

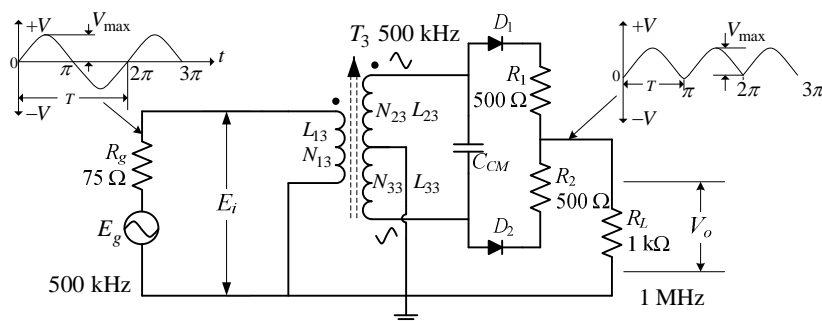
บทที่ 4 วงจรทวีความถี่

วงจรทวีความถี่ หมายถึง วงจรที่ทำหน้าที่ เพิ่มความถี่สัญญาณออกให้เป็น 2 เท่า หรือ 3 เท่า ของสัญญาณเข้า โดยพื้นฐานของวงจรทวีความถี่ จะทำให้เกิดสัญญาณฮาร์มอนิกที่ 2 หรือ 3 โดยการ จัดจุดทำงานชั้นบี ให้แก่ ทรานซิสเตอร์ขยายแรงดันทำการคูณเฉพาะสัญญาณฮาร์มอนิกที่ต้องการ แต่ มีข้อเสียก็คือ การจัดจุดทำงานชั้นบี นั้นสัญญาณเข้า จะต้องมีแรงดันสูงกว่า 0.6 V ขึ้นไปซึ่งสิ้นเปลือง วงจรขยายสัญญาณ และฮาร์มอนิกที่ 3, 4 และที่ 5 มีความแรงของสัญญาณลดลงมาก วงจรคูณจะต้อง มีค่าตัวประกอบคุณภาพ (Q) สูง และค่าแบนด์วิดท์ ต้องแคบ จึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงจูนแบบแท้ป 1 ชุด ต่อการคูณหนึ่งความถี่ วงจรใช้พื้นที่มาก และต้องซัดด้วยแผ่นโลหะ

ในบทนี้ ขอก้าว ถึงวงจรทวีความถี่ 2 เท่า โดยใช้ไดโอด, วงจรทวีความถี่ 2 เท่า โดยใช้ ทรานซิสเตอร์และไดโอด และวงจรทวีความถี่แบบคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทั้ง 2 วงจรแรก ใช้หลักการของ การเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ไม่ต้องกรองกระแสให้เรียบ จะได้สัญญาณออกมีความถี่เป็น 2 เท่าของ สัญญาณเข้า ส่วนของวงจรทวีความถี่แบบคอนเวอร์เตอร์ ใช้หลักการนำเอาสัญญาณ 2 สัญญาณ มา รวมกันแล้วคัดเลือกเอาเฉพาะสัญญาณที่เป็นผลบวก

วงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ทรานซิสเตอร์และไดโอด เป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพ ในการ ทวีความถี่ สามารถตอบสนองช่วงความถี่ได้กว้าง ใช้ทรานซิสเตอร์จัดเฟสของสัญญาณให้แก่ ไดโอด จึงไม่ต้องอาศัยหม้อแปลงจูนถ้าหากใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีค่า F_T สูง ก็จะตอบสนองความถี่ได้สูงขึ้น

4.1 วงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ไดโอด



$$D_1, D_2 \quad t_{rr} = 0, V_F = 0.35 \text{ V}, I_F = 5 \text{ mA}, V_R = 20 \text{ V}, \text{PIV} = 50 \text{ V};$$

$$T_3 \quad L_{13} = 1.40 \text{ } \mu\text{H}, L_{23} = 170 \text{ } \mu\text{H}, L_{33} = 170 \text{ } \mu\text{H}, N_{13} = 7 \text{ T}, N_{23} = 79 \text{ T}, N_{33} = 79 \text{ T};$$

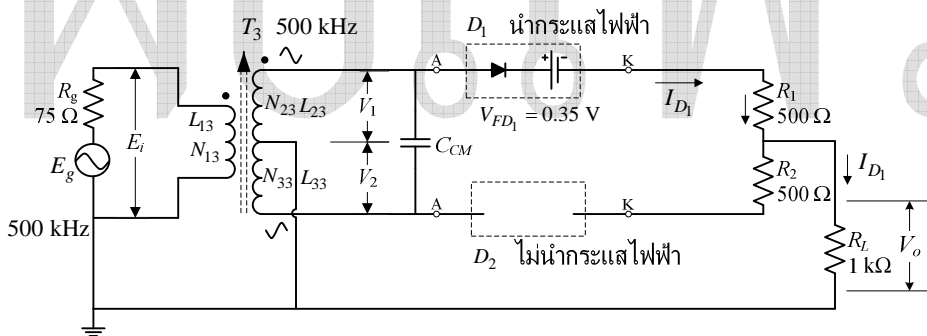
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ไดโอด

จากรูปที่ 4.1 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- T_3 หม้อแปลงจูน 500 kHz ทำหน้าที่ คัดเลือกสัญญาณที่มีความถี่ 500 kHz โดย L_{43} และ C_{CM} ประกอบกันเป็นวงจรจูนแบบขนาน เรโซแนนซ์ที่ 500 kHz และ แบ่งสัญญาณเป็น 2 ชุด โดยมีเฟสต่างกัน 180° ป้อนให้แก่ D_1 และ D_2
- (•) เครื่องหมายแสดงเฟส ทำให้ทราบว่าตำแหน่ง ที่มีเครื่องหมายนี้อยู่ จะมีเฟสตรงกัน
- D_1 และ D_2 เบอร์ 1N60 ไดโอดดีเทกเตอร์สัญญาณความถี่สูงแบบพอยต์ คอนแทกต์ ขอมให้กระแสไหลผ่านได้ทางเดียว มีค่า V_F ต่ำประมาณ 0.2-0.3 V หรือใช้ซอตต์กีไดโอดแทน
- R_1 และ R_2 ทำหน้าที่ จำกัดปริมาณของกระแส I_{D1} และ I_{D2} ให้เท่ากัน เพื่อให้ได้สัญญาณช่วง $(0-\pi)$ และ $(\pi-2\pi)$ ไหลผ่าน R_L เท่ากัน สาเหตุที่ต้องทำการปรับแต่งค่าของ R_1 และ R_2 เนื่องจากจำนวนรอบของ N_{22} และ N_{32} ไม่เท่ากัน หรือค่า V_{FD1} ไม่เท่ากับ V_{FD2}
- V_o มีค่าความถี่ 2 เท่าของความถี่ E_g

4.1.1 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสสลับของวงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ไดโอด

4.1.1.1 การประมาณค่า I_{D1} และ I_{D2}



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสสลับของวงจรทวีความถี่ 2 เท่า โดยใช้ไดโอดช่วง $(0-\pi)$

จากรูปที่ 4.2 ช่วง $(0-\pi)$ D_1 จะนำกระแส และ D_2 ไม่นำกระแส จะได้สมการ

จากสมการ (3.8)

$$\frac{E_P}{N_P} = \frac{E_S}{N_S}$$

โดยที่ $E_P = E_i, E_S = V_1, N_P = N_{13}, N_S = N_{23};$

$$\frac{E_i}{N_{13}} = \frac{V_1}{N_{23}}, \frac{E_i N_{23}}{N_{13}} = V_1;$$

$$\boxed{V_1 = \frac{E_i N_{23}}{N_{13}}, V_1 = V_2;} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{FD1} + I_{D1} R_1 + I_{D1} R_L \\ V_1 - V_{FD1} &= I_{D1} (R_1 + R_L) \\ I_{D1} &= \frac{V_1 - V_{FD1}}{(R_1 + R_L)} = \frac{V_1}{(R_1 + R_L)} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)} \end{aligned}$$

เนื่องจาก $V_1 = \frac{E_i N_{23}}{N_{13}}$

$$\boxed{I_{D1} = \frac{E_i N_{23}}{(R_1 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)}} \quad (4.2)$$

จากสมการ (4.2) $I_{D1} = \frac{E_i N_{23}}{(R_1 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)}$ สามารถประมาณค่า E_i

$$\begin{aligned} I_{D1} &= \frac{E_i N_{23} - V_{FD1} N_{13}}{(R_1 + R_L) N_{13}} \\ I_{D1} (R_1 + R_L) N_{13} &= E_i N_{23} - V_{FD1} N_{13} \\ E_i N_{23} - V_{FD1} N_{13} &= I_{D1} (R_1 + R_L) N_{13} \\ E_i N_{23} &= I_{D1} (R_1 + R_L) N_{13} + V_{FD1} N_{13} \end{aligned}$$

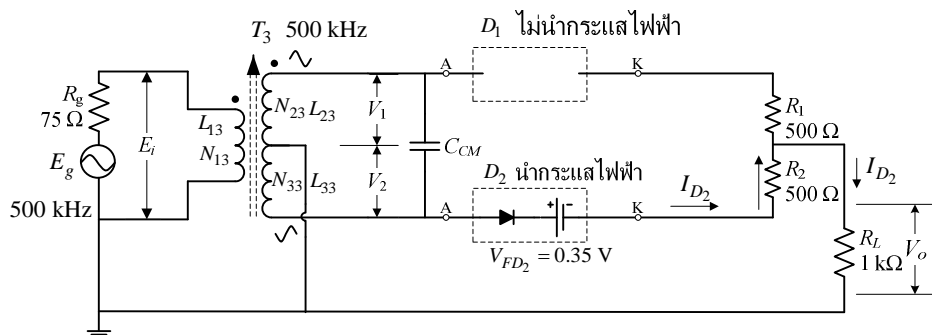
ดังนั้น

$$\boxed{E_i = \frac{I_{D1} (R_1 + R_L) N_{13} + V_{FD1} N_{13}}{N_{23}}} \quad (4.2a)$$

โดยที่ E_i คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ L_{13} ของ T_3

จากรูปที่ 4.3 ช่วง $(\pi-2\pi)$ D_2 จะนำกระแสไฟฟ้า และ D_1 ไม่นำกระแสไฟฟ้า

เนื่องจาก $V_1 = V_2$ ดังนั้นจะได้สมการ



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสสลับของวงจรทวีความถี่ 2 เท่าช่วง $(\pi-2\pi)$

$$I_{D2} = \frac{V_2 - V_{FD2}}{(R_2 + R_L)} = \frac{V_2}{(R_2 + R_L)} - \frac{V_{FD2}}{(R_2 + R_L)}$$

เนื่องจาก $V_2 = \frac{E_i N_{33}}{N_{13}}$

ดังนั้น
$$I_{D2} = \frac{E_i N_{33}}{(R_2 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD2}}{(R_2 + R_L)} \quad (4.3)$$

ตัวอย่างที่ 4.1 จากรูปที่ 4.2 จงประมาณค่า $E_i (V_{\text{peak}})$ เมื่อกำหนด $I_{D1} = 1 \text{ mA}_{\text{peak}}$

วิธีทำ จากสมการ (4.2a)
$$E_i = \frac{I_{D1} (R_1 + R_L) N_{13} + V_{FD1} N_{13}}{N_{23}}$$

โดยที่ E_i คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ L_{13} ของ T_3

$$R_1 = 500 \Omega, R_L = 1 \text{ k}\Omega, N_{13} = 7 \text{ T}, N_{23} = 79 \text{ T}, V_{FD1} = 0.35 \text{ V};$$

$$E_i = \frac{\{7 \times 10^{-3} (500 + 1 \times 10^3)\} + (0.35 \times 7)}{79} = 163.924 \text{ mV}_{\text{peak}}$$

ตอบ $E_i = 163.924 \text{ mV}_{\text{peak}}$

4.1.1.2 การประมาณค่า $F_{R(L_{43})}$

$F_{R(L_{43})}$ คือ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ตำแหน่ง L_{43} เกิดจาก $(L_{43} \parallel C_{CM})$ และจำเป็นต้องทราบค่าของ L_{43} เพื่อประมาณค่าของ C_{CM}

$$\frac{L_{13}}{L_{43}} = \frac{N_{13}^2}{(N_{23} + N_{33})^2}$$

$$L_{43} = \frac{L_{13} (N_{23} + N_{33})^2}{N_{13}^2} \quad (4.4)$$

จากสมการ (3.1b)
$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

โดยที่ $F_R = F_{R(L_{43})}, L = L_{43}, C = C_{CM};$

ดังนั้น
$$F_{R(L_{43})} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{43}C_{CM}}} \quad (4.5)$$

$$C_{CM} = \frac{1}{L_{43} (2\pi F_{R(L_{43})})^2} \quad (4.5a)$$

ตัวอย่างที่ 4.2 จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จงประมาณค่า C_{CM} เมื่อ E_g มีความถี่ 500 kHz

วิธีทำ จากสมการ (4.4)
$$L_{43} = \frac{L_{13} (N_{23} + N_{33})^2}{N_{13}^2} = \frac{1.40 \times 10^{-6} (79 + 79)^2}{(7)^2}$$

$$L_{43} = 713.257 \mu\text{H}$$

จากสมการ (4.5a)
$$C_{CM} = \frac{1}{L_{43} (2\pi F_{R(L_{43})})^2}$$

โดยที่ $F_{R(L_{43})} = 500 \text{ kHz}$, $L_{43} = 713.257 \mu\text{H}$;

$$C_{CM} = \frac{1}{713.257 \times 10^{-6} (2 \times 3.14 \times 500 \times 10^3)^2} = 142.198 \text{ pF}$$

ตอบ $C_{CM} = 142.198 \text{ pF}$

4.1.1.3 การประมาณค่า $B_W(L_{43})$

จากรูปที่ 4.2 จะต้องทราบค่าของ R ที่เสนอต่อ C_{CM} ได้แก่ การย้าย R_g ไปที่ตำแหน่ง L_{23} กลายเป็น $R_{g(L_{23})}$ และย้าย $\{R_{g(L_{23})} \parallel (r_{d1} + R_1 + R_L)\}$ ไปที่ตำแหน่ง L_{43} กลายเป็น R_{BW}

จากสมการ (1.20)

$$r_d = \frac{(k_B T / q)}{I_D}$$

ดังนั้น

$$r_{d1} = r_d = \frac{(k_B T / q)}{I_D} \quad (4.5b)$$

โดยที่ r_{d1} คือ ค่าความต้านทานที่จุดทำงานของไดโอด D_1

จากสมการ (3.10)
$$\frac{Z_P}{N_P^2} = \frac{Z_S}{N_S^2}, Z_P = \frac{Z_S N_P^2}{N_S^2};$$

โดยที่ $Z_P = R_{BW}$, $Z_S = R_{g(L_{23})} \parallel (r_{d1} + R_1 + R_L)$, $N_P = N_{23} + N_{33}$, $N_S = N_{23}$;

$$R_{g(L_{23})} = \frac{R_g N_{23}^2}{N_{13}^2}$$

ดังนั้น

$$R_{BW} = \frac{R_{g(L_{23})} (r_{d1} + R_1 + R_L)}{(R_{g(L_{23})} + r_{d1} + R_1 + R_L)} \times \frac{(N_{23} + N_{33})^2}{N_{23}^2} \quad (4.5c)$$

โดยที่ R_{BW} คือ ค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_{CM} ที่ตำแหน่ง L_{43}

$R_{g(L_{23})}$ คือ ค่าความต้านทานที่ย้ายจาก L_{13} ไปยัง L_{23}

จากสมการ (3.2)
$$B_W = \frac{1}{2\pi CR}$$

โดยที่ $B_W = B_{W(L_{43})}$, $R = R_{BW}$, $C = C_{CM}$;

ดังนั้น
$$B_{W(L_{43})} = \frac{1}{2\pi C_{CM} R_{BW}} \quad (4.5d)$$

ตัวอย่างที่ 4.3 จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จงประมาณค่า $B_{W(L_{43})}$

วิธีทำ จากสมการ (4.5b)
$$r_{d1} = r_d = \frac{(k_B T/q)}{I_D} = \frac{k_B T}{q I_D}$$

โดยที่ $I_D = (0.318) I_{D1} = 0.318 \times 1 \times 10^{-3} = 0.318 \text{ mA}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$;

$$r_{d1} = \frac{1.38 \times 10^{-23} (273 + 25)}{0.318 \times 10^{-3} \times 1.60 \times 10^{-19}} = 80.825 \Omega$$

$$R_{g(L_{23})} = \frac{R_g N_{23}^2}{N_{13}^2} = \frac{75 \times (79)^2}{(7)^2} = 9.552 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (4.5c)
$$R_{BW} = \frac{R_{g(L_{23})} (r_{d1} + R_1 + R_L)}{(R_{g(L_{23})} + r_{d1} + R_1 + R_L)} \times \frac{(N_{23} + N_{33})^2}{N_{23}^2}$$

$$R_{BW} = \frac{9.522 \times 10^3 (80.825 + 500 + 1,000)}{(9.522 \times 10^3 + 80.825 + 500 + 1,000)} \times \frac{(79 + 79)^2}{(79)^2} = 5.422 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (4.5d)
$$B_{W(L_{43})} = \frac{1}{2\pi C_{CM} R_{BW}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 142.198 \times 10^{-12} \times 5.422 \times 10^3}$$

$$B_{W(L_{43})} = 206.532 \text{ kHz}$$

ตอบ $B_{W(L_{43})} = 206.532 \text{ kHz}$

4.1.1.4 การประมาณค่า V_o

V_o เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_L ซึ่งมีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่ที่ป้อนเข้า การประมาณค่า V_o สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง

4.1.1.4.1 V_o ช่วง $(0-\pi)$ จากรูปที่ 4.2 D_1 นำกระแสไฟฟ้า

จากสมการ (4.2)
$$I_{D1} = \frac{E_i N_{23}}{(R_1 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)}$$

$$V_{o(0-\pi)} = I_{D1} R_L$$

ดังนั้น
$$V_{o(0-\pi)} = I_{D1} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{23}}{(R_1 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)} \right\} \quad (4.6)$$

โดยที่ $V_{o(0-\pi)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_L ขณะเฟส $(0-\pi)$

4.1.1.4.2 V_o ช่วง $(\pi-2\pi)$ จากรูปที่ 4.3 D_2 นำกระแสไฟฟ้า

จากสมการ (4.3)

$$I_{D_2} = \frac{E_i N_{33}}{(R_2 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD_2}}{(R_2 + R_L)}$$

$$V_{o(\pi-2\pi)} = I_{D_2} R_L$$

ดังนั้น

$$V_{o(\pi-2\pi)} = I_{D_2} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{33}}{(R_2 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD_2}}{(R_2 + R_L)} \right\} \quad (4.7)$$

โดยที่ $V_{o(\pi-2\pi)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_L ขณะเฟส $(\pi-2\pi)$

ถ้า $V_{o(0-\pi)}$ และ $V_{o(\pi-2\pi)}$ จะต้องมีแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกันถ้าไม่ใกล้เคียงกัน จะต้องปรับลดค่าที่มีค่าสูงให้ลดลง โดยการเพิ่มค่าของ R_1 หรือ R_2 เช่น $V_{o(0-\pi)}$ สูงกว่า $V_{o(\pi-2\pi)}$ จะต้องปรับเพิ่ม R_1 เพื่อให้ $V_{o(0-\pi)}$ เท่ากับ $V_{o(\pi-2\pi)}$ สามารถประมาณได้จากสมการ

จากสมการ (4.6)

$$V_{o(0-\pi)} = I_{D_1} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{23}}{(R_1 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD_1}}{(R_1 + R_L)} \right\}$$

$$V_{o(0-\pi)} = \frac{R_L}{(R_1 + R_L)} \left(\frac{E_i N_{23}}{N_{13}} - V_{FD_1} \right)$$

$$(R_1 + R_L) = \frac{R_L}{V_{o(0-\pi)}} \left(\frac{E_i N_{23}}{N_{13}} - V_{FD_1} \right)$$

$$R_1 = \frac{R_L}{V_{o(0-\pi)}} \left(\frac{E_i N_{23}}{N_{13}} - V_{FD_1} \right) - R_L$$

กำหนดให้ $R_1 = R_{1x}$, $V_{o(0-\pi)} = V_{ox}$;

ดังนั้น

$$R_{1x} = \frac{R_L}{V_{ox}} \left(\frac{E_i N_{23}}{N_{13}} - V_{FD_1} \right) - R_L \quad (4.8)$$

โดยที่ R_{1x} คือ ตัวต้านทาน R_1 ที่ถูกเปลี่ยนแปลงค่าตามการเปลี่ยนแปลง V_{ox}

V_{ox} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_L ตามต้องการ

จากสมการ (4.7)

$$V_{o(\pi-2\pi)} = I_{D_2} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{33}}{(R_2 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD_2}}{(R_2 + R_L)} \right\}$$

$$V_{o(\pi-2\pi)} = R_L \left\{ \frac{E_i N_{33}}{(R_2 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD_2}}{(R_2 + R_L)} \right\}$$

$$V_{o(\pi-2\pi)} = \frac{R_L}{(R_2 + R_L)} \left(\frac{E_i N_{33}}{N_{13}} - V_{FD_2} \right)$$

$$R_2 + R_L = \frac{R_L}{V_{o(\pi-2\pi)}} \left(\frac{E_i N_{33}}{N_{13}} - V_{FD_2} \right)$$

$$R_2 = \frac{R_L}{V_{o(\pi-2\pi)}} \left(\frac{E_i N_{33}}{N_{13}} - V_{FD2} \right) - R_L$$

กำหนดให้ $R_2 = R_{2x}$, $V_{o(\pi-2\pi)} = V_{ox}$;

ดังนั้น

$$R_{2x} = \frac{R_L}{V_{ox}} \left(\frac{E_i N_{33}}{N_{13}} - V_{FD2} \right) - R_L \quad (4.9)$$

โดยที่ R_{2x} คือ ตัวต้านทาน R_2 ที่ถูกเปลี่ยนแปลงค่าตามการเปลี่ยนแปลง V_{ox}
 V_{ox} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_L ตามต้องการ

ตัวอย่างที่ 4.4 จากรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 เมื่อ $E_i = 180 \text{ mV}_{\text{peak}}$, $V_{FD1} = 0.35 \text{ V}$ และ $V_{FD2} = 0.25 \text{ V}$

ก. จงประมาณค่า $V_{o(0-\pi)}$ และ $V_{o(\pi-2\pi)}$

ข. ให้ปรับแต่ง R_1 และ R_2 เพื่อให้ $V_{o(0-\pi)} = V_{o(\pi-2\pi)}$

วิธีทำ ก. จงประมาณค่า $V_{o(0-\pi)}$ และ $V_{o(\pi-2\pi)}$

จากสมการ (4.6)

$$V_{o(0-\pi)} = I_{D1} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{23}}{(R_1 + R_L) N_{13}} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)} \right\}$$

$$V_{o(0-\pi)} = 1 \times 10^3 \left\{ \frac{180 \times 10^{-3} \times 79}{7(500 + 1 \times 10^3)} - \frac{0.35}{(500 + 1 \times 10^3)} \right\}$$

$$V_{o(0-\pi)} = 1 \times 10^3 (1.354 \times 10^{-3} - 233.333 \times 10^{-6}) = 1.12 \text{ V}_{\text{peak}}$$

จากสมการ (4.7)

$$V_{o(\pi-2\pi)} = I_{D2} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{33}}{N_{13} (R_2 + R_L)} - \frac{V_{FD2}}{(R_2 + R_L)} \right\}$$

$$V_{o(\pi-2\pi)} = 1 \times 10^3 \left\{ \frac{180 \times 10^{-3} \times 79}{7(500 + 1 \times 10^3)} - \frac{0.25}{(500 + 1 \times 10^3)} \right\}$$

$$V_{o(\pi-2\pi)} = 1 \times 10^3 (1.354 \times 10^{-3} - 166.666 \times 10^{-6}) = 1.187 \text{ V}_{\text{peak}}$$

ตอบ $V_{o(0-\pi)} = 1.12 \text{ V}_{\text{peak}}$, $V_{o(\pi-2\pi)} = 1.187 \text{ V}_{\text{peak}}$;

ข. ให้ปรับแต่ง R_1 และ R_2 ให้ $V_{o(0-\pi)}$ เท่ากับ $V_{o(\pi-2\pi)}$ โดยต้องลด $V_{o(\pi-2\pi)}$ ให้เท่ากับ $V_{o(0-\pi)}$

จากสมการ (4.9)

$$R_{2x} = \left\{ \frac{R_L}{V_{ox}} \left(\frac{E_i N_{33}}{N_{13}} - V_{FD2} \right) \right\} - R_L$$

โดยที่ $V_{ox} = V_{o(0-\pi)} = 1.12 \text{ V}$, $V_{FD2} = 0.25 \text{ V}$;

$$R_{2x} = \left\{ \frac{1 \times 10^3}{1.12} \left(\frac{180 \times 10^{-3} \times 79}{7} - 0.25 \right) \right\} - 1 \times 10^3 = 590.561 \Omega$$

ตอบ จะต้องเปลี่ยนค่า R_2 จากเดิม 500Ω เปลี่ยนค่าเป็น $590.561 \Omega \approx 600 \Omega$

4.1.2 การออกแบบวงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ไดโอด

จากรูปที่ 4.4 จงออกแบบวงจรทวีความถี่ 2 เท่าจาก 750 kHz เป็น 1.5 MHz E_i มีค่า 200 mV_{peak}

4.1.2.1 การประมาณค่า C_{CM}

โดย C_{CM} และ L_{43} ประกอบกันเป็นวงจรจูนแบบขนาน จะได้สมการ

จากสมการ (4.4)
$$L_{43} = \frac{L_{13} (N_{23} + N_{33})^2}{N_{13}^2}$$

จากสมการ (4.5a)
$$C_{CM} = \frac{1}{L_{43} (2\pi F_{R(L_{43})})^2}$$

ตัวอย่างที่ 4.5 จงประมาณค่า C_{CM}

วิธีทำ จากสมการ (4.4)
$$L_{43} = \frac{L_{13} (N_{23} + N_{33})^2}{N_{13}^2} = \frac{1.3 \times 10^{-6} (89 + 70)^2}{(7)^2}$$

$$L_{43} = 670.72 \mu\text{H}$$

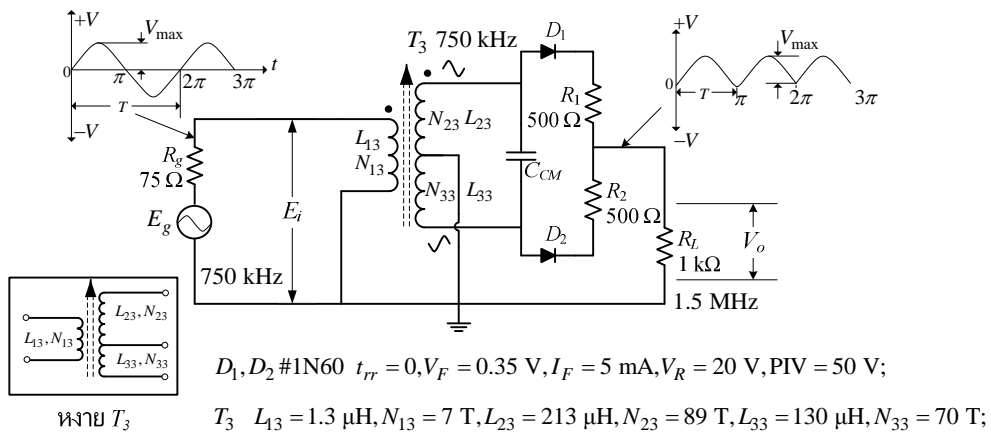
จากสมการ (4.5a)
$$C_{CM} = \frac{1}{L_{43} (2\pi F_{R(L_{43})})^2}$$

โดยที่ $F_{R(L_{43})} = 750 \text{ kHz}, L_{43} = 670.72 \mu\text{H};$

$$C_{CM} = \frac{1}{670.72 \times 10^{-6} (2 \times 3.14 \times 750 \times 10^3)^2} = 67.207 \text{ pF}$$

67.207 pF เปลี่ยนเป็นค่ามาตรฐาน 68 pF

ตอบ $C_{CM} = 68 \text{ pF}$ เซรามิก



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ไดโอดใช้ในการออกแบบ

4.1.2.2 การประมาณค่า I_{D1} และ I_{D2}

$$\text{จากสมการ (4.2)} \quad I_{D1} = \frac{E_i N_{23}}{N_{13} (R_1 + R_L)} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)}$$

$$\text{จากสมการ (4.3)} \quad I_{D2} = \frac{E_i N_{33}}{N_{13} (R_2 + R_L)} - \frac{V_{FD2}}{(R_2 + R_L)}$$

ตัวอย่างที่ 4.6 จงประมาณค่า I_{D1} และ I_{D2}

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ จากสมการ (4.2)} \quad I_{D1} &= \frac{E_i N_{23}}{N_{13} (R_1 + R_L)} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)} \\ I_{D1} &= \frac{200 \times 10^{-3} \times 89}{7(500 + 1 \times 10^3)} - \frac{0.35}{(500 + 1 \times 10^3)} = 1.461 \text{ mA}_{\text{peak}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (4.3)} \quad I_{D2} &= \frac{E_i N_{33}}{N_{13} (R_2 + R_L)} - \frac{V_{FD2}}{(R_2 + R_L)} \\ I_{D2} &= \frac{200 \times 10^{-3} \times 70}{7(500 + 1 \times 10^3)} - \frac{0.35}{(500 + 1 \times 10^3)} = 1.10 \text{ mA}_{\text{peak}} \end{aligned}$$

ตอบ $I_{D1} = 1.461 \text{ mA}_{\text{peak}}$, $I_{D2} = 1.10 \text{ mA}_{\text{peak}}$;

4.1.2.3 การเลือกใช้ T_3

จะใช้ IFT (แกนสี่เหลี่ยม) ของวิทยุเอเอ็ม

4.1.2.4 การประมาณค่า $V_{o(0-\pi)}$ และ $V_{o(\pi-2\pi)}$

$$\text{จากสมการ (4.6)} \quad V_{o(0-\pi)} = I_{D1} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{23}}{N_{13} (R_1 + R_L)} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)} \right\}$$

$$\text{จากสมการ (4.7)} \quad V_{o(\pi-2\pi)} = I_{D2} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{33}}{N_{13} (R_2 + R_L)} - \frac{V_{FD2}}{(R_2 + R_L)} \right\}$$

ตัวอย่างที่ 4.7 จงประมาณค่า $V_{o(0-\pi)}$ และ $V_{o(\pi-2\pi)}$

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ จากสมการ (4.6)} \quad V_{o(0-\pi)} &= I_{D1} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{23}}{N_{13} (R_1 + R_L)} - \frac{V_{FD1}}{(R_1 + R_L)} \right\} \\ V_{o(0-\pi)} &= I_{D1} R_L = 1.461 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3 = 1.461 \text{ V}_{\text{peak}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (4.7)} \quad V_{o(\pi-2\pi)} &= I_{D2} R_L = R_L \left\{ \frac{E_i N_{33}}{N_{13} (R_2 + R_L)} - \frac{V_{FD2}}{(R_2 + R_L)} \right\} \\ V_{o(\pi-2\pi)} &= I_{D2} R_L = 1.10 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3 = 1.10 \text{ V}_{\text{peak}} \end{aligned}$$

ตอบ $V_{o(0-\pi)} = 1.461 \text{ V}_{\text{peak}}$, $V_{o(\pi-2\pi)} = 1.10 \text{ V}_{\text{peak}}$;

จะเห็นว่า $V_{o(0-\pi)}$ เท่ากับ $1.461 V_{\text{peak}}$ และ $V_{o(\pi-2\pi)}$ เท่ากับ $1.10 V_{\text{peak}}$ จะต้องลดค่า $V_{o(0-\pi)}$ ให้เหลือเท่ากับ $1.10 V_{\text{peak}}$

4.1.2.5 การประมาณค่า R_1 และ R_2

การประมาณค่า R_1 และ R_2 เพื่อให้ $V_{o(0-\pi)}$ เท่ากับ $V_{o(\pi-2\pi)}$

จากสมการ (4.8)
$$R_{1x} = \left\{ \frac{R_L \left(\frac{E_i N_{23}}{N_{13}} - V_{FD1} \right) \right\} - R_L$$

ตัวอย่างที่ 4.8 จงประมาณค่า R_1 และ R_2 เพื่อให้ $V_{o(0-\pi)}$ เท่ากับ $V_{o(\pi-2\pi)}$

วิธีทำ จากสมการ (4.8)
$$R_{1x} = \left\{ \frac{R_L \left(\frac{E_i N_{23}}{N_{13}} - V_{FD1} \right) \right\} - R_L$$

โดยที่ R_{1x} คือ ตัวต้านทาน R_1 ที่ถูกเปลี่ยนแปลงค่าตามการเปลี่ยนแปลง V_{ox}

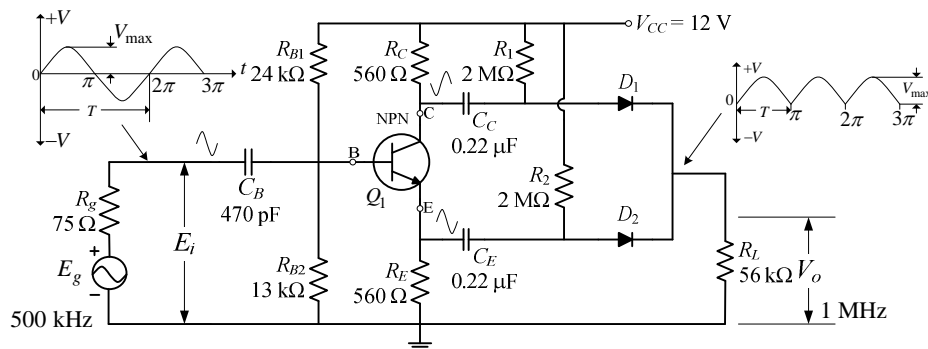
$$V_{ox} = 1.10 V_{\text{peak}}$$

$$R_{1x} = \left\{ \frac{1 \times 10^3 \left(\frac{200 \times 10^{-3} \times 89}{7} - 0.35 \right) \right\} - 1 \times 10^3 = 993.506 \Omega$$

$R_{1x} = 993.506 \Omega$ เปลี่ยนเป็นค่ามาตรฐาน $R_{1x} = 1 \text{ k}\Omega$

ตอบ R_1 จะต้องถูกเปลี่ยนจาก 500Ω กลายเป็น $1 \text{ k}\Omega$ แทน

4.2 วงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ทรานซิสเตอร์และไดโอด



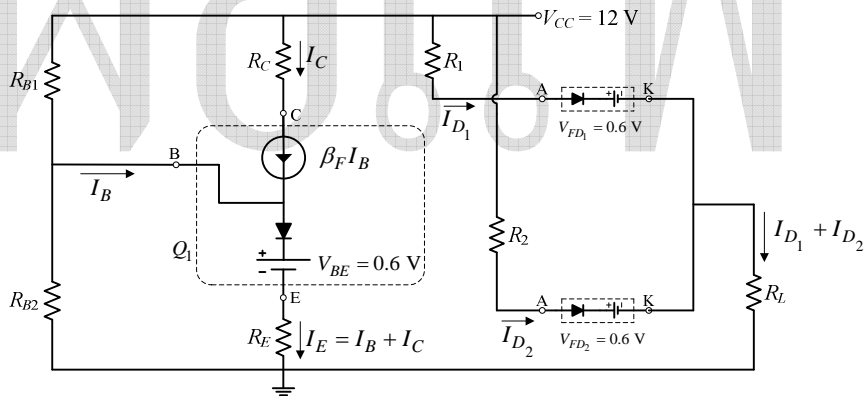
D_1, D_2 1N4148 $t_{rr} = 4 \text{ ns}, V_F = 0.6 \text{ V}, I_F = 200 \text{ mA}, V_R = 75 \text{ V}, V_{RRM} = 100 \text{ V};$
 Q_1 2SC930 $V_{CBO} = 30 \text{ V}, V_{CEO} = 20 \text{ V}, V_{EBO} = 5 \text{ V}, I_{C(\text{MAX})} = 30 \text{ mA}, P_D = 120\text{-}250 \text{ mW},$
 $\beta_F = \beta_o = 100, V_{BE} = 0.6 \text{ V}, F_T = 300 \text{ MHz}, C_{ob} = C_{re} = 1.3 \text{ pF}, r_{bb'} = 2 \Omega;$

รูปที่ 4.5 แสดงวงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ทรานซิสเตอร์และไดโอด

วงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ทรานซิสเตอร์และไดโอด ได้พัฒนาต่อ จากวงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ไดโอด (รูปที่ 4.1) โดยการออกแบบให้ Q_1 ทำหน้าที่ แทน T_3 ในการจัดเฟสสัญญาณป้อนให้แก่ D_1 และ D_2 วงจรสามารถตอบสนองย่านความถี่ได้กว้าง จากรูปที่ 4.5 สามารถอธิบายได้ ดังนี้ :-

- Q_1 ทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่ ขยายแรงดัน และจัดเฟสของสัญญาณให้แก่ D_1 และ D_2 โดย D_1 นำกระแส เมื่อได้รับสัญญาณช่วง $(\pi-2\pi)$ D_2 นำกระแสเมื่อได้รับสัญญาณช่วง $(0-\pi)$
- C_C และ C_E ทำหน้าที่ โดย C_C เชื่อมต่อสัญญาณกระแสสลับจากขาคอลเล็กเตอร์ Q_1 ให้แก่ D_1 และ C_E เชื่อมต่อสัญญาณจากขาอิมิตเตอร์ Q_1 ให้แก่ D_2 นอกจากนี้ C_C และ C_E ยังทำหน้าที่ ป้องกันไม่ให้ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ขาคอลเล็กเตอร์ และขาอิมิตเตอร์ Q_1 ป้อนให้แก่ D_1 และ D_2
- R_1 และ R_L จัดไบแอสไปหน้าให้กับ D_1 เพื่อลดแรงดัน V_{FD_1} จาก 0.6 V เป็น 0 V โดยมีกระแสไหลผ่านประมาณ 5 μ A
- R_2 และ R_L จัดไบแอสไปหน้าให้กับ D_2 เพื่อลดแรงดัน V_{FD_2} จาก 0.6 V เป็น 0 V โดยมีกระแสไหลผ่านประมาณ 5 μ A

4.2.1 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของรูปที่ 4.5

จากรูปที่ 4.5 สามารถเปลี่ยนเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสตรงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง สามารถนำสมการ ต่อไปนี้มาใช้ได้เลย

จากสมการ (2.1)
$$V_{TH} = \frac{V_{CC}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})}$$

จากสมการ (2.2)
$$R_{TH} = (R_{B1} \parallel R_{B2}) = \frac{R_{B1}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})}$$

จากสมการ (2.3)
$$I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta_F + 1)R_E}$$

4. วงจรพีความถี่

จากสมการ (2.4)

$$I_C = \beta_F I_B$$

จากสมการ (2.5)

$$V_{CE} = V_{CC} - \{I_C R_C + (\beta_F + 1) I_B R_E\}$$

$$V_{CC} = I_{D_1} R_1 + V_{FD_1} + (I_{D_1} + I_{D_2}) R_L$$

เนื่องจาก I_{D_1} จะต้องเท่ากับ I_{D_2} เพื่อจุดทำงานของไดโอดทั้ง 2 ตัวเท่ากัน จะได้ $(I_{D_1} + I_{D_2} = 2I_{D_1})$ ไหลผ่าน R_L

$$V_{CC} = I_{D_1} R_1 + V_{FD_1} + 2I_{D_1} R_L$$

$$V_{CC} - V_{FD_1} = I_{D_1} (R_1 + 2R_L)$$

$$\boxed{I_{D_1} = \frac{(V_{CC} - V_{FD_1})}{(R_1 + 2R_L)}, I_{D_1} = I_{D_2};} \quad (4.10)$$

ตัวอย่างที่ 4.9 จากรูปที่ 4.5, 4.6 จงประมาณค่า $I_B, I_C, V_{CE}, I_{D_1}$ และ I_{D_2}

วิธีทำ จากสมการ (2.1)

$$V_{TH} = \frac{V_{CC} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{12 \times 13 \times 10^3}{(24 \times 10^3 + 13 \times 10^3)} = 4.216 \text{ V}$$

จากสมการ (2.2)

$$R_{TH} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{13 \times 10^3 \times 24 \times 10^3}{(13 \times 10^3 + 24 \times 10^3)} = 8.432 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (2.3)

$$I_B = \frac{(4.216 - 0.6)}{8.432 \times 10^3 + (101 \times 560)} = 55.637 \text{ }\mu\text{A}$$

จากสมการ (2.4)

$$I_C = \beta_F I_B = 100 \times 55.637 \times 10^{-6} = 5.563 \text{ mA}$$

จากสมการ (2.5)

$$V_{CE} = V_{CC} - \{I_C R_C + (\beta_F + 1) I_B R_E\}$$

$$V_{CE} = 12 - \left\{ (5.563 \times 10^{-3} \times 560) + (101 \times 55.637 \times 10^{-6} \times 560) \right\}$$

$$V_{CE} = 5.737 \text{ V}$$

จากสมการ (4.10)

$$I_{D_1} = \frac{(V_{CC} - V_{FD_1})}{(R_1 + 2R_L)} = \frac{(12 - 0.6)}{\{2 \times 10^6 + (2 \times 56 \times 10^3)\}}$$

$$I_{D_1} = 5.397 \text{ }\mu\text{A}$$

$$I_{D_1} = I_{D_2} = 5.397 \text{ }\mu\text{A}$$

ตอบ $I_B = 55.637 \text{ }\mu\text{A}, I_C = 5.563 \text{ mA}, V_{CE} = 5.737 \text{ V}$ และ $I_{D_1} = I_{D_2} = 5.397 \text{ }\mu\text{A}$

4.2.2 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสระดับความถี่กลางช่วง (0- π)

จากรูปที่ 4.7 D_2 นำกระแส แต่ D_1 ไม่นำกระแส จึงสามารถวิเคราะห์การทำงาน ได้

ดังนี้

$R_{i(0-\pi)}$ คือ ค่าความต้านทานระหว่างขาเบสกับกราวด์โดยละทิ้ง R_{BB} ในช่วง (0- π)

การวิเคราะห์ห้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

$$R_{EP} = R_E \parallel R_2 \parallel (r_{d_2} + R_L)$$

เนื่องจาก R_2 มีค่าความสูงมากสามารถละทิ้งได้เมื่อเทียบกับ R_E ที่มีค่าต่ำ

$$R_{EP} = R_E \parallel (r_{d_2} + R_L)$$

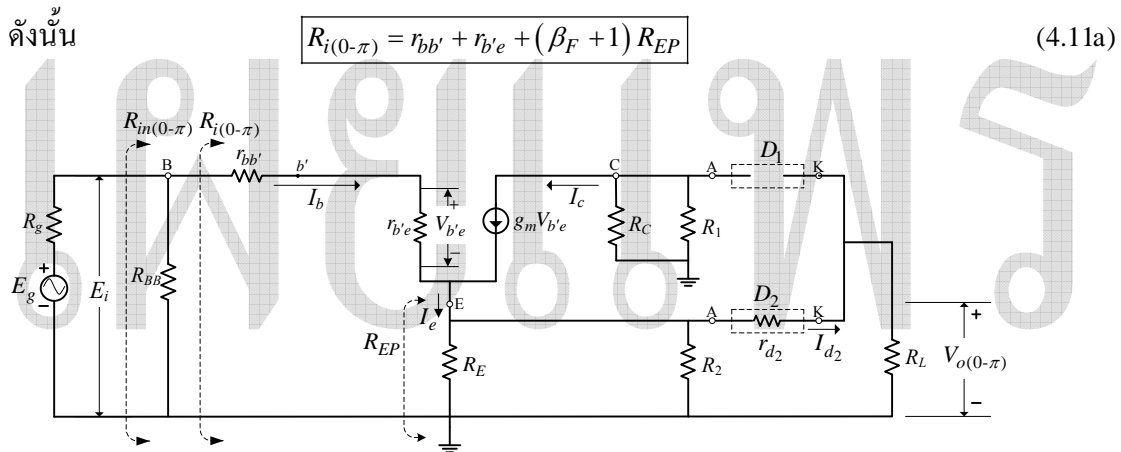
$$R_{EP} = \frac{R_E (r_{d_2} + R_L)}{(R_E + r_{d_2} + R_L)}$$

$$E_i = I_b r_{bb'} + I_b r_{b'e} + I_b (\beta_F + 1) R_{EP}$$

$$I_b = \frac{E_i}{r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_{EP}}$$

$$R_{i(0-\pi)} = \frac{E_i}{I_b} = \frac{E_i \{ r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_{EP} \}}{E_i}$$

$$R_{i(0-\pi)} = r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_{EP}$$



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสตรงระดับความถี่กลางช่วง $(0-\pi)$ ของรูปที่ 4.5

$R_{in(0-\pi)}$ คือ ค่าความต้านทานระหว่างขาเบส กับกราวด์ในช่วง $(0-\pi)$

$$R_{BB} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

สมการ

$$R_{in(0-\pi)} = (R_{BB} \parallel R_{i(0-\pi)}) = \frac{R_{BB} R_{i(0-\pi)}}{R_{BB} + R_{i(0-\pi)}}$$

ดังนั้น

$$R_{in(0-\pi)} = \frac{R_{BB} R_{i(0-\pi)}}{R_{BB} + R_{i(0-\pi)}} \quad (4.11b)$$

ตัวอย่างที่ 4.10 จากรูปที่ 4.7 จงประมาณค่า $R_{i(0-\pi)}$ และ $R_{in(0-\pi)}$

วิธีทำ จากสมการ (4.11a) $R_{i(0-\pi)} = r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_{EP}$

$$\text{โดยที่ } r_{d_2} = \frac{(k_B T/q)}{I_{D_2}} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times (273 + 25)}{1.60 \times 10^{-19} \times 5.397 \times 10^{-6}} = 4.762 \text{ k}\Omega$$

$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T/q)} = \frac{5.563 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 216.459 \text{ mS}$$

$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{100}{216.459 \times 10^{-3}} = 461.981 \Omega$$

$$R_{BB} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{13 \times 10^3 \times 24 \times 10^3}{(13 \times 10^3 + 24 \times 10^3)} = 8.432 \text{ k}\Omega$$

$$R_{EP} = \frac{R_E (r_{d_2} + R_L)}{(R_E + r_{d_2} + R_L)} = \frac{560 (4.762 \times 10^3 + 56 \times 10^3)}{(560 + 4.762 \times 10^3 + 56 \times 10^3)} = 554.886 \Omega$$

$$R_{i(0-\pi)} = r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_{EP}$$

$$R_{i(0-\pi)} = 2 + 461.981 + (101 \times 554.886)$$

$$R_{i(0-\pi)} = 56.507 \text{ k}\Omega$$

$$\text{จากสมการ (4.11b)} \quad R_{in(0-\pi)} = \frac{R_{BB} R_{i(0-\pi)}}{(R_{BB} + R_{i(0-\pi)})}$$

$$\text{โดยที่ } R_{i(0-\pi)} = 56.507 \text{ k}\Omega$$

$$R_{in(0-\pi)} = \frac{R_{BB} R_{i(0-\pi)}}{(R_{BB} + R_{i(0-\pi)})} = \frac{8.432 \times 10^3 \times 56.507 \times 10^3}{(8.432 \times 10^3 + 56.507 \times 10^3)} = 7.337 \text{ k}\Omega$$

ตอบ $R_{i(0-\pi)} = 56.507 \text{ k}\Omega$, $R_{in(0-\pi)} = 7.337 \text{ k}\Omega$;

I_{d_2} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน D_2 ในช่วง $(0-\pi)$ ของสัญญาณที่ป้อนด้านเข้า R_2 มีค่าสูงเมื่อต่อขนานสามารถละทิ้งได้

$$I_{d_2} = \frac{I_e R_E}{(R_E + r_{d_2} + R_L)}$$

เนื่องจากทรานซิสเตอร์มีค่า β_o สูง และเป็นวงจรขยายแรงดันของสัญญาณ กระแส I_b มีค่าต่ำสามารถละทิ้งได้ จะได้

$$I_e = I_c$$

$$I_{d_2} = \frac{I_c R_E}{(R_E + r_{d_2} + R_L)}$$

แทน $g_m V_{b'e}$ ลงใน I_c

$$I_{d_2} = \frac{g_m V_{b'e} R_E}{(R_E + r_{d_2} + R_L)}$$

4. วงจรทวิความถี่

แทน $\frac{E_i r_{b'e}}{R_{i(0-\pi)}}$ ลงใน $V_{b'e}$ จะได้

ดังนั้น
$$I_{d2} = \frac{E_i g_m r_{b'e} R_E}{R_{i(0-\pi)} (R_E + r_{d2} + R_L)} \tag{4.12}$$

$V_{o(0-\pi)}$ คือ แรงดันตกคร่อม R_L ในช่วง $(0-\pi)$ สามารถประมาณได้จากสมการ (4.12)

คูณกับ R_L

ดังนั้น
$$V_{o(0-\pi)} = I_{d2} R_L \tag{4.13}$$

ตัวอย่างที่ 4.11 จงประมาณค่า I_{d2} และ $V_{o(0-\pi)}$ เมื่อกำหนด $E_i = 25 \text{ mV}_{\text{peak}}$

วิธีทำ จากสมการ (4.12)
$$I_{d2} = \frac{E_i g_m r_{b'e} R_E}{R_{i(0-\pi)} (R_E + r_{d2} + R_L)}$$

โดยที่ $r_{d2} = 4.762 \text{ k}\Omega, g_m = 216.459 \text{ mS};$

$r_{b'e} = 461.981 \text{ }\Omega, R_{i(0-\pi)} = 56.507 \text{ k}\Omega, E_i = 25 \text{ mV}_{\text{peak}};$

$$I_{d2} = \frac{(25 \times 10^{-3} \times 216.459 \times 10^{-3} \times 461.981 \times 560)}{56.507 \times 10^3 (560 + 4.762 \times 10^3 + 56 \times 10^3)} = 404.025 \text{ nA}$$

จากสมการ (4.13) $V_{o(0-\pi)} = I_{d2} R_L$

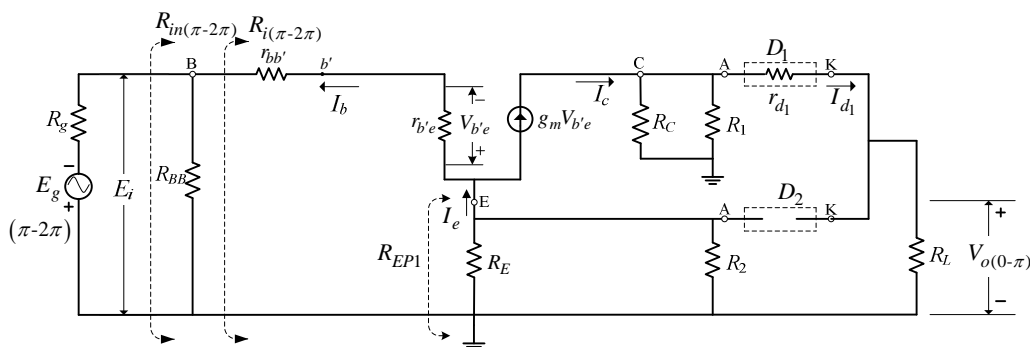
โดยที่ $I_{d2} = 404.025 \text{ nA}, R_L = 56 \text{ k}\Omega;$

$$V_{o(0-\pi)} = 404.025 \times 10^{-9} \times 56 \times 10^3$$

$$V_{o(0-\pi)} = 22.625 \text{ mV}_{\text{peak}}$$

ตอบ $I_{d2} = 404.025 \text{ nA}_{\text{peak}}, V_{o(0-\pi)} = 22.625 \text{ mV}_{\text{peak}};$

4.2.3 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลางช่วง $(\pi-2\pi)$



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลางช่วง $(\pi-2\pi)$ ของรูปที่ 4.5

จากรูปที่ 4.8 D_1 นำกระแส แต่ D_2 ไม่นำกระแส

$R_{i(\pi-2\pi)}$ คือ ค่าความต้านทานระหว่างขาเบสกับกราวด์โดยเฉลี่ยที่ R_{BB} ช่วง $(\pi-2\pi)$

$$R_{EP1} = (R_E \parallel R_2) = \frac{R_E R_2}{R_E + R_2}$$

เนื่องจาก R_2 มีค่าความสูงมากสามารถละทิ้งได้เมื่อเทียบกับ R_E ที่มีค่าต่ำ

$$\text{ดังนั้น} \quad R_{i(\pi-2\pi)} = r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_{EP1} \quad (4.14)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad R_{in(\pi-2\pi)} = \frac{R_{BB} R_{i(\pi-2\pi)}}{R_{BB} + R_{i(\pi-2\pi)}} \quad (4.15)$$

ตัวอย่างที่ 4.12 จงประมาณค่า $R_{i(\pi-2\pi)}$ และ $R_{in(\pi-2\pi)}$

วิธีทำ จากสมการ (4.14) $R_{i(\pi-2\pi)} = r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_{EP1}$

โดยที่ $r_{b'e} = 461.981 \Omega$, $R_E = 560 \Omega$, $E_i = 25 \text{ mV}_{\text{peak}}$;

$$R_{EP1} = \frac{R_E R_2}{R_E + R_2} = \frac{560 \times 2 \times 10^6}{(560 + 2 \times 10^6)} = 559.843 \Omega$$

$$R_{i(\pi-2\pi)} = (r_{bb'} + r_{b'e}) + (\beta_F + 1) R_{EP1}$$

$$R_{i(\pi-2\pi)} = (2 + 461.981) + (101 \times 559.843) = 57.008 \text{ k}\Omega$$

$$\text{จากสมการ (4.15)} \quad R_{in(\pi-2\pi)} = \frac{R_{BB} R_{i(\pi-2\pi)}}{R_{BB} + R_{i(\pi-2\pi)}}$$

โดยที่ $R_{BB} = 8.432 \text{ k}\Omega$, $R_{i(\pi-2\pi)} = 57.008 \text{ k}\Omega$;

$$R_{in(\pi-2\pi)} = \frac{8.432 \times 10^3 \times 57.008 \times 10^3}{(8.432 \times 10^3 + 57.008 \times 10^3)} = 7.345 \text{ k}\Omega$$

ตอบ $R_{i(\pi-2\pi)} = 57.023 \text{ k}\Omega$, $R_{in(\pi-2\pi)} = 7.345 \text{ k}\Omega$;

I_{d1} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน D_1 ในช่วง $(\pi-2\pi)$ ของสัญญาณที่ป้อนด้านเข้า R_i มีค่าสูงเมื่อเทียบกับสามารถละทิ้งได้

$$I_{d1} = g_m V_{b'e} \frac{R_C}{R_C + r_{d1} + R_L}$$

เนื่องจาก $V_{b'e} = \frac{E_i r_{b'e}}{R_{i(\pi-2\pi)}}$

$$\text{ดังนั้น} \quad I_{d1} = \frac{E_i g_m r_{b'e} R_C}{R_{i(\pi-2\pi)} (R_C + r_{d1} + R_L)} \quad (4.16)$$

4. วงจรทวีความถี่

$V_{o(\pi-2\pi)}$ คือ แรงดันตกคร่อม R_L ในช่วง $(\pi-2\pi)$ ประมาณได้จากสมการ (4.16)

คูณกับ R_L

ดังนั้น

$$\boxed{V_{o(\pi-2\pi)} = I_{d1} R_L} \quad (4.17)$$

ตัวอย่างที่ 4.13 จงประมาณค่า I_{d1} และ $V_{o(\pi-2\pi)}$ เมื่อกำหนด $E_i = 25 \text{ mV}_{\text{peak}}$

วิธีทำ จากสมการ (4.16)
$$I_{d1} = \frac{E_i g_m r_{b'e} R_C}{R_{i(\pi-2\pi)} (R_C + r_{d1} + R_L)}$$

โดยที่ $r_{d1} = \frac{(k_B T / q)}{I_{D1}} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times (273 + 25)}{1.60 \times 10^{-19} \times 5.397 \times 10^{-6}} = 4.762 \text{ k}\Omega$

$r_{b'e} = 461.981 \text{ }\Omega$, $R_C = 560 \text{ }\Omega$;

$R_{i(\pi-2\pi)} = 57.008 \text{ k}\Omega$, $E_i = 25 \text{ mV}_{\text{peak}}$;

$$I_{d1} = \frac{(25 \times 10^{-3} \times 216.459 \times 10^{-3} \times 461.981 \times 560)}{57.023 \times 10^3 (560 + 4.762 \times 10^3 + 56 \times 10^3)}$$

$$I_{d1} = 400.369 \text{ nA}_{\text{peak}}$$

จากสมการ (4.17) $V_{o(\pi-2\pi)} = I_{d1} R_L$

โดยที่ $I_{d1} = 400.369 \text{ nA}_{\text{peak}}$

$$V_{o(\pi-2\pi)} = I_{d1} R_L = 400.369 \times 10^{-9} \times 56 \times 10^3$$

$$V_{o(\pi-2\pi)} = 22.420 \text{ mV}_{\text{peak}}$$

ตอบ $I_{d1} = 400.369 \text{ nA}_{\text{peak}}$, $V_{o(\pi-2\pi)} = 22.420 \text{ mV}_{\text{peak}}$;

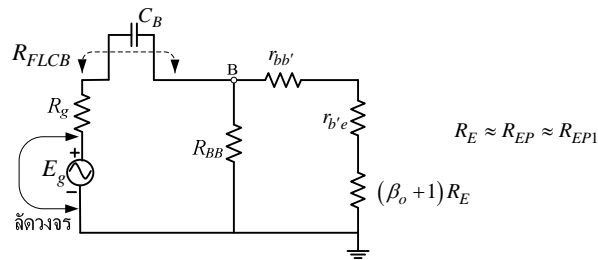
4.2.4 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านต่ำ

4.2.4.1 การประมาณค่า $F_{L(C_B)}$

โดย C_B จะควบคุมความถี่ตัดด้านต่ำโดยใช้หลักการ $F_{L(C_B)}$ จะทำให้ค่า X_{C_B} มีค่าเท่ากับ ค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_B ซึ่งค่าความต้านทานดังกล่าวคือ R_{FLCB} จากรูปที่ 4.9 จะได้สมการ

$$R_{EP} = \frac{R_E (r_{d2} + R_L)}{(R_E + r_{d2} + R_L)}$$

$$R_{EP1} = \frac{R_E R_2}{R_E + R_2}$$



รูปที่ 4.9 แสดงการประมาณค่า R_{FLCB}

เนื่องจาก $R_E \approx R_{EP} \approx R_{EP1}$

$$R_{FLCB} = R_g + [R_{BB} \parallel \{r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_o + 1)R_E\}]$$

$$R_{FLCB} = R_g + \frac{R_{BB} \{r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_o + 1)R_E\}}{R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_o + 1)R_E}$$

$$X_{C_B} = R_{FLCB}$$

เนื่องจาก $X_{C_B} = \frac{1}{2\pi F_{L(C_B)} C_B}$

$$R_{FLCB} = \frac{1}{2\pi F_{L(C_B)} C_B}$$

ดังนั้น

$$F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B}$$

(4.18)

ตัวอย่างที่ 4.14 จากรูปที่ 4.5 และ 4.9 จงประมาณค่า $F_{L(C_B)}$

วิธีทำ จากสมการ (4.18) $F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B}$

โดยที่ $R_{FLCB} = R_g + \frac{R_{BB} \{r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_o + 1)R_E\}}{R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_o + 1)R_E}$

$$R_{FLCB} = 75 + \frac{8.432 \times 10^3 \{2 + 461.981 + (101 \times 560)\}}{\{8.432 \times 10^3 + 2 + 461.981 + (101 \times 560)\}} = 7.420 \text{ k}\Omega$$

$$C_B = 470 \text{ pF}$$

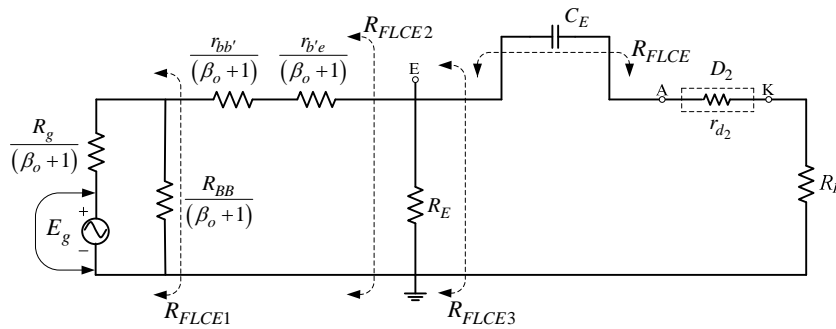
$$F_{L(C_B)} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 7.420 \times 10^3 \times 470 \times 10^{-12}}$$

$$F_{L(C_B)} = 45.660 \text{ kHz}$$

ตอบ $F_{L(C_B)} = 45.660 \text{ kHz}$

4.2.4.2 การประมาณค่า $F_{L(C_E)}$

โดย C_E จะควบคุมความถี่ตัดด้านต่ำ โดยใช้หลักการ $F_{L(C_E)}$ ทำให้ค่า X_{C_E} มีค่าเท่ากับ ค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_E ซึ่งค่า ความต้านทานดังกล่าวคือ R_{FLCE}



รูปที่ 4.10 แสดงการประมาณค่า R_{FLCE}

จากรูปที่ 4.10 จะได้สมการ

$$R_{FLCE} = R_{FLCE3} + (r_{d2} + R_L)$$

$$R_{FLCE1} = \frac{R_g R_{BB}}{(\beta_o + 1)(R_g + R_{BB})}$$

$$R_{FLCE2} = R_{FLCE1} + \frac{r_{bb'} + r_{b'e}}{(\beta_o + 1)}$$

$$R_{FLCE3} = (R_E \parallel R_{FLCE2}) = \frac{R_E R_{FLCE2}}{(R_E + R_{FLCE2})}$$

$$R_{FLCE} = r_{d2} + R_L + R_{FLCE3}$$

$$X_{C_E} = R_{FLCE}$$

เนื่องจาก $X_{C_E} = \frac{1}{2\pi F_{L(C_E)} C_E}$

$$R_{FLCE} = \frac{1}{2\pi F_{L(C_E)} C_E}$$

ดังนั้น

$$\boxed{F_{L(C_E)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} C_E}} \tag{4.19}$$

ตัวอย่างที่ 4.15 จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 จงประมาณค่า $F_{L(C_E)}$

วิธีทำ จากสมการ (4.19) $F_{L(C_E)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} C_E}$

$$\text{โดยที่ } R_{FLCE1} = \frac{75 \times 8.432 \times 10^3}{(75 + 8.432 \times 10^3)(100 + 1)} = 0.736 \Omega$$

$$R_{FLCE2} = 0.736 + \left\{ \frac{2 + 461.981}{(100 + 1)} \right\} = 5.329 \Omega, R_{FLCE3} = \frac{560 \times 5.329}{(560 + 5.329)} = 5.278 \Omega;$$

$$R_{FLCE} = (5.278 + 4.762 \times 10^3 + 56 \times 10^3) = 60.767 \text{ k}\Omega, C_E = 0.22 \mu\text{F};$$

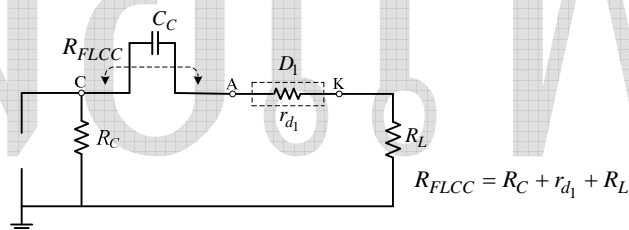
$$F_{L(C_E)} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 60.767 \times 10^3 \times 0.22 \times 10^{-6}}$$

$$F_{L(C_E)} = 11.911 \text{ kHz}$$

ตอบ $F_{L(C_E)} = 11.911 \text{ kHz}$

4.2.4.3 การประมาณค่า $F_{L(C_C)}$

โดย C_C ควบคุม ความถี่ตัดด้านต่ำ โดยใช้หลักการ $F_{L(C_C)}$ ทำให้ค่า X_{C_C} มีค่าเท่ากับ ค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_C ซึ่งความต้านทานดังกล่าวคือ R_{FLCC} จากรูปที่ 4.11 จะได้สมการ



รูปที่ 4.11 แสดงการประมาณค่า R_{FLCC}

$$R_{FLCC} = R_C + r_{d1} + R_L$$

$$X_{C_C} = R_{FLCC}$$

$$\text{เนื่องจาก } X_{C_C} = \frac{1}{2\pi F_{L(C_C)} C_C}$$

$$R_{FLCC} = \frac{1}{2\pi F_{L(C_C)} C_C}$$

ดังนั้น

$$\boxed{F_{L(C_C)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCC} C_C}} \quad (4.20)$$

ตัวอย่างที่ 4.16 จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.11 จงประมาณค่า $F_{L(C_C)}$

$$\text{วิธีทำ จากสมการ (4.20) } F_{L(C_C)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCC} C_C}$$

$$\text{โดยที่ } R_{FLCC} = (R_C + r_{d1} + R_L) = (560 + 4.762 \times 10^3 + 56 \times 10^3) = 61.322 \text{ k}\Omega$$

$$C_C = 0.22 \text{ }\mu\text{F}$$

$$F_{L(C_C)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCC} C_C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 61.322 \times 10^3 \times 0.22 \times 10^{-6}}$$

$$F_{L(C_C)} = 11.803 \text{ kHz}$$

ตอบ $F_{L(C_C)} = 11.803 \text{ kHz}$

4.2.4.4 การประมาณค่า F_L ของวงจร

โดย F_L ของวงจรคือ ค่าความถี่ตัดด้านต่ำของวงจร พิจารณาจากค่าความถี่ตัดด้านต่ำของ $F_{L(C_B)}$, $F_{L(C_E)}$ และ $F_{L(C_C)}$ ที่มีค่าความถี่สูงสุด เป็นค่าความถี่ F_L ของวงจร

ตัวอย่างที่ 4.17 จงประมาณค่า F_L ของวงจร

วิธีทำ เลือกค่าความถี่สูงสุด $F_{L(C_B)} = 45.660 \text{ kHz}$, $F_{L(C_C)} = 11.803 \text{ kHz}$, $F_{L(C_E)} = 11.911 \text{ kHz}$;

ตอบ F_L ของวงจรคือ $F_{L(C_B)} = 45.660 \text{ kHz}$

4.2.5 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสลับความถี่ตัดด้านสูง

F_H คือ ค่าความถี่ตัดด้านสูงที่ทำให้ X_{C_T} มีค่าเท่ากับ R_{FH} โดย R_{FH} คือค่าความต้านทานที่เสถียรต่อ X_{C_T} และผลดังกล่าว จะทำให้แรงดัน V_o มีค่าลดลงเหลือ 0.707 เท่าของ V_o ความถี่กลางจะใช้ช่วง $(\pi - 2\pi)$ ของสัญญาณในการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13

จากรูปที่ 4.13 สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$R_{FH1} = \left\{ (R_g \parallel R_{BB}) + r_{bb'} \right\} = \frac{R_g R_{BB} + r_{bb'} (R_g + R_{BB})}{(R_g + R_{BB})}$$

$$R_{FH2} = r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_E$$

$$R_{FH} = (R_{FH1} \parallel R_{FH2}) = \frac{R_{FH1} R_{FH2}}{(R_{FH1} + R_{FH2})}$$

เนื่องจาก R_g มีค่าความต้านสูงมากเมื่อต่อขนานกับตัวต้านที่มีค่าต่ำ สามารถละทิ้งได้ จะได้

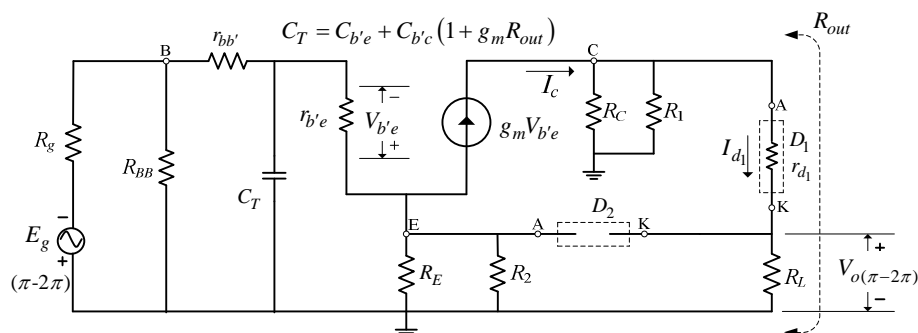
$$R_{out} = \left\{ R_C \parallel (r_{d1} + R_L) \right\} = \frac{R_C (r_{d1} + R_L)}{(R_C + r_{d1} + R_L)}$$

จากสมการ (2.17)

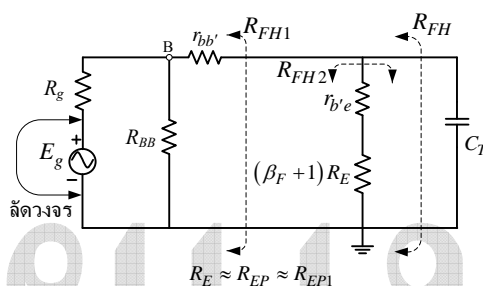
$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$$

(4.21)

4. วงจรทวิความถี่



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านสูงของรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.13 แสดงการประมาณค่า R_{FH}

ตัวอย่างที่ 4.18 จงประมาณค่า F_H ของวงจร และความถี่สูงสุดที่สามารถทวิความถี่ 2 เท่า

วิธีทำ จากสมการ (4.21)
$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$$

โดยที่
$$R_{FH1} = \left\{ (R_g \parallel R_{BB}) + r_{bb'} \right\} = \frac{(75 \times 8.432 \times 10^3) + 2(75 + 8.432 \times 10^3)}{(75 + 8.432 \times 10^3)} = 76.338 \Omega$$

$$R_{FH2} = r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_E = 461.981 + (101 \times 560) = 57.021 \text{ k}\Omega$$

$$R_{FH} = \frac{R_{FH1} R_{FH2}}{(R_{FH1} + R_{FH2})} = \frac{76.338 \times 57.021 \times 10^3}{(76.338 + 57.021 \times 10^3)} = 76.235 \Omega$$

$$R_{out} = \frac{R_C (r_{d1} + R_L)}{(R_C + r_{d1} + R_L)} = \frac{560(4.762 \times 10^3 + 56 \times 10^3)}{(560 + 4.762 \times 10^3 + 56 \times 10^3)} = 554.886 \Omega$$

$$C_{b'e} = C_{re} = C_{ob} = 1.3 \text{ pF}, g_m = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T/q)} = \frac{5.563 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 216.459 \text{ mS};$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{b'e} = \frac{216.459 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 300 \times 10^6} - 1.3 \times 10^{-12} = 113.593 \text{ pF}$$

$$C_T = C_{b'e} + C_{b'e} (1 + g_m R_{out})$$

$$C_T = 113.593 \times 10^{-12} + 1.3 \times 10^{-12} \left\{ 1 + (216.459 \times 10^{-3} \times 554.886) \right\} = 271.036 \text{ pF}$$

$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 76.235 \times 271.036 \times 10^{-12}} = 7.706 \text{ MHz}$$

ความถี่สูงสุดที่ทวี 2 เท่า $= 2F_H = 2 \times 7.706 \times 10^6 = 14.152 \text{ MHz}$

ตอบ $F_H = 7.706 \text{ MHz}$ และความถี่สูงสุดที่ทวี 2 เท่า ได้ **14.152 MHz**

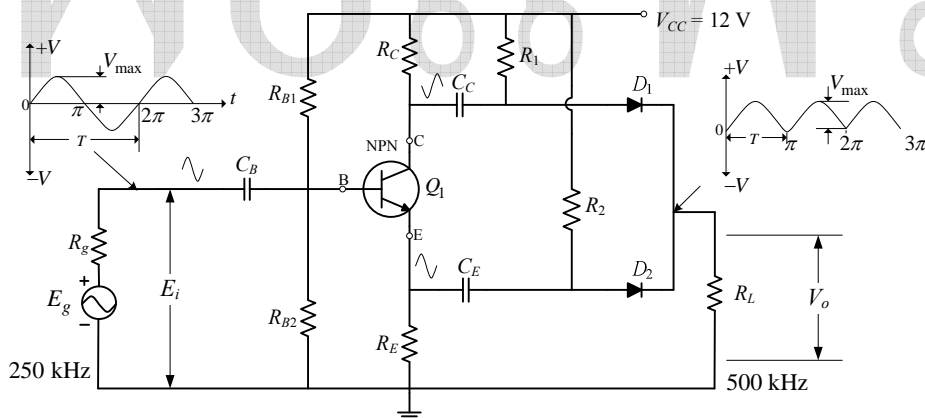
4.2.6 การปรับแต่ง $V_{o(0-\pi)}$ และ $V_{o(\pi-2\pi)}$ ให้เท่ากัน

โดยหลักการกระแส I_{D1} จะต้องเท่ากับ หรือใกล้เคียง I_{D2} เมื่อเกิดการผิดพลาดมาก จะทำให้แรงดัน $V_{o(0-\pi)}$ ไม่เท่ากันกับ $V_{o(\pi-2\pi)}$ สาเหตุเนื่องจากค่า V_F ของไดโอด ที่ถูกใช้งานไม่ถูกต้อง และไม่เท่ากัน

การแก้ไขโดยการคัดเลือกไดโอดจากการวัด โดยใช้มาตร $R \times 1 (250 \text{ mA})$ อ่านค่าจากสเกล L_V ต้องได้ค่าเท่ากันประมาณ 0.6 V ทั้งสองตัว

4.2.7 การออกแบบวงจรทวีความถี่ 2 เท่า โดยใช้ทรานซิสเตอร์และไดโอด

การออกแบบวงจรทวีความถี่ 2 เท่า จาก 250 kHz ทวีคูณเป็น 500 kHz โดยกำหนด $F_L = 30 \text{ kHz}, I_{D1} = I_{D2} = 5 \text{ }\mu\text{A}, R_L \geq 100R_C, R_C = 620 \text{ }\Omega, V_{CC} = 12 \text{ V}, R_g = 75 \text{ }\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$ และ $E_i = 25 \text{ mV}_{\text{peak}}$;



D_1, D_2 1N4148 $t_{rr} = 4 \text{ ns}, V_F = 0.6 \text{ V}, I_F = 200 \text{ mA}, V_R = 75 \text{ V}, V_{RRM} = 100 \text{ V};$

Q_1 2SC930 $V_{CBO} = 30 \text{ V}, V_{CEO} = 20 \text{ V}, V_{EBO} = 5 \text{ V}, I_{C(\text{MAX})} = 30 \text{ mA}, P_D = 120\text{-}250 \text{ mW},$

$\beta_F = \beta_o = 88, V_{BE} = 0.6 \text{ V}, F_T = 300 \text{ MHz}, C_{ob} = C_{re} = 1.3 \text{ pF}, r_{bb'} = 2 \text{ }\Omega;$

รูปที่ 4.14 แสดงวงจรทวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ทรานซิสเตอร์และไดโอดใช้ในการออกแบบ

4.2.7.1 การประมาณค่า I_C

สามารถนำสมการ (2.20) มาใช้ได้

จากสมการ (2.20)
$$I_{C(dc)} = \frac{F_T (k_B T/q)}{R_{FH} F_H (2\pi F_T C_{b'c} R_{out} + 1)}$$

โดยกำหนด $F_H = 500 \text{ kHz}$, $R_{FH} = R_g$, $C_{b'c} = C_{ob} = C_{re}$ และ $R_{out} = R_C$

การเลือก I_C จะต้องเลือกจาก $I_{C(dc)}$ ที่ได้จากสมการ (2.20) และ $I_{C(dc)}$ จะต้องไม่เกิน $0.5I_{C(MAX)}$ เพื่อความปลอดภัยของทรานซิสเตอร์

โดยกำหนด $V_{CE} = 0.5V_{CC}$, $V_{RC} = 0.25V_{CC}$, $V_{RE} = 0.25V_{CC}$; (4.22)

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F}$$

$$R_C = \frac{0.25V_{CC}}{I_C} \quad (4.23)$$

$$R_E = \frac{0.25V_{CC}}{(\beta_F + 1)I_B} \approx \frac{0.25V_{CC}}{I_C} \quad (4.24)$$

ตัวอย่างที่ 4.19 จงกำหนดค่า I_C

วิธีทำ จากสมการ (2.20)
$$I_{C(dc)} = \frac{F_T (k_B T/q)}{R_{FH} F_H (2\pi F_T C_{b'c} R_{out} + 1)}$$

โดยที่ $F_H = 500 \text{ kHz}$, $R_{FH} = 75 \text{ } \Omega$, $C_{b'c} = C_{ob} = C_{re} = 1.3 \text{ pF}$, $R_{out} = R_C = 620 \text{ } \Omega$;

$$I_{C(dc)} = \frac{F_T (k_B T/q)}{R_{FH} F_H (2\pi F_T C_{b'c} R_{out} + 1)}$$

$$I_{C(dc)} = \frac{300 \times 10^6 \times 25.7 \times 10^{-3}}{75 \times 500 \times 10^3 \left\{ (2 \times 3.14 \times 300 \times 10^6 \times 1.3 \times 10^{-12} \times 620) + 1 \right\}}$$

$$I_{C(dc)} = 81.635 \text{ mA}$$

เนื่องจาก $I_{C(MAX)}$ มีค่า 30 mA I_C ที่เลือกจะต้องต่ำกว่า $(0.5 \times 30 \times 10^{-3})$ เท่ากับ 15 mA จากโจทย์กำหนดให้ R_C มีค่า $620 \text{ } \Omega$

จากสมการ (4.23)
$$R_C = \frac{0.25V_{CC}}{I_C}$$

$$I_C = \frac{0.25V_{CC}}{R_C} = \frac{0.25 \times 12}{620} = 4.838 \text{ mA}$$

ตอบ เลือก $I_C = 4.838 \text{ mA}$

4.2.7.2 การประมาณค่า R_C , R_E , R_{B1} , R_{B2} , R_1 , R_2 และ R_L

ทรานซิสเตอร์ จะต้องได้รับการตั้งจุดทำงานขึ้นเอ มีกระแสคอลเล็กเตอร์

ไหลดลอดเวลา

$$\text{จากสมการ (4.23)} \quad R_C = \frac{0.25V_{CC}}{I_C}$$

$$\text{จากสมการ (4.24)} \quad R_E = \frac{0.25V_{CC}}{(\beta_F + 1)I_B} \approx \frac{0.25V_{CC}}{I_C}$$

$$\text{จากสมการ (2.26)} \quad R_{TH} = 15R_E$$

$$\text{จากสมการ (2.27)} \quad V_{TH} = I_B R_{TH} + V_{BE} + (\beta_F + 1) I_B R_E$$

$$\text{จากสมการ (2.28)} \quad R_{B1} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{V_{TH}}, R_{B2} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{(V_{CC} - V_{TH})};$$

$$\text{จากสมการ (4.10)} \quad I_{D1} = \frac{(V_{CC} - V_{FD1})}{(R_1 + 2R_L)}, I_{D1} = I_{D2};$$

$$I_{D1} = \frac{V_{CC} - V_{FD1}}{(R_1 + 2R_L)}$$

$$(R_1 + 2R_L) = \frac{V_{CC} - V_{FD1}}{I_{D1}}$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{FD1}}{I_{D1}} - 2R_L$$

ตัวอย่างที่ 4.20 การประมาณค่า R_C , R_E , R_{B1} , R_{B2} , R_1 , R_2 และ R_L

วิธีทำ จากสมการ (4.22) $V_{CE} = 0.5V_{CC}$, $V_{RC} = 0.25V_{CC}$, $V_{RE} = 0.25V_{CC}$;

$$V_{CE} = 0.5 \times 12 = 6 \text{ V}, V_{RC} = 0.25 \times 12 = 3 \text{ V}, V_{RE} = 0.25 \times 12 = 3 \text{ V};$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = \frac{4.838 \times 10^{-3}}{88} = 54.977 \text{ } \mu\text{A}$$

$$\text{จากสมการ (4.23)} \quad R_C = \frac{0.25V_{CC}}{I_C} = \frac{0.25 \times 12}{4.838 \times 10^{-3}} = 620 \text{ } \Omega$$

$$\text{จากสมการ (4.24)} \quad R_E = \frac{0.25V_{CC}}{(\beta_F + 1)I_B} \approx \frac{0.25 \times 12}{4.838 \times 10^{-3}} = 620 \text{ } \Omega$$

$$\text{จากสมการ (2.26)} \quad R_{TH} = 15R_E = 15 \times 620 = 9.3 \text{ k}\Omega$$

$$\text{จากสมการ (2.27)} \quad V_{TH} = I_B R_{TH} + V_{BE} + (\beta_F + 1) I_B R_E$$

$$V_{TH} = (54.977 \times 10^{-6} \times 9.3 \times 10^3) + 0.6 + (89 \times 54.977 \times 10^{-6} \times 620)$$

$$V_{TH} = 4.144 \text{ V}$$

$$\text{จากสมการ (2.28)} \quad R_{B1} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{V_{TH}} = \frac{12 \times 9.3 \times 10^3}{4.144} = 26.930 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B2} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{(V_{CC} - V_{TH})} = \frac{12 \times 9.3 \times 10^3}{(12 - 4.144)} = 14.205 \text{ k}\Omega$$

จากโจทย์

$$R_L \geq 100R_C$$

กำหนด

$$R_L = 100R_C = 100 \times 620 = 62 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (4.10)

$$I_{D1} = \frac{(V_{CC} - V_{FD1})}{(R_1 + 2R_L)}, I_{D1} = I_{D2};$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{FD1}}{I_{D1}} - 2R_L = \frac{12 - 0.6}{5 \times 10^{-6}} - (2 \times 62 \times 10^3)$$

$$R_1 = R_2 = 2.156 \text{ M}\Omega$$

ตอบ $R_C = 620 \text{ }\Omega$, $R_E = 620 \text{ }\Omega$, $R_{B1} = 26.930 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 14.205 \text{ k}\Omega$, $R_1 = R_2 = 2.156 \text{ M}\Omega$;

$$R_L = 62 \text{ k}\Omega$$

4.2.7.3 การเปลี่ยนค่าความต้านทานให้เป็นค่ามาตรฐาน

$$R_C = 620 \text{ }\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_C = 620 \text{ }\Omega$$

$$R_E = 620 \text{ }\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_E = 620 \text{ }\Omega$$

$$R_{B1} = 26.930 \text{ k}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_{B1} = 27 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B2} = 14.205 \text{ k}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_{B2} = 15 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = R_2 = 2.156 \text{ M}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_1 = R_2 = 2.2 \text{ M}\Omega$$

$$R_L = 62 \text{ k}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_L = 62 \text{ k}\Omega$$

4.2.7.4 การตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

การตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ จะกระทำหลังจากใช้ค่าความ

ต้านทานมาตรฐาน

$$\text{จากสมการ (2.3)} \quad I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta_F + 1) R_E}$$

$$\text{จากสมการ (2.4)} \quad I_C = \beta_F I_B$$

$$\text{จากสมการ (2.5)} \quad V_{CE} = V_{CC} - \{I_C R_C + (\beta_F + 1) I_B R_E\}$$

$$\text{จากสมการ (4.10)} \quad I_{D1} = \frac{(V_{CC} - V_{FD1})}{(R_1 + 2R_L)}, I_{D1} = I_{D2};$$

*หมายเหตุ ค่า V_{CE} ไม่ควรผิดพลาดเกิน $\pm 0.5 \text{ V}$ ถ้าหากเกินให้เปลี่ยนแปลงค่าของ R_{B1} หรือ R_{B2}

ตัวอย่างที่ 4.21 จงตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ และไดโอด

วิธีทำ จากสมการ (2.1)
$$V_{TH} = \frac{V_{CC}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{12 \times 15 \times 10^3}{(27 \times 10^3 + 15 \times 10^3)} = 4.285 \text{ V}$$

จากสมการ (2.2)
$$R_{TH} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{27 \times 10^3 \times 15 \times 10^3}{(27 \times 10^3 + 15 \times 10^3)} = 9.642 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (2.3)
$$I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta_F + 1)R_E} = \frac{(4.285 - 0.6)}{(9.642 \times 10^3) + (89 \times 620)} = 56.847 \text{ }\mu\text{A}$$

จากสมการ (2.4)
$$I_C = \beta_F I_B = 88 \times 56.847 \times 10^{-6} = 5.003 \text{ mA}$$

จากสมการ (2.5)
$$V_{CE} = V_{CC} - \{I_C R_C + (\beta_F + 1)I_B R_E\}$$

$$V_{CE} = 12 - \{(5.002 \times 10^{-3} \times 620) + (89 \times 56.847 \times 10^{-6} \times 620)\}$$

$$V_{CE} = 5.761 \text{ V}$$

จากสมการ (4.10)
$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{(V_{CC} - V_{FD1})}{(R_1 + 2R_L)} = \frac{12 - 0.6}{2.2 \times 10^6 + (2 \times 62 \times 10^3)} = 4.905 \text{ }\mu\text{A}$$

ตอบ $I_B = 56.847 \text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 5.003 \text{ mA}$, $I_{D1} = I_{D2} = 4.905 \text{ }\mu\text{A}$ และ $V_{CE} = 5.761 \text{ V}$ ซึ่งค่า V_{CE} ใกล้เคียง 6 V ถือว่าใช้ได้

4.2.7.5 การประมาณค่า C_B , C_C และ C_E

โดยกำหนดให้ C_B ควบคุม F_L ของวงจร

จากสมการ (4.18)
$$F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B}$$

ดังนั้น
$$C_B = \frac{1}{2\pi F_{L(C_B)} R_{FLCB}} \quad (4.25)$$

จากสมการ (4.19)
$$F_{L(C_E)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} C_E}$$

กำหนดให้ $R_{FLCE} = 0.5 \text{ }\Omega$, $F_{L(C_E)} = F_L$;

ดังนั้น
$$C_E = C_C = \frac{1}{2\pi F_{L(C_E)} R_{FLCE}} \quad (4.26)$$

ตัวอย่างที่ 4.22 จงประมาณค่า C_B , C_E และ C_C

วิธีทำ จากสมการ (4.25)
$$C_B = \frac{1}{2\pi F_{L(C_B)} R_{FLCB}}$$

โดยที่ C_B คือ ตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่กำหนดความถี่ตัดด้านต่ำของวงจร

$$F_{L(C_B)} = F_L = 30 \text{ kHz}$$

$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{k_B T/q} = \frac{5.003 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 194.669 \text{ mS}$$

$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{88}{194.669 \times 10^{-3}} = 452.049 \text{ } \Omega$$

$$R_{BB} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{27 \times 10^3 \times 15 \times 10^3}{27 \times 10^3 + 15 \times 10^3} = 9.642 \text{ k}\Omega$$

$$R_{FLCB} = R_g + \frac{R_{BB} \{r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_o + 1) R_E\}}{\{R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e} + (\beta_o + 1) R_E\}}$$

$$R_{FLCB} = 75 + \frac{9.642 \times 10^3 \{2 + 452.049 + (89 \times 620)\}}{9.642 \times 10^3 + 2 + 452.049 + (89 \times 620)} = 8.292 \text{ k}\Omega$$

$$C_B = \frac{1}{2\pi F_{L(C_B)} R_{FLCB}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 30 \times 10^3 \times 8.292 \times 10^3}$$

$$C_B = 640.117 \text{ pF}$$

จากสมการ (4.26)

$$C_E = C_C = \frac{1}{2\pi F_{L(C_E)} R_{FLCE}}$$

โดยที่ $R_{FLCE} = 0.5 \text{ } \Omega$, $F_{L(C_E)} = F_L = 30 \text{ kHz}$;

$$C_E = C_C = \frac{1}{2\pi F_{L(C_E)} R_{FLCE}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 30 \times 10^3 \times 0.5} = 10.615 \text{ } \mu\text{F}$$

ตอบ $C_B = 640.117 \text{ pF}$, $C_E = C_C = 10.615 \text{ } \mu\text{F}$;

4.2.7.6 การเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุให้เป็นค่ามาตรฐาน

$C_B = 640.117 \text{ pF}$ เป็นค่ามาตรฐาน $C_B = 680 \text{ pF}$ เซรามิก

$C_E = C_C = 10.615 \text{ } \mu\text{F}$ เป็นค่ามาตรฐาน $C_E = C_C = 15 \text{ } \mu\text{F}$ แทนทาลัม

4.2.7.7 การตรวจสอบ F_H ของวงจร

จากสมการ (4.21)
$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$$

ตัวอย่างที่ 4.23 การตรวจสอบ F_H ของวงจร เมื่อใช้ค่ามาตรฐาน และความถี่สูงสุดที่ทวี 2 เท่า

วิธีทำ จากสมการ (4.21)
$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$$

4. วงจรทวีความถี่

โดยที่ $R_{BB} = 9.642 \text{ k}\Omega$

$$R_{FH1} = \left\{ (R_g \parallel R_{BB}) + r_{bb'} \right\} = \frac{(75 \times 9.462 \times 10^3) + 2(75 + 9.462 \times 10^3)}{(75 + 9.462 \times 10^3)} = 76.410 \Omega$$

$$R_{FH2} = r_{b'e} + (\beta_F + 1) R_E = 452.049 + (89 \times 620) = 55.632 \text{ k}\Omega$$

$$R_{FH} = \frac{R_{FH1} R_{FH2}}{(R_{FH1} + R_{FH2})} = \frac{76.410 \times 55.632 \times 10^3}{(76.410 + 55.632 \times 10^3)} = 76.305 \Omega$$

$$r_{d1} = r_{d2} = \frac{(k_B T / q)}{I_{D1}} = \frac{25.7 \times 10^{-3}}{4.905 \times 10^{-6}} = 5.239 \text{ k}\Omega$$

$$R_{out} = \frac{R_C (r_{d1} + R_L)}{(R_C + r_{d1} + R_L)} = \frac{620 (5.239 \times 10^3 + 62 \times 10^3)}{(620 + 5.239 \times 10^3 + 62 \times 10^3)} = 614.335 \Omega$$

$$C_{b'c} = C_{re} = C_{ob} = 1.3 \text{ pF}, g_m = 194.669 \text{ mS}, r_{b'e} = 452.049 \Omega;$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{b'c} = \frac{194.669 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 300 \times 10^6} - 1.3 \times 10^{-12} = 102.027 \text{ pF}$$

$$C_T = 102.027 \times 10^{-12} + 1.3 \times 10^{-12} \left\{ 1 + (194.669 \times 10^{-3} \times 614.335) \right\} = 258.796 \text{ pF}$$

$$F_H = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 76.305 \times 258.796 \times 10^{-12}} = 8.063 \text{ MHz}$$

$$\text{ความถี่สูงสุดที่ทวี 2 เท่า} = 2F_H = 2 \times 8.063 \times 10^6 = 16.126 \text{ MHz}$$

ตอบ $F_H = 8.063 \text{ MHz}$ สูงกว่า **500 kHz** ถือว่าใช้ได้ และความถี่สูงสุดที่ทวี 2 เท่า ได้ **16.126 MHz**

4.2.7.8 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์

เพื่อความปลอดภัยของทรานซิสเตอร์ ขณะทำงานควรใช้สมการ (2.32),

(2.33) และ (2.34) ตรวจสอบ

$$V_{CC} \leq V_{CEO}$$

$$I_C < 0.5 I_{C(\text{MAX})}$$

$$V_{CE} I_C < P_D$$

ตัวอย่างที่ 4.24 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์

วิธีทำ จากสมการ (2.32), (2.33) และ (2.34)

$$V_{CC} \leq V_{CEO}$$

$$12 \text{ V} \leq 20 \text{ V}$$

$\therefore V_{CC}$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ V_{CEO} จริง

$$I_C < 0.5I_{C(\text{MAX})}$$

$$5.003 \text{ mA} < (0.5 \times 30 \times 10^{-3})$$

$$5.003 \text{ mA} < 15 \text{ mA}$$

$\therefore I_C$ น้อยกว่า $0.5I_{C(\text{MAX})}$ จริง

$$V_{CE}I_C < P_D$$

$$5.761 \times 5.003 \times 10^{-3} < 120 \text{ mW}$$

$$28.822 \text{ mW} < 120 \text{ mW}$$

$\therefore V_{CE}I_C$ น้อยกว่า P_D จริง

ตอบ ทรานซิสเตอร์ไม่เสียหาย

4.2.7.9 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวต้านทาน

เพื่อความปลอดภัยของตัวต้านทาน จึงเลือกใช้ค่าทนกำลังไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของค่าจริง

4.2.7.9.1 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_C หรือ P_{R_C} ประมาณได้จาก

$$P_{R_C} = \frac{2(0.25V_{CC})^2}{R_C} \quad (4.27)$$

4.2.7.9.2 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_E หรือ P_{R_E} ประมาณได้จาก

$$P_{R_E} = \frac{2(0.25V_{CC})^2}{R_E} \quad (4.28)$$

4.2.7.9.3 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_{B1} หรือ $P_{R_{B1}}$ ประมาณได้จาก

$$P_{R_{B1}} = \frac{2(V_{R_{B1}})^2}{R_{B1}} = \frac{2\{V_{CC} - (V_{BE} + V_{RE})\}^2}{R_{B1}} \quad (4.29)$$

4.2.7.9.4 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_{B2} หรือ $P_{R_{B2}}$ ประมาณได้จาก

$$P_{R_{B2}} = \frac{2(V_{R_{B2}})^2}{R_{B2}} = \frac{2(V_{BE} + V_{RE})^2}{R_{B2}} \quad (4.30)$$

4.2.7.9.5 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_1 หรือ P_{R_1} ประมาณได้จาก

$$P_{R_1} = \frac{2(V_{R_1})^2}{R_1} = \frac{2\{V_{CC} - (V_{FD_1} + 2I_{D_1}R_L)\}^2}{R_1} \quad (4.30a)$$

4.2.7.9.6 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_2 หรือ P_{R_2} ประมาณได้จาก

$$P_{R_2} = \frac{2(V_{R_2})^2}{R_2} = \frac{2\{V_{CC} - (V_{FD_2} + 2I_{D_2}R_L)\}^2}{R_2} \quad (4.30b)$$

ตัวอย่างที่ 4.25 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวต้านทาน

วิธีทำ จากสมการ (4.27) $P_{R_C} = P_{R_E} = \frac{2(0.25V_{CC})^2}{R_C} = \frac{2(0.25 \times 12)^2}{620} = 29.032 \text{ mW}$

$$R_C = 620 \Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (4.28) $P_{R_E} = \frac{2(0.25V_{CC})^2}{R_E} = \frac{2(0.25 \times 12)^2}{620} = 29.032 \text{ mW}$

$$R_E = 620 \Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (4.29) $P_{R_{B1}} = \frac{2(V_{R_{B1}})^2}{R_{B1}} = \frac{2\{V_{CC} - (V_{BE} + V_{R_E})\}^2}{R_{B1}} = \frac{2\{12 - (0.6 + 3)\}^2}{27 \times 10^3}$

$$P_{R_{B1}} = 5.226 \text{ mW}$$

$$R_{B1} = 27 \text{ k}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (4.30) $P_{R_{B2}} = \frac{2(V_{R_{B2}})^2}{R_{B2}} = \frac{2(V_{BE} + V_{R_E})^2}{R_{B2}} = \frac{2(0.6 + 3)^2}{15 \times 10^3} = 1.728 \text{ mW}$

$$R_{B2} = 15 \text{ k}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (4.30a) $P_{R_1} = \frac{2(V_{R_1})^2}{R_1} = \frac{2\{V_{CC} - (V_{FD_1} + 2I_{D_1}R_L)\}^2}{R_1}$

$$P_{R_1} = \frac{2\left[12 - \left\{0.6 + \left(2 \times 5 \times 10^{-6} \times 62 \times 10^3\right)\right\}\right]^2}{2.2 \times 10^6} = 0.105 \text{ mW}$$

$$P_{R_1} = P_{R_2}$$

$$R_1 = 2.2 \text{ M}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

$$R_2 = 2.2 \text{ M}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

ตอบ จะได้ค่าความต้านทานดังนี้

$$R_C = 620 \Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W}, R_{B1} = 22 \text{ k}\Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W};$$

$$R_E = 620 \Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W}, R_{B2} = 11 \text{ k}\Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W};$$

$$R_1 = 2.2 \text{ M}\Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W}, R_2 = 2.2 \text{ M}\Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W};$$

4.2.7.10 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

เพื่อความปลอดภัยของตัวเก็บประจุ จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุ ที่มีค่าทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมจริง 2 เท่า

4.2.7.10.1 ค่าทนแรงดันกระแสตรงของ C_C ประมาณได้จาก

$$V_{C_C} = 2(0.5V_{CC} + 0.25V_{CC}) = 2(0.75V_{CC}) \quad (4.31)$$

4.2.7.10.2 ค่าทนแรงดันกระแสตรงของ C_E ประมาณได้จาก

$$V_{C_E} = 2(0.25V_{CC}) \quad (4.32)$$

4.2.7.10.3 ค่าทนแรงดันกระแสตรงของ C_B ประมาณได้จาก

$$V_{C_B} = 2(0.25V_{CC} + 0.6 \text{ V}) \quad (4.33)$$

ตัวอย่างที่ 4.26 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

วิธีทำ จากสมการ (4.31) $V_{C_C} = 2(0.75V_{CC}) = 2(0.75 \times 12) = 18 \text{ V}$

$C_C = 15 \mu\text{F}$ ชนิดแทนทาลัม ค่าทนแรงดัน 16 V

จากสมการ (4.32) $V_{C_E} = 2(0.25V_{CC}) = 2(0.25 \times 12) = 6 \text{ V}$

$C_E = 15 \mu\text{F}$ ชนิดแทนทาลัม ค่าทนแรงดัน 6.3 V

จากสมการ (4.33) $V_{C_B} = 2(0.25V_{CC} + 0.6\text{V}) = 2\{(0.25 \times 12) + 0.6\} = 7.2 \text{ V}$

$C_B = 680 \text{ pF}$ ชนิดเซรามิก ค่าทนแรงดัน 50 V

ตอบ จะได้ตัวเก็บประจุดังนี้

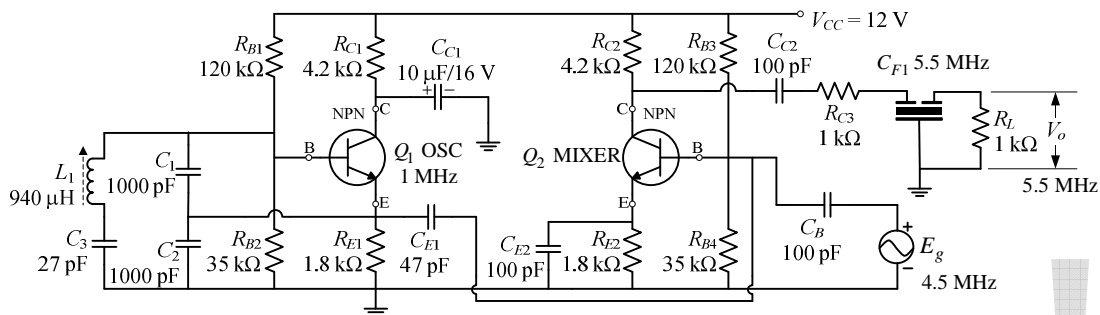
$C_B = 680 \text{ pF}$ 50 V เซรามิก

$C_E = 15 \mu\text{F}$ 6.3 V แทนทาลัม

$C_C = 15 \mu\text{F}$ 16 V แทนทาลัม

4.3 วงจรทวีความถี่แบบคอนเวอร์เตอร์

วงจรทวีความถี่แบบคอนเวอร์เตอร์ใช้หลักการนำสัญญาณ 2 สัญญาณรวมกัน คัดเลือกเอาเฉพาะสัญญาณที่เป็นผลบวก สามารถอธิบายรายละเอียดได้ ดังนี้ :-



รูปที่ 4.15 แสดงวงจรทวีความถี่แบบคอนเวอร์เตอร์จาก 4.5 MHz เป็น 5.5 MHz

- Q_1 OSC ทำหน้าที่ วงจรออสซิลเลเตอร์แบบแคลมป์ กำหนดความถี่ 1 MHz
- L_1 และ C_3 ทำหน้าที่ ควบคุมการกำเนิดความถี่ 1 MHz
- C_1 , C_2 , C_3 และ L_1 ทำหน้าที่ วงจรป้อนกลับแบบเชื่อมต่อ 3 จุด
- Q_2 MIXER ทำหน้าที่ ขยายแรงดันสัญญาณ 4.5 MHz และสัญญาณ 1 MHz จากวงจรออสซิลเลเตอร์ ออกทางขาคอลเล็กเตอร์ ทำให้ได้ผลบวกของสัญญาณ, ผลต่าง, สัญญาณ 4.5 MHz และสัญญาณ 1 MHz

- C_B ทำหน้าที่ เชื่อมต่อสัญญาณเข้า ที่ขาเบส
- C_{C2} ทำหน้าที่ เชื่อมต่อสัญญาณออกของ Q_2 ผ่าน R_{C3} ให้แก่ C_{F1} 5.5 MHz
- C_{F1} 5.5 MHz ทำหน้าที่ กรองสัญญาณความถี่ 5.5 MHz ผ่านจ่ายให้แก่ R_L ซึ่งสัญญาณ 5.5 MHz เกิดจากผลบวกของสัญญาณ 4.5 MHz กับสัญญาณ 1 MHz

วงจรทวีความถี่แบบคอนเวอร์เตอร์ จะเปลี่ยนความถี่จากเดิม 4.5 MHz กลายเป็น 5.5 MHz การประมาณค่าความถี่ของ Q_1 OSC ใช้สมการของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบแคลมป์

สรุป

การทวีความถี่ 2 เท่า เป็นการทำให้ค่าความถี่ของสัญญาณด้านออก มีค่าสูงเป็น 2 เท่า โดยอาศัยหลักการของการเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น โดยไม่ต้องกรองกระแสไฟฟ้าให้เรียบ ไดโอดที่นำมาใช้งานได้แก่ ขอตต์กีไดโอด

การใช้ทรานซิสเตอร์จัดเฟสและขยายแรงดันไฟฟ้าป้อน ให้แก่ ไดโอด ทำให้วงจรสามารถตอบสนองช่วงความถี่ได้กว้าง

วงจรทวิความถี่แบบคอนเวอร์เตอร์ใช้หลักการนำสัญญาณ 2 สัญญาณรวมกัน คัดเลือกเอาเฉพาะสัญญาณที่มีความถี่เป็นผลบวก

เผยแพร่

เพียแแพร์!