7, Q8, R3, R4, R6-R9, C2, C3, D1-D6) โดย Q_3 จะทำงานสลับกับ Q_5 และ Q_6 ทำงานสลับกับ Q_4 ซึ่งควบคุมโดยทรานซิสเตอร์ Q_7 และ Q_8 ในวงจรมีการตรวจวัดกระแสโดยรวม จากแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_9 (0.25Ω) ผ่านตัวต้านทาน R_{10} ($10k\Omega$) และตัวเก็บประจุ $C_7(0.1\mu F)$ ซึ่งเป็นวงจรกรองส่งสัญญาณ SENSE ไปยังวงจรป้องกันกระแสเกิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



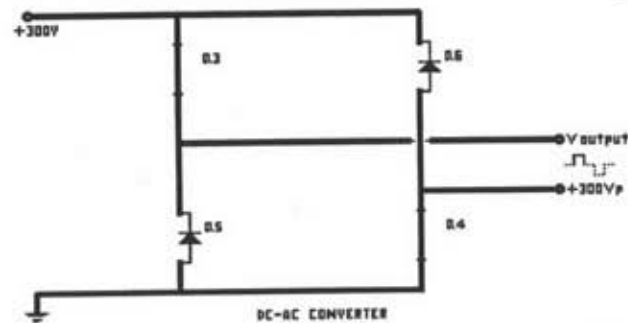
รูปที่ 3.2 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ

รูปที่ 3.2 แสดงวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ พร้อมวงจรขั้วนำสวิตช์ การวิเคราะห์การทำงานจะอ้างอิงตามสัญญาณ FBS1,FBS2 เริ่มจาก FBS1=FBS2="H"(เป็นบวก) ทำให้ สวิตช์ Q5-ON, Q4-ON, Q3-OFF, Q6-OFF แรงดันออกเท่ากับศูนย์ (0V) ดังแสดงในรูปที่ 3.3



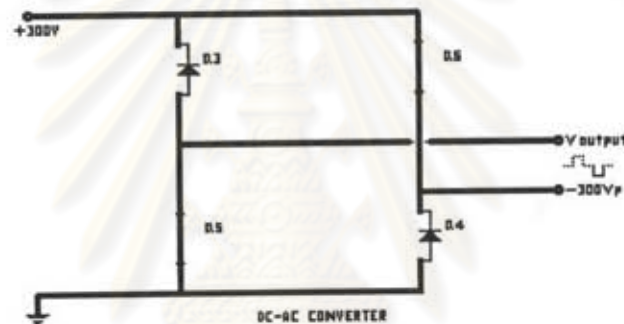
รูปที่ 3.3 การทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ ขณะสัญญาณ FBS1=FBS2="H"

เมื่อสัญญาณ FBS1="L"(เป็นศูนย์), FBS2="H" ทำให้ Q5-OFF , Q4-ON , Q3-ON , Q6-OFF แรงดันออกเท่ากับ + 300 โวลต์ (แรงดันขอด) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



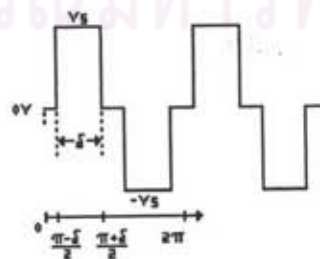
รูปที่ 3.4 การทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ ขณะสัญญาณ FBS1="L", FBS2="H"

เมื่อสัญญาณ FBS1="H", FBS2="L" ทำให้ Q5-ON , Q4-OFF , Q3-OFF , Q6-ON แรงดันออกเท่ากับ - 300 โวลต์ (แรงดันขอด) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ ขณะสัญญาณ FBS1="H", FBS2="L"

แรงดันออกของวงจรเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ รูปคลื่นเกือบสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 3.6 มีความกว้างรูปสัญญาณคงที่ ความถี่คงที่ (50 Hz) คงค่าแรงดันออก ประมาณ $220 V_{RMS}$ (ถ้ากำลังที่จ่ายแก่โหลดไม่เกิน 100 W) และสวิตช์ต้องทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 300 โวลต์ ซึ่งในวงจรใช้ MOSFET IRF730 มี $V_{DS}=400V$



รูปที่ 3.6 รูปคลื่นของแรงดันออกรูปเกือบสี่เหลี่ยม (Quasi-Square Wave)

รูปคลื่นแรงดันที่มีคาบเวลาที่ สามารถเขียนอนุกรมฟูริเยร์ของแรงดันได้ ดังนี้

$$v_o(t) = a_0 + \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} C_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (3.1)$$

$$C_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} \quad , \quad \phi_n = \tan^{-1}\left(\frac{a_n}{b_n}\right)$$

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o(\omega t) d(\omega t)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v_o(\omega t) \cos n\omega t d(\omega t)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v_o(\omega t) \sin n\omega t d(\omega t)$$

รูปคลื่นเกือบสี่เหลี่ยม มีความสมมาตรที่ครึ่งคลื่น (half-wave symmetry) คือถ้าในครึ่งคาบเวลาแรก ($0 < t \leq \pi$) แรงดันเป็นบวก ในครึ่งคาบเวลาหลัง ($\pi < t \leq 2\pi$) แรงดันมีลักษณะเหมือนกับในครึ่งแรกแต่แรงดันเป็นลบ ทำให้แรงดันเฉลี่ยต่อคาบ $a_0 = 0$ และฮาร์มอนิกอันดับคู่ ($n = 2, 4, 6, \dots$) มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่ 3.1 สามารถเขียนอนุกรมฟูริเยร์ของแรงดันที่มีรูปคลื่นเกือบสี่เหลี่ยมต่อคาบได้ดังสมการที่ 3.2 โดยรูปคลื่นมีความกว้างของแรงดัน δ ในครึ่งคาบ และมีแรงดันยอด V_s (Rashid, 1988) ดูรูปที่ 3.6 ประกอบ

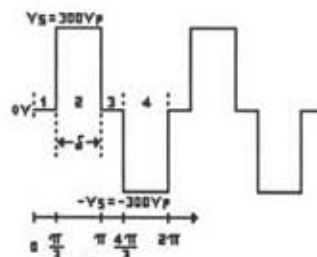
$$v_o(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin n\omega t \quad (3.2)$$

และสามารถหาค่า RMS ของแรงดันได้

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{(\pi-\delta)/2}^{\pi+\delta/2} V_s^2 d(\omega t)} = V_s \sqrt{\frac{\delta}{\pi}} \quad (3.3)$$

จากสมการที่ 3.2 ถ้าต้องการลดฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 ($n = 3$) โดยให้ $v_o(t)_{(n=3)} = 0$ จะได้ว่า $\sin(3\delta/2) = 0$ หรือ $\delta = 2\pi/3$ ดังนั้นรูปคลื่นเกือบสี่เหลี่ยมที่จะสร้างขึ้น ควรมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.7

$$\delta = \frac{2\pi}{3} \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.7 รูปคลื่นของแรงดันออกที่กำหนดเป็นรูปเกือบสี่เหลี่ยม (Quasi-Square Wave)

รูปที่ 3.7 แสดงแรงดันออกรูปคลื่นเกือบสี่เหลี่ยมที่กำหนด แบ่งเป็น 4 ช่วงเวลาต่อ 1 คาบการทำงาน ($2\pi/\omega : 20\text{ms}$) มีช่วงเวลาดาย (dead time) เท่ากับ $\pi/3\omega$ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า RMS ของแรงดันออก (V_o) รูปเกือบสี่เหลี่ยมได้ดังนี้

ให้ $+V_s$ และ $-V_s$ เท่ากับแรงดันขอด และ V_{RMS} คือค่า RMS ของแรงดันออก

$$V_{RMS} = \sqrt{\left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_o^2 \cdot d(\omega t) \right]} \quad (3.5)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\left[\left(\frac{1}{2\pi} \int_{\pi/3}^{\pi} (V_s)^2 \cdot d(\omega t) \right) + \left(\frac{1}{2\pi} \int_{4\pi/3}^{2\pi} (-V_s)^2 \cdot d(\omega t) \right) \right]} \quad (3.6)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\left[\left(\frac{1}{2\pi} \cdot V_s^2 \cdot \left(\frac{2\pi}{3} \right) \right) + \left(\frac{1}{2\pi} \cdot V_s^2 \cdot \left(\frac{2\pi}{3} \right) \right) \right]} \quad (3.7)$$

$$V_{RMS} = V_s \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (3.8)$$

ซึ่งสมการที่ 3.8 มีค่าตรงกับสมการที่ 3.3 เมื่อแทนค่า δ จากสมการที่ 3.4

ถ้า $V_s = 300$ โวลต์ จะได้ $V_{RMS} = 244.95$ โวลต์ แต่ในทางปฏิบัติ มีการควบคุมวัฏจักรงานของสวิตช์ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงให้ลดลงได้ ทำให้ $V_s \leq 300$ โวลต์ แรงดันออก (V_{RMS}) จึงอยู่ในพิสัยที่กำหนด 198-242 โวลต์

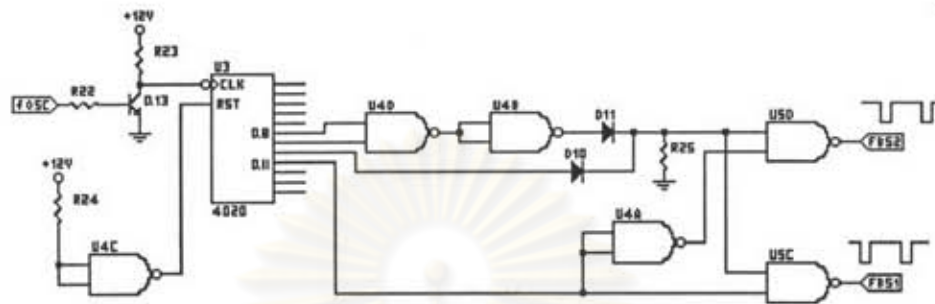
จากรูปคลื่นแรงดันออก พิจารณาย้อนกลับเพื่อหาลักษณะของสัญญาณขั้วนำ FBS1 และ FBS2 ใน 1 คาบการทำงาน (4 ช่วงเวลา) ได้ดังนี้

ช่วงเวลาที่ 1 ($0 - \pi/3$)	สัญญาณ FBS1="H", FBS2="H"
ช่วงเวลาที่ 2 ($\pi/3 - \pi$)	สัญญาณ FBS1="L", FBS2="H"
ช่วงเวลาที่ 3 ($\pi - 4\pi/3$)	สัญญาณ FBS1="H", FBS2="H"
ช่วงเวลาที่ 4 ($4\pi/3 - 2\pi$)	สัญญาณ FBS1="H", FBS2="L"

จากลักษณะสัญญาณของสัญญาณขั้วนำ จะเห็นว่าใน 1 คาบการทำงาน สัญญาณขั้วนำสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ช่วงเวลาเท่าๆกัน ($6 \times \pi/3$) โดยช่วงเวลาที่สัญญาณ FBS1=FBS2="H" เท่ากับ 1 ช่วงเวลา ($\pi/3$)

วงจรควบคุม

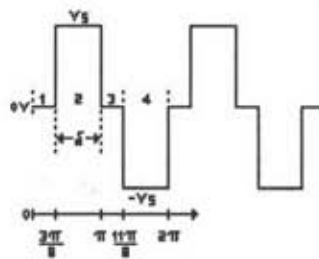
1. วงจรหารความถี่ (Counter) และจัดสัญญาณรูปคลื่น



รูปที่ 3.8 วงจรหารความถี่ และจัดสัญญาณรูปคลื่น

วงจรหารความถี่และจัดสัญญาณรูปคลื่น ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.8 ทำงานโดยรับสัญญาณนาฬิกาความถี่สูงจาก Oscillator ($f_{OSC} \approx 51.2 \text{ kHz}$) ผ่านวงจรขยาย (R_{22}, R_{23}, Q_{13}) เพื่อให้สัญญาณนาฬิกามีระดับแรงดันสูงพอที่จะป้อนเข้าขา CLK (Clock) ของวงจรมับฐานสอง (U_3) แล้วทำให้วงจรมับ ทำการหารความถี่ โดยเลือกสัญญาณออกที่ขา Q11 ($\div 1024$) เพื่อให้ได้ความถี่ 50 Hz เป็นความถี่หลัก และจัดสัญญาณรูปคลื่นใหม่โดย U_4 , U_5 , D_{10} , D_{11} เพื่อให้สามารถขับนำวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ ให้แรงดันออกเป็นรูปคลื่นเกือบสี่เหลี่ยมที่ที่ต้องการ

การออกแบบวงจรจัดรูปสัญญาณ โดยใช้สัญญาณที่ขา Q11 เป็นความถี่หลัก (50 Hz) และใน 1 คาบเวลาต้องการแบ่งออกเป็น 6 ช่วงเวลาเท่าๆกัน แต่วงจรหารความถี่ที่ใช้ หารได้ครั้งละ 2 เท่านั้น จึงต้องใช้การแบ่งที่ใกล้เคียงกับจำนวนเท่าของ 6 ได้สัญญาณที่ขา Q8 ซึ่งแบ่งเป็น 16 ช่วงเวลาใน 1 คาบการทำงาน ใกล้เคียงกับ 3 เท่าของ 6 ($3 \times 6 = 18$) ดังนั้นกำหนดให้ช่วงเวลาที่สัญญาณขับ $FBS1 = FBS2 = "H"$ (คือช่วงที่ 1 และ 3 ในรูปที่ 3.7) เท่ากับ 3 ช่วงเวลา (1.5 คาบ) ของสัญญาณที่ขา Q8 และในช่วงที่สัญญาณ $FBS1 \neq FBS2$ (ช่วงที่ 2 และ 4 ในรูปที่ 3.7) เท่ากับ 5 ช่วงเวลา (2.5 คาบ) ของ Q8 ซึ่งมีระยะสั้นกว่าที่ต้องการเล็กน้อย (ต้องการ 6 ช่วงเวลา) แต่ยังคงทำให้แรงดันออกอยู่ในพิสัย จึงสามารถใช้ได้ รูปที่ 3.9 แสดงรูปคลื่นที่จะสร้างขึ้น



รูปที่ 3.9 รูปคลื่นของแรงดันออกรูปเกือบสี่เหลี่ยมที่จะสร้างขึ้น

จากสัญญาณในรูปที่ 3.9 ถ้า $V_s = 300$ โวลต์สามารถคำนวณค่า RMS ของแรงดัน (V_{RMS})

$$\text{จากสมการที่ 3.3} \quad V_{RMS} = V_s \sqrt{\frac{\delta}{\pi}} = 300 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot \pi}{8 \cdot \pi}} = 237.17 \quad (3.9)$$

และคำนวณค่าฮาร์มอนิกจากสมการที่ 3.2

$$n = 1; \quad v_o(t)_{(n=1)} = \frac{4V_s}{\pi} \sin\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{5\pi}{8}\right) \sin \omega t = 1.06V_s \sin \omega t \quad (3.10)$$

$$n = 3; \quad v_o(t)_{(n=3)} = \frac{4V_s}{3 \cdot \pi} \sin\left(\frac{3}{2} \cdot \frac{5\pi}{8}\right) \sin 3\omega t = 0.083V_s \sin 3\omega t \quad (3.11)$$

$$n = 5; \quad v_o(t)_{(n=5)} = \frac{4V_s}{5 \cdot \pi} \sin\left(\frac{5}{2} \cdot \frac{5\pi}{8}\right) \sin 5\omega t = -0.25V_s \sin 5\omega t \quad (3.12)$$

$$n = 7; \quad v_o(t)_{(n=7)} = \frac{4V_s}{7 \cdot \pi} \sin\left(\frac{7}{2} \cdot \frac{5\pi}{8}\right) \sin 7\omega t = 0.101V_s \sin 7\omega t \quad (3.13)$$

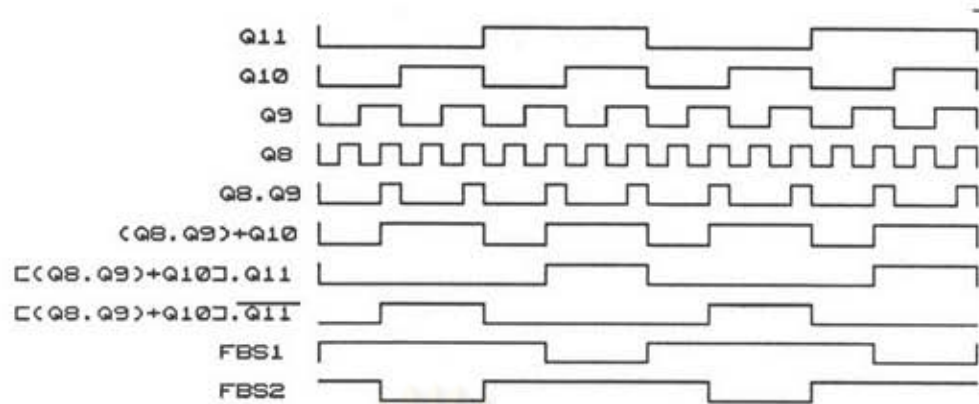
ค่า RMS ของแรงดันออกที่คำนวณได้ประมาณ 237 โวลต์ ยังอยู่ในพิสัยที่กำหนด (198-242V) และสมการที่ 3.11 แสดงค่าฮาร์มอนิกที่ 3 ไม่เท่ากับศูนย์ แต่มีค่าน้อยกว่าฮาร์มอนิกที่ 5 และฮาร์มอนิกที่ 7 และเมื่อนำแอมพลิจูดของฮาร์มอนิก ($n=3,5,7$) มาเทียบกับแรงดันที่มีความถี่หลักมูล ($n=1$: 100%)

$$\text{ฮาร์มอนิกที่ 3 มีขนาด} \quad (0.083/1.06) \times 100 = 7.83 \% \quad (3.14)$$

$$\text{ฮาร์มอนิกที่ 5 มีขนาด} \quad (0.25/1.06) \times 100 = 23.58 \% \quad (3.15)$$

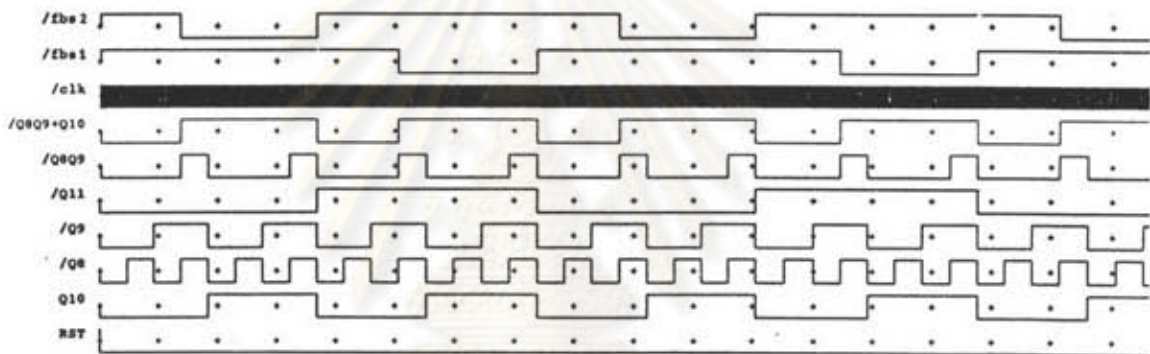
$$\text{ฮาร์มอนิกที่ 7 มีขนาด} \quad (0.101/1.06) \times 100 = 9.53 \% \quad (3.16)$$

สัญญาณ 1.5 คาบของ Q8 ได้มาจาก นำ Q8 มาผ่าน logic-AND (U4B,D) ร่วมกับ Q9 ซึ่งมีความถี่ ครึ่งหนึ่งของ Q8 ได้สัญญาณ (Q8.Q9) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และเมื่อนำสัญญาณ (Q8.Q9) มาผ่าน logic-OR (D10,D11) ร่วมกับ Q10 ได้สัญญาณ (Q8.Q9)+Q10 ซึ่งมีช่วงเวลา 1.5 คาบและ 2.5 คาบของ Q8 แต่ความถี่เป็น 2 เท่าของที่ต้องการ จึงนำมาผ่าน logic-NAND (U5C,D) ร่วมกับ สัญญาณ Q11 และ invert-Q11 (โดย U4A) ได้สัญญาณ FBS1 , FBS2 ที่ต้องการ

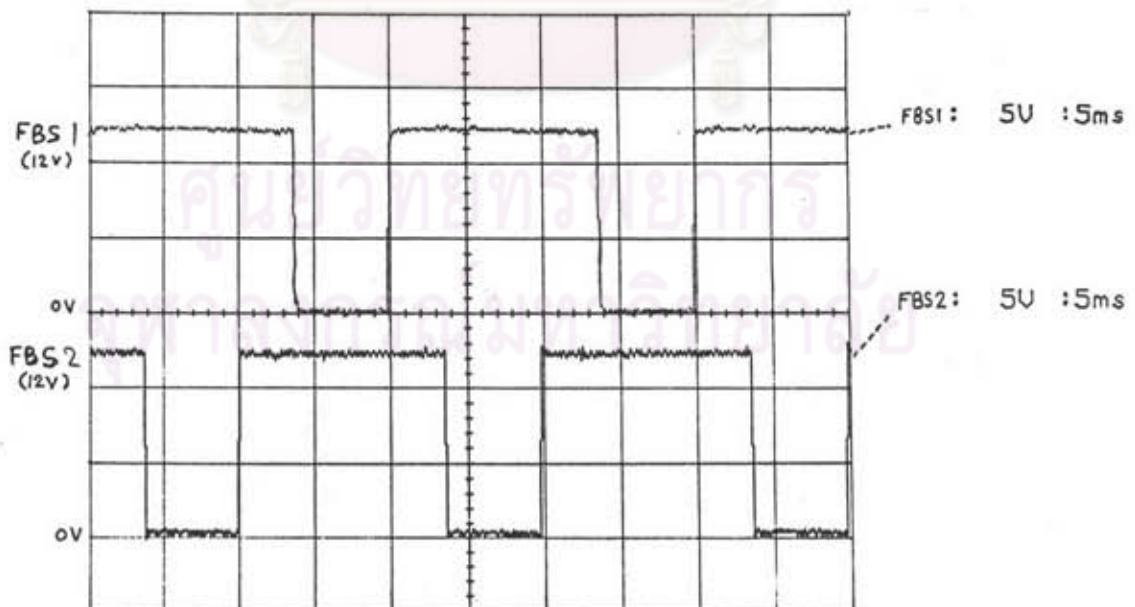


รูปที่ 3.10 แสดงสัญญาณที่ทำการจัดสรรฐานรูปคลื่นใหม่

รูปที่ 3.11 แสดงผลที่ได้จากการจำลองการทำงาน (simulate) โดยโปรแกรม Quick-Sim จะเห็นว่าสัญญาณขับ FBS1 และ FBS2 มีลักษณะตามที่ออกแบบ (ตามรูปที่ 3.10) และตรงกับสัญญาณจริงที่วัดจากวงจรใช้งาน (FBS1,FBS2) ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 ผลการจำลองการทำงาน วงจรหาความถี่ และจัดสรรฐานรูปคลื่น โดย Quick Sim

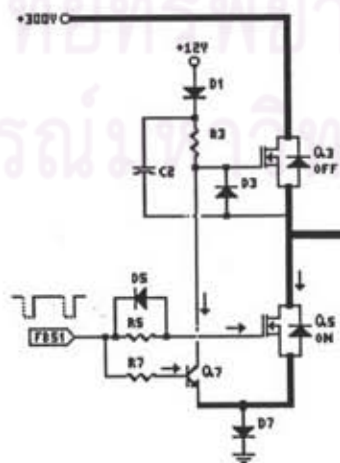


รูปที่ 3.12 สัญญาณขับนำสวิทช์ความถี่ต่ำ วัดจากวงจรใช้งานจริง

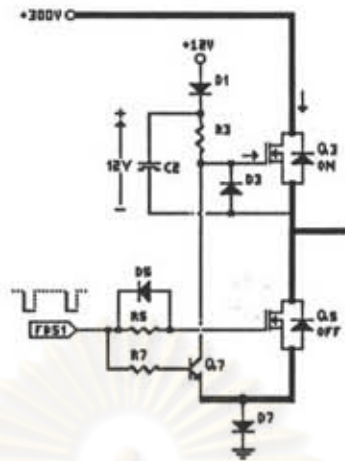
2. วงจรขับนำสวิตช์ความถี่ต่ำ

วงจรขับนำสวิตช์ความถี่ต่ำ (ดูรูปที่ 3.2 ประกอบ) รับสัญญาณมาจากวงจรหารความถี่ และจัดสัญญาณรูปคลื่นแล้วทำหน้าที่ขับนำสวิตช์ทั้ง 4 ตัว (Q3-Q6) ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ เนื่องจากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับมีลักษณะสมมาตรระหว่างด้าน FBS1-Q3-Q5-Q7 กับด้าน FBS2-Q6-Q4-Q8 จึงวิเคราะห์เฉพาะด้าน FBS1-Q3-Q5-Q7 (ส่วนด้าน FBS2-Q6-Q4-Q8 มีการทำงานในลักษณะเดียวกัน) เพื่อให้อธิบายการทำงานของวงจรสะดวก ขั้นแรกจะวิเคราะห์ โดยยังไม่มีแรงดัน 300 โวลต์ มีแต่แรงดัน 12 โวลต์ และสัญญาณ FBS1 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ถูกจัดสัญญาณรูปคลื่นใหม่ มีขนาดแรงดัน 0-12 โวลต์

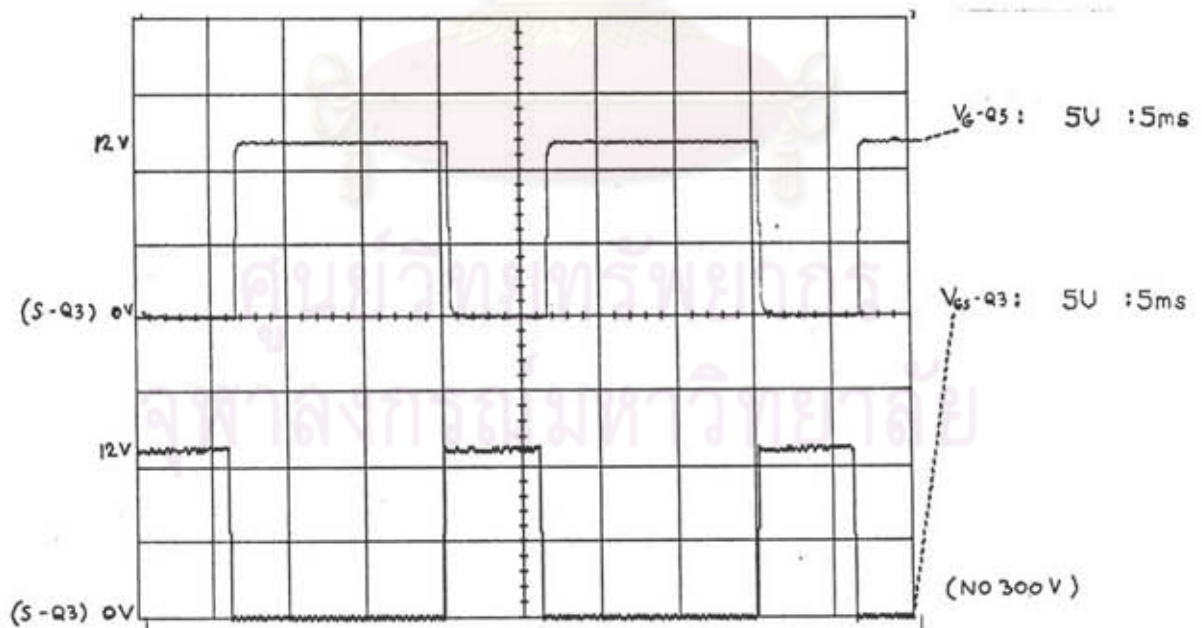
เมื่อสัญญาณ FBS1 เป็นบวก(+12V) ทำให้สวิตช์ Q5 นำกระแสโดยมี R5(100kΩ) จำกัด กระแสที่ไหลเข้าขาเกตของ MOSFET Q5 (12V/100kΩ=120μA) และไดโอด D5 ช่วยดึงกระแส ในขณะที่สัญญาณ FBS1 เป็นศูนย์ (0V) ทำให้ช่วงเวลาที่ Q5 หยุดนำกระแส (OFF) เร็วขึ้น ทรานซิสเตอร์ Q7 ทำงาน พร้อมกับ Q5 โดยมี R7 (10kΩ) จำกัดกระแสเข้าขาเบสของ Q7 (12V/10kΩ = 1.3mA) และ R3 (2kΩ) จำกัดกระแสที่ไหลผ่านขาคอลเล็กเตอร์ของ Q7 (12V/2kΩ = 6mA) ในช่วงที่ Q5 และ Q7 นำกระแส นั้น กระแสที่ไหลผ่านไดโอด D1 บางส่วน ไหลเข้าประจุตัวเก็บประจุ C2 ผ่านสวิตช์ Q5 ลงกราวด์(ดูรูปที่ 3.13) แรงดันคร่อมเกต-ซอร์สของ Q3 (หรือคร่อมไดโอด D3) คือแรงดันที่ตกคร่อม Q7 (ขณะนำกระแส) ลบด้วยแรงดันตกคร่อม Q5 (ขณะนำกระแส) ผลลัพธ์ที่ได้ต่ำกว่า 2 โวลต์ (แรงดันต่ำสุดที่ทำให้ MOSFET ทำงาน) ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้ MOSFET Q3 ทำงาน นั่นคือขณะที่ Q5,Q7 นำกระแส สวิตช์ Q3 จะไม่นำกระแส และเมื่อสัญญาณ FBS1 เป็นศูนย์ (0V) ทำให้ Q5,Q7 ไม่นำกระแส แรงดันที่ ตัวเก็บประจุ C2 (10μF) ประมาณ 12V คายประจุผ่าน R3 (2kΩ) ป้อนเข้าขาเกต-ซอร์สของ Q3 ทำให้ Q3 นำกระแส โดยมี R3 เป็นตัวจำกัดกระแส (12V/2kΩ=6mA) ดูรูปที่ 3.14



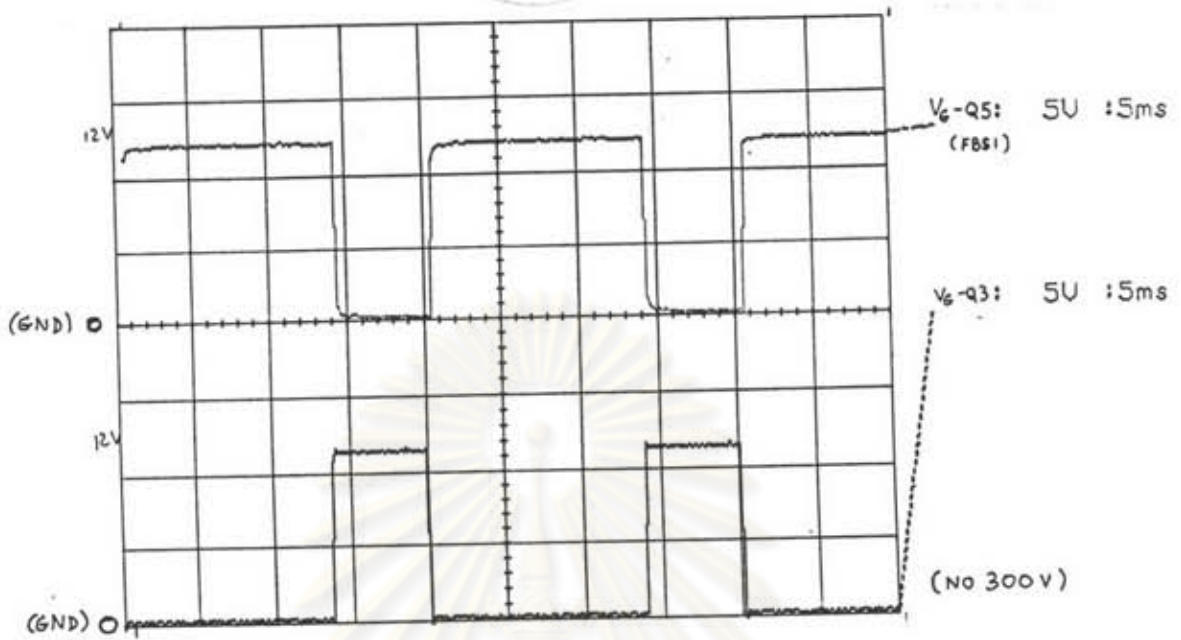
รูปที่ 3.13 วงจรขับนำขณะที่ Q5,Q7 นำกระแส และ Q3 ไม่นำกระแส



รูปที่ 3.14 วงจรขับนำขั้วที่ Q5,Q7 ไม่นำกระแส และ Q3 นำกระแส

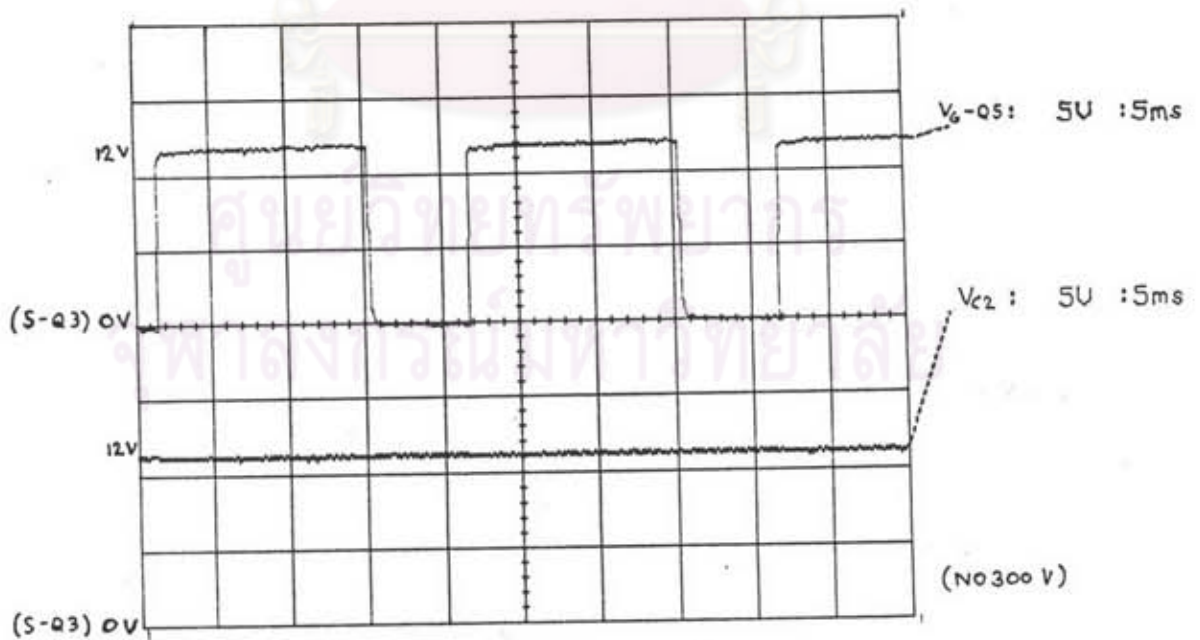


รูปที่ 3.15 รูปคลื่นของแรงดัน V_{gs} -Q3(ต่าง) และ V_{gs} -Q5(บน) เทียบกับขาจอร์ตของ Q3 (ไม่มี 300 V)

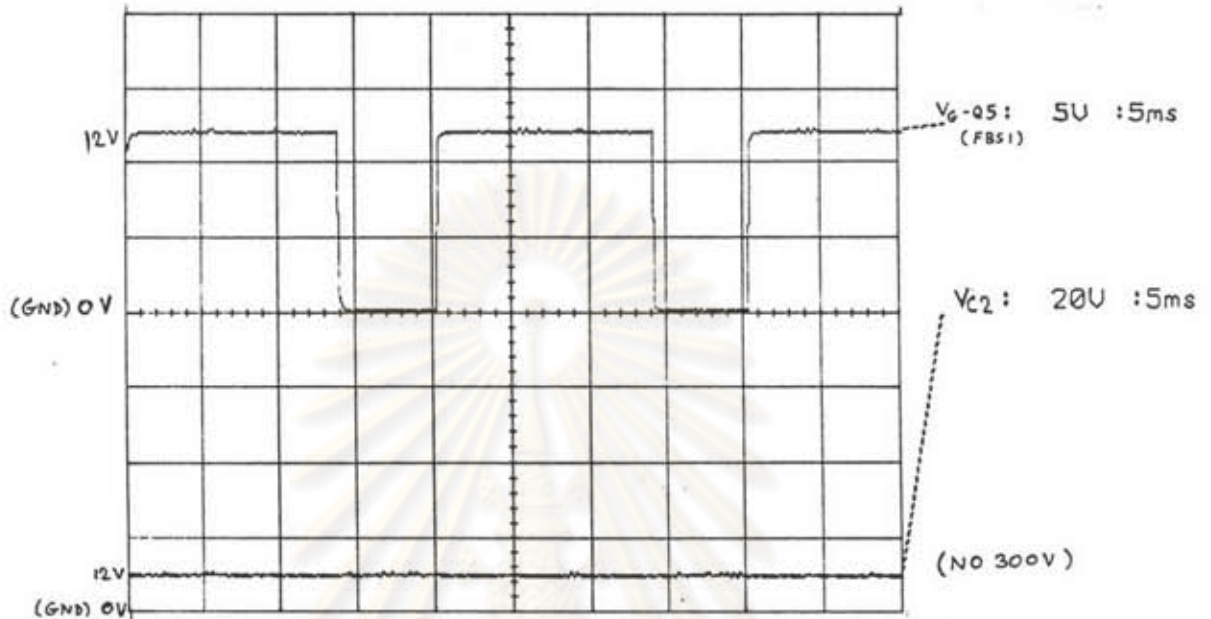


รูปที่ 3.16 รูปคลื่นของแรงดัน V_{gs-Q3} (ล่าง) และ V_{gs-Q5} (บน) เทียบกับกราวด์ (ไม่มี 300V)

รูปที่ 3.15 (บน) แสดงสัญญาณที่ขาเกตของ MOSFET-Q5 โดยวัดอ้างอิงกับขาซอร์สของ MOSFET-Q3 ซึ่งมีรูปสัญญาณสลับกับ Q3 (รูป 3.15 ล่าง) เปรียบเทียบกับรูปที่ 3.16 ซึ่งวัดอ้างอิงกับขาซอร์สของ MOSFET-Q5 (เกือบเทียบเท่ากับกราวด์ของวงจร)



รูปที่ 3.17 รูปคลื่นของแรงดัน V_{gs-Q5} (บน) เทียบกับขาซอร์สของ Q3 และ แรงดันตกคร่อม C2 (ไม่มี 300V)



รูปที่ 3.18 รูปคลื่นของแรงดัน V_{gs-Q5} (บน) และ แรงดันตกคร่อม C2 เทียบกับกราวด์ (ไม่มี 300V)

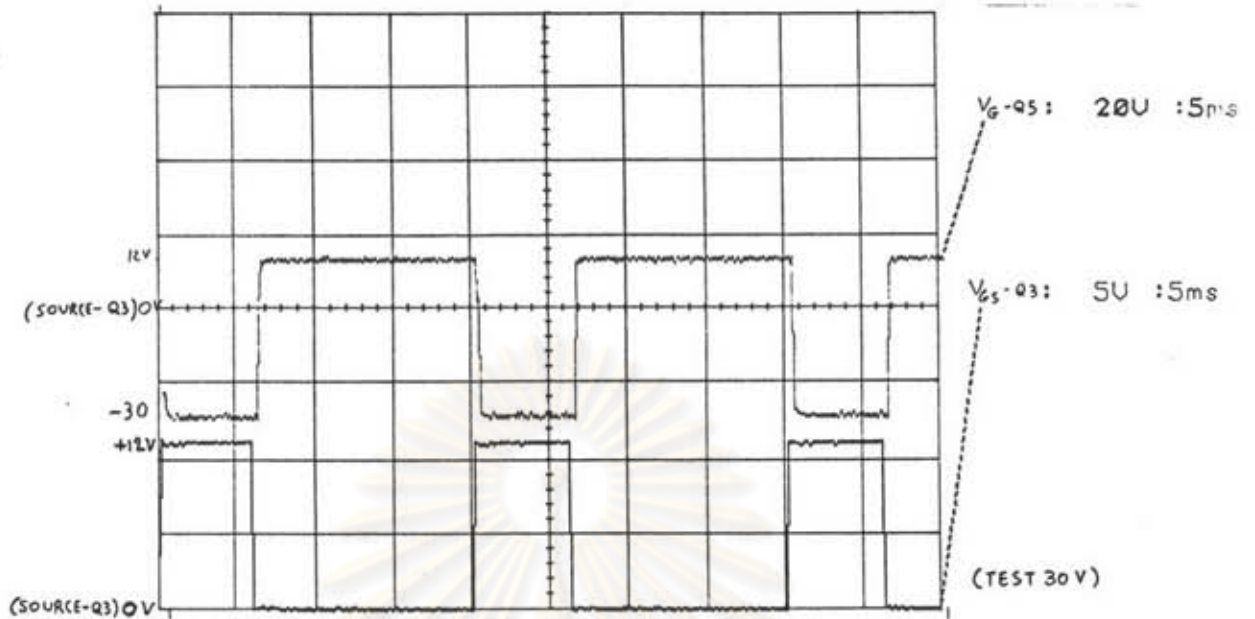
รูปที่ 3.17 (ล่าง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C2 เปรียบเทียบกับรูปที่ 3.18(ล่าง) วัดแรงดันที่ขั้วบวกของตัวเก็บประจุเทียบกับกราวด์วงจร จะเห็นว่าขณะยังไม่มีแรงดัน 300 โวลต์ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C2 มีค่าประมาณ 12 โวลต์คงที่ ถึงแม้ว่าสัญญาณขั้วนำ "H" หรือ "L"

ขั้นต่อไปวิเคราะห์วงจรโดยมีแรงดัน 300 โวลต์ป้อนมาจากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง พร้อมกับมีแรงดันไฟเลี้ยง 12 โวลต์ และสัญญาณขั้วนำ FBS1

เมื่อสัญญาณ FBS1 เป็นบวก ทำให้ Q5, Q7 นำกระแสและ Q3 ไม่นำกระแส (ดูรูปที่ 3.13 ประกอบ) การทำงานของวงจรเหมือนเดิม เพื่อความสะดวกในการทดสอบใช้แรงดัน 30 V แทน 300V ผลที่ได้คือแรงดันที่จุดต่างๆ ยังคงเท่าเดิม (ขณะ Q5 นำกระแส) เหมือนตอนไม่มีแรงดัน 300V แสดงในรูปที่ 3.19-3.21

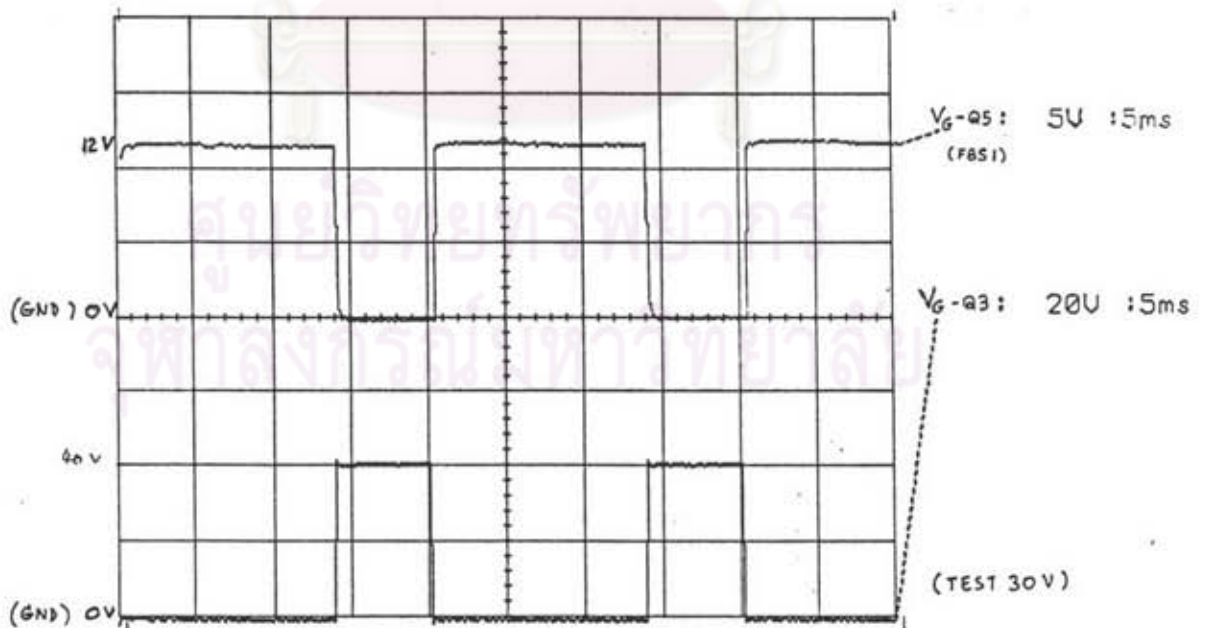
เมื่อสัญญาณ FBS1 เป็นศูนย์ทำให้ Q5, Q7 ไม่นำกระแสและ Q3 นำกระแส (ดูรูปที่ 3.14) การทำงานของวงจรเหมือนเดิม โดยมีแรงดันที่จุดต่างๆ (ในการทดสอบใช้แรงดัน 30V) ดังนี้

- แรงดันที่ขาเกต-ซอร์สของ Q3 ยังคงเท่าเดิม แสดงในรูปที่ 3.19 (ล่าง)-มีแรงดัน 30 V พิจารณาเทียบกับรูปที่ 3.15 (ล่าง)-ไม่มีแรงดัน 30 V เห็นว่ามีแรงดัน 0-12 V เท่ากัน



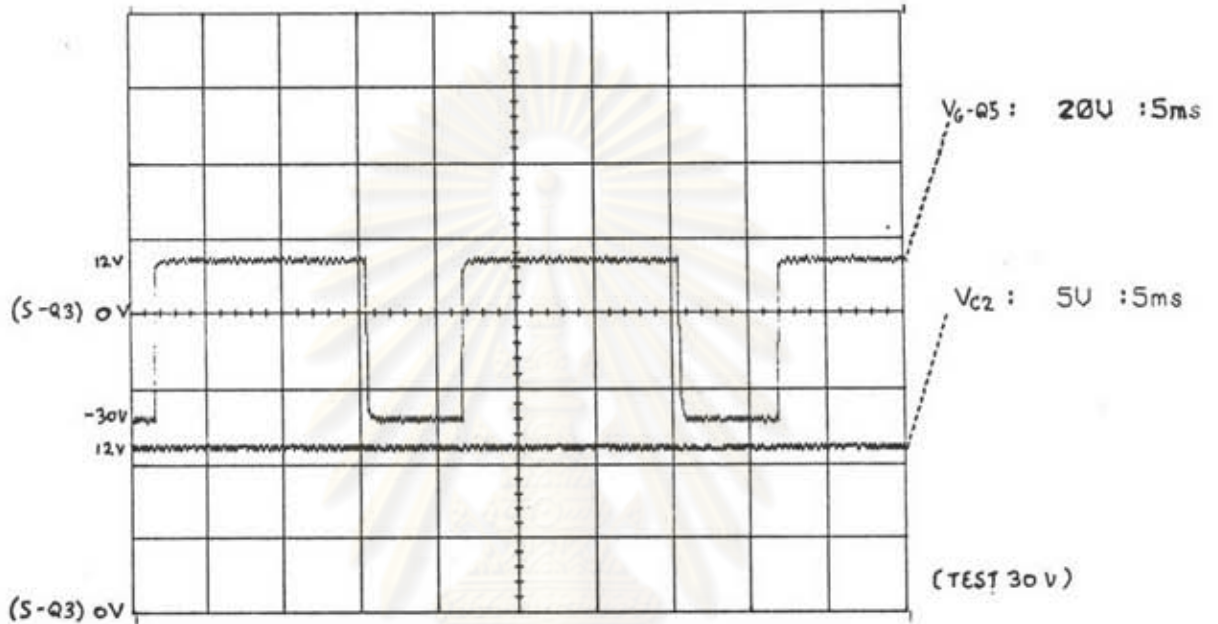
รูปที่ 3.19 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q3} (ล่าง) และ V_{GS-Q5} (บน) เทียบกับขาซอร์สของ Q3 (มี 30 V)

- แรงดันที่ขาเกต-ซอร์สของ Q5 ยังคงเท่าเดิม แสดงในรูปที่ 3.20 (บน)-มีแรงดัน 30 V พิจารณาเทียบกับรูปที่ 3.16 (บน)-ไม่มีแรงดัน 30 V เห็นว่ามีแรงดัน 0-12 V เท่ากัน รูปที่ 3.20 (ล่าง) คือแรงดันเกตของ Q3 วัตถุประสงค์กับกราวด์วงจร หรือคือแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ Q7 จะเห็นว่ามีแรงดันเพิ่มขึ้นเป็น $30+12=42V$ ซึ่งเท่ากับ V_S บวกแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ C2

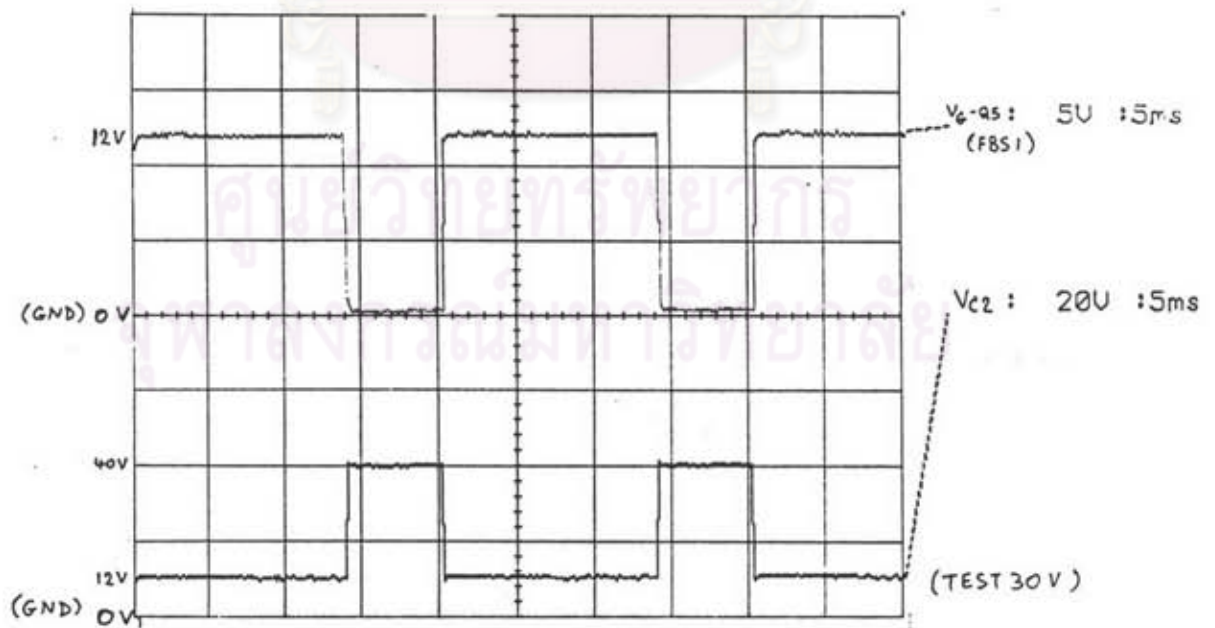


รูปที่ 3.20 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q3} (ล่าง) และ V_{GS-Q5} (บน) เทียบกับกราวด์ (มี 30 V)

- แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C2 ยังคงเท่าเดิม แสดงในรูปที่ 3.21 (ล่าง)-มีแรงดัน 30 V พิจารณาเทียบกับรูปที่ 3.17(ล่าง)-ไม่มีแรงดัน 30V เห็นว่ามีแรงดัน 12V เท่ากัน แต่มีแรงดัน 30V เพิ่มขึ้นจาก 12 V ($30+12=42V$) ตกคร่อมทรานซิสเตอร์ Q7 (ขณะไม่นำกระแส) แสดงในรูปที่ 3.22 (ล่าง)-มีแรงดัน 30 V ดูเทียบกับรูปที่ 3.18 (ล่าง)-ไม่มี 300V ฉะนั้นวงจรใช้งานจริง Q7 ต้องทนแรงดันได้มากกว่า $300+12=312V$ ซึ่งเลือกใช้งานทรานซิสเตอร์ที่มี $V_{CEO} = 400V$



รูปที่ 3.21 รูปคลื่นของแรงดัน V_{gs-Q5} (บน) เทียบกับขาซอร์สของ Q3 และ แรงดันตกคร่อม C2 (มี 30 v)



รูปที่ 3.22 รูปคลื่นของแรงดัน V_{gs-Q5} (บน) และ แรงดันตกคร่อม C2 เทียบกับกราวด์ (มี 30 v)