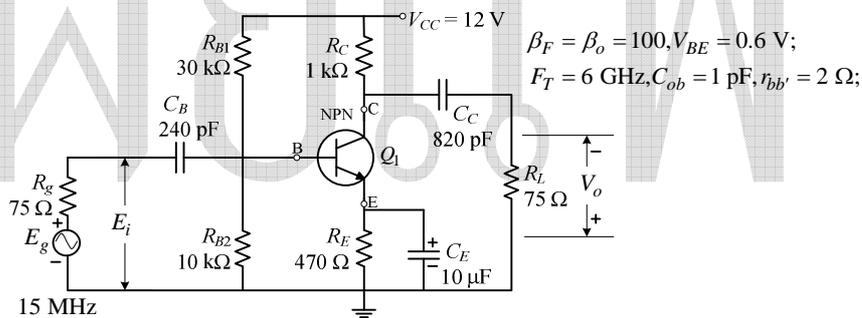


บทที่ 2 วงจรขยายย่านความถี่สูง

วงจขยายย่านความถี่สูง มีความสามารถในการขยายแรงดัน และขยายกำลัง ของสัญญาณ ไซน์ การตอบสนองด้านความถี่สูง จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ทรานซิสชัน ของทรานซิสเตอร์ และการตอบสนองความถี่ต่ำของวงจร จะถูกควบคุมโดยตัวเก็บประจุเชื่อมต่อ ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ วงจรทำงานในชั้นเอ สามารถขยายสัญญาณครบรอบ 360°

เนื้อหาครอบคลุม การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง, วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ, การออกแบบวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ และเฟต วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ หรือเฟตส่วนมาก โดยพื้นฐาน จะทำหน้าที่เป็นวงจขยายแรงดันไฟฟ้า เมื่อสามารถวิเคราะห์ และออกแบบวงจขยายย่านความถี่สูงได้ ก็จะสามารถเรียนรู้บทเรียนอื่น ๆ ได้ดีและรวดเร็ว

2.1 วงจขยายย่านความถี่สูงโดยใช้ทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.1 แสดงวงจขยายย่านความถี่สูง

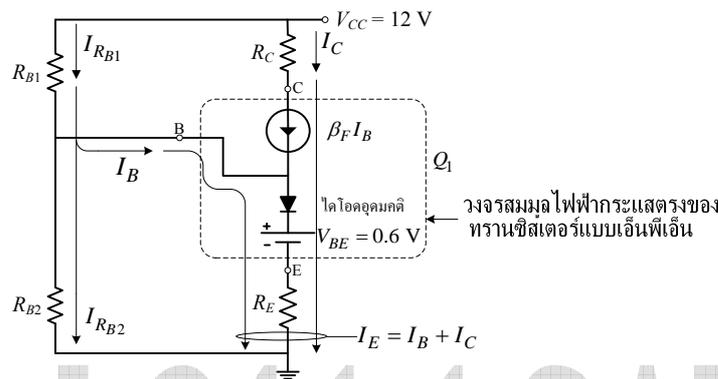
จากรูปที่ 2.1 วงจขยายย่านความถี่สูงโดยใช้ทรานซิสเตอร์ มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- Q_1 ทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่ ขยายแรงดันของสัญญาณ ที่รับเข้ามาให้มีแรงดันสูงขึ้น Q_1 จะต้องสามารถขยายสัญญาณในย่านความถี่สูงได้ดี โดยมีค่า F_T เท่ากับ 6 GHz และ C_{ob} เท่ากับ 1 pF มีจุดทำงานอยู่ในชั้นเอ มีกระแสคอลเล็กเตอร์ ไหลตลอดเวลา
- R_{B1} , R_{B2} และ R_E ร่วมกันจัดไบแอส ให้แก่ ทรานซิสเตอร์ ให้ได้จุดทำงานที่เสถียรภาพ ต่ออุณหภูมิ และสามารถแก้ไขการผิดพลาดของ β_F ได้
- C_B , C_C และ C_E ทำหน้าที่ เชื่อมสัญญาณกระแสสลับผ่านตัวมันเอง แต่ไม่ยอมให้ไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านได้ และยังมีหน้าที่ ควบคุมความถี่ตัดด้านต่ำของวงจร
- E_g แหล่งกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ มีความต้านทานด้านออก 75 Ω เมื่อวงจรถูกจัดเป็น

แบบอิมิตเตอร์ร่วม เฟสของสัญญาณด้านออก (V_o) ตรงกันข้ามกับด้านเข้า 180°

2.1.1 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

เพื่อประมาณค่าจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ได้แก่ กระแส I_B, I_C และแรงดัน V_{CE} จากรูปที่ 2.2 จะสังเกตเห็นไม่มีตัวเก็บประจุต่ออยู่ในวงจร เนื่องจากตัวเก็บประจุไม่ยอมให้ไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่าน



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของวงจรรูปที่ 2.1

วงจรไฟฟ้ากระแสตรงของทรานซิสเตอร์ มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- แหล่งกำเนิดกระแส $\beta_F I_B$ โดยปริมาณกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) เปลี่ยนแปลงค่าตามการเปลี่ยนแปลงของกระแสเบส (I_B)
- ไดโอดในอุดมคติ เป็นสัญลักษณ์ บอกให้ทราบว่า ขาเบสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี
- V_{BE} มีค่าเท่ากับ 0.6 V
- ทิศทางของกระแส I_C ไม่สามารถไหลผ่านออกที่ขาเบสได้
- กระแส I_B ไม่สามารถไหลผ่านแหล่งกำเนิดกระแส $\beta_F I_B$ ได้

2.1.1.1 การประมาณค่า I_B

การประมาณค่ากระแส I_B มีขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.3, 2.4 และรูปที่ 2.5 จากรูปที่ 2.3 จะได้สมการ

$$V_{CC} = I R_{B1} + I R_{B2} = I (R_{B1} + R_{B2})$$

$$I = \frac{V_{CC}}{(R_{B1} + R_{B2})}$$

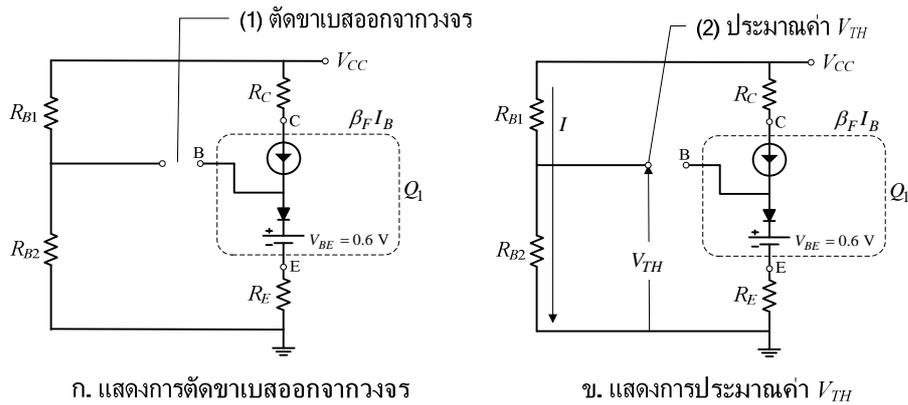
$$V_{TH} = I R_{B2}$$

ดังนั้น

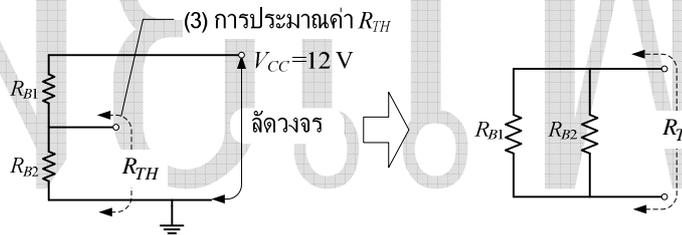
$$\boxed{V_{TH} = \frac{V_{CC} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})}} \tag{2.1}$$

จากรูปที่ 2.4 จะได้สมการ

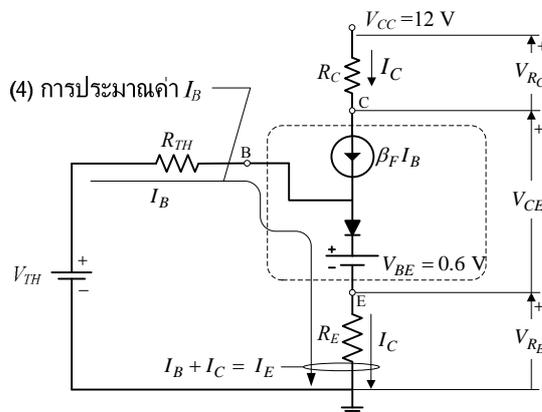
$$R_{TH} = (R_{B1} \parallel R_{B2}) = \frac{R_{B1}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.3 แสดงการตัดขาเบสออกจากวงจรและการประมาณค่า V_{TH}



รูปที่ 2.4 แสดงการประมาณค่า R_{TH}



รูปที่ 2.5 แสดงการประมาณค่ากระแส I_B จากแหล่งกำเนิดแรงดัน V_{TH}

จากรูปที่ 2.5 การประมาณค่ากระแส I_B จากแหล่งกำเนิดแรงดัน V_{TH} จะได้

สมการ

$$\boxed{V_{TH} = I_B R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E} \quad (2.2a)$$

เนื่องจาก $I_E = I_B + I_C$, $I_C = \beta_F I_B$, $I_E = (\beta_F + 1) I_B$;

$$\begin{aligned} V_{TH} &= I_B R_{TH} + V_{BE} + (\beta_F + 1) I_B R_E \\ V_{TH} - V_{BE} &= I_B \{ R_{TH} + (\beta_F + 1) R_E \} \end{aligned}$$

ดังนั้น

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

2.1.1.2 การประมาณค่า I_C และ V_{CE}

การประมาณค่ากระแส I_C และแรงดัน V_{CE} จากรูปที่ 2.5 จะได้สมการ

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

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

ดังนั้น

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

ตัวอย่างที่ 2.1 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า V_{TH} , R_{TH} , I_B , I_C และ V_{CE}

วิธีทำ จากสมการ (2.1)

$$V_{TH} = \frac{V_{CC} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{12 \times 10 \times 10^3}{(30 \times 10^3 + 10 \times 10^3)} = 3 \text{ V}$$

จากสมการ (2.2)

$$R_{TH} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{30 \times 10^3 \times 10 \times 10^3}{(30 \times 10^3 + 10 \times 10^3)} = 7,500 \ \Omega$$

จากสมการ (2.3)

$$I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta_F + 1) R_E} = \frac{(3 - 0.6)}{7.5 \times 10^3 + (100 + 1) 470}$$

$$I_B = 43.66 \ \mu\text{A}$$

จากสมการ (2.4)

$$I_C = \beta_F I_B = 100 \times 43.66 \times 10^{-6} = 4.366 \text{ mA}$$

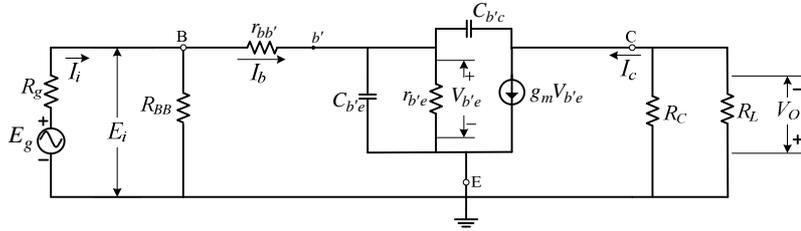
จากสมการ (2.5)

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - \{ I_C R_C + (\beta_F + 1) I_B R_E \} \\ V_{CE} &= 12 - \{ (4.366 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3) + (101 \times 43.66 \times 10^{-6} \times 470) \} \end{aligned}$$

$$V_{CE} = 5.561 \text{ V}$$

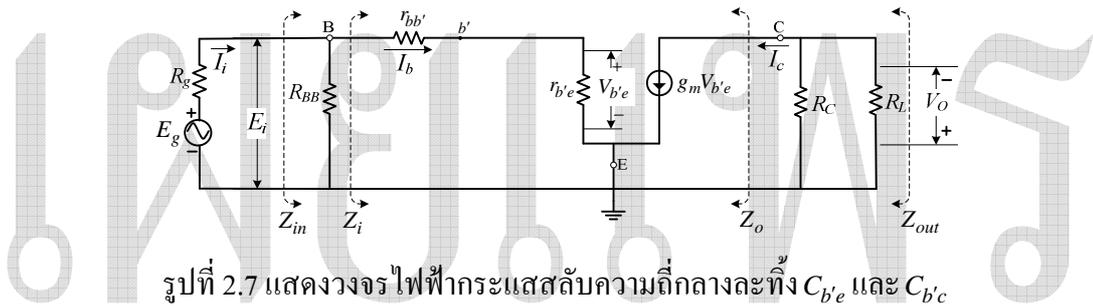
ตอบ $V_{TH} = 3 \text{ V}$, $R_{TH} = 7.5 \text{ k}\Omega$, $I_B = 43.66 \ \mu\text{A}$, $I_C = 4.366 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.561 \text{ V}$;

2.1.2 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลาง



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลางของรูปที่ 2.1

ความถี่กลาง (F_{Mid}) เป็นค่าความถี่ระหว่างความถี่ตัดด้านต่ำ กับด้านสูง โดยความถี่กลาง จะทำให้ค่า X_{C_B} , X_{C_E} และ X_{C_C} มีค่าเท่ากับ 0Ω แต่ค่า $X_{C_{b'e}}$ และ $X_{C_{b'c}}$ มีค่าสูงมาก สามารถละทิ้งได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลางละทิ้ง $C_{b'e}$ และ $C_{b'c}$

2.1.2.1 การประมาณค่า g_m และ $r_{b'e}$

จำเป็นต้องทราบ $I_{C(dc)}$, V_T และ β_F ของทรานซิสเตอร์

จากสมการ (1.9)
$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T/q)}$$

จากสมการ (1.10)
$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m}$$

2.1.2.2 การประมาณค่า Z_i และ Z_{in}

2.1.2.2.1 Z_i คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าระหว่างขาเบส กับกราวด์ โดยละทิ้งความต้านทานภายนอกทั้งหมด ที่ต่อระหว่างขาเบส กับกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

$$Z_i = r_{bb'} + r_{b'e} \tag{2.6}$$

2.1.2.2.2 Z_{in} คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าระหว่างขาเบส กับกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

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

ดังนั้น

$$Z_{in} = (R_{BB} \parallel Z_i) = \frac{R_{BB}Z_i}{(R_{BB} + Z_i)} = \frac{R_{BB}(r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})} \quad (2.7)$$

2.1.2.3 การประมาณค่า Z_o และ Z_{out}

2.1.2.3.1 Z_o คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านออกระหว่างขาคอลเล็กเตอร์ กับกราวด์ โดยถือว่า แหล่งกำเนิดกระแส $g_m V_{b'e}$ มีความต้านทานสูงมาก หรือค่าอนันต์ สามารถแทนด้วย วงจรเปิด ดังแสดงในรูปที่ 2.7

$$Z_o = \infty \quad (2.8)$$

2.1.2.3.2 Z_{out} คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านออกระหว่างขาคอลเล็กเตอร์กับกราวด์ โดยรวมค่าความต้านทานที่ต่ออยู่ระหว่างขาคอลเล็กเตอร์ กับกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

$$Z_{out} = Z_o \parallel (R_C \parallel R_L)$$

เนื่องจาก $Z_o = \infty, R_{out} = \frac{R_C R_L}{(R_C + R_L)}$;

ดังนั้น

$$Z_{out} = R_{out} = (R_C \parallel R_L) = \frac{R_C R_L}{(R_C + R_L)} \quad (2.9)$$

ตัวอย่างที่ 2.2 จากรูปที่ 2.1 E_g มีความถี่ 15 MHz จงประมาณค่า $g_m, r_{b'e}, Z_i, Z_{in}, Z_o$ และ Z_{out} โดยที่

$$T_A = 25^\circ \text{C}$$

วิธีทำ จากสมการ (1.9)

$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T/q)}$$

$$T = (273 + 25) = 298 \text{ K}$$

$$V_T = \frac{k_B T}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 298}{1.60 \times 10^{-19}} = 25.7 \text{ mV}$$

$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{4.366 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 169.883 \text{ mS}$$

จากสมการ (1.10)

$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{100}{169.883 \times 10^{-3}} = 588.64 \ \Omega$$

$$R_{out} = \frac{R_C R_L}{(R_C + R_L)} = \frac{1 \times 10^3 \times 75}{(1 \times 10^3 + 75)} = 69.767 \ \Omega$$

จากสมการ (2.6)

$$Z_i = r_{bb'} + r_{b'e}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$Z_i = 2 + 588.64 = 590.64 \Omega$$

จากสมการ (2.7)
$$Z_{in} = (R_{BB} \parallel Z_i) = \frac{R_{BB} Z_i}{(R_{BB} + Z_i)} = \frac{R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$$

เนื่องจาก
$$R_{BB} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{30 \times 10^3 \times 10 \times 10^3}{(30 \times 10^3 + 10 \times 10^3)} = 7,500 \Omega$$

$$Z_{in} = \frac{R_{BB} Z_i}{(R_{BB} + Z_i)} = \frac{7,500 \times 590.64}{(7,500 + 590.64)} = 547.521 \Omega$$

จากสมการ (2.8)
$$Z_o = \infty$$

จากสมการ (2.9)
$$Z_{out} = R_{out} = \frac{1 \times 10^3 \times 75}{(1 \times 10^3 + 75)} = 69.767 \Omega$$

ตอบ $g_m = 169.883 \text{ mS}$, $r_{b'e} = 588.64 \Omega$, $Z_i = 590.64 \Omega$, $Z_{in} = 547.521 \Omega$, $Z_o = \infty$,

$Z_{out} = 69.767 \Omega$;

2.1.2.4 การประมาณค่า $A_{V(F_{Mid})}$ และ $A_{i(F_{Mid})}$

2.1.2.4.1 $A_{V(F_{Mid})}$ คือ อัตราขยายแรงดันความถี่กลางระหว่างแรงดัน V_o ต่อ E_i จากรูปที่ 2.7 สามารถเขียนสมการด้านเข้าได้

$$E_i = I_b (r_{bb'} + r_{b'e})$$

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

$$V_{b'e} = I_b r_{b'e} = \frac{E_i r_{b'e}}{(r_{bb'} + r_{b'e})} = \frac{E_i r_{b'e}}{Z_i}$$

สมการด้านออก
$$V_o = I_c Z_{out}$$

เนื่องจาก $I_c = g_m V_{b'e}$

$$V_o = g_m V_{b'e} Z_{out}$$

เนื่องจาก $V_{b'e} = \frac{E_i r_{b'e}}{Z_i}$

$$V_o = \frac{g_m E_i r_{b'e} Z_{out}}{Z_i}$$

ดังนั้น

$$A_{V(F_{Mid})} = \frac{V_o}{E_i} = - \frac{g_m r_{b'e} Z_{out}}{Z_i} = - \frac{g_m r_{b'e} R_C R_L}{(r_{bb'} + r_{b'e})(R_C + R_L)} \quad (2.10)$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$E_g = I_i R_g + I_i Z_{in} = I_i (R_g + Z_{in})$$

$$I_i = \frac{E_g}{(R_g + Z_{in})}$$

$$E_i = I_i Z_{in}$$

$$E_i = \frac{E_g Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{E_i}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{E_g Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

ดังนั้น

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} = -\frac{g_m r_{b'e} Z_{out}}{Z_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} \quad (2.11)$$

เนื่องจากแรงดัน V_o มีเฟสของสัญญาณตรงกันข้ามกับ E_g อยู่ 180° ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วม ดังนั้น $A_{V(F_{Mid})}$ จึงมีเครื่องหมายลบ (-) อยู่ด้านหน้าแสดงเฟสของสัญญาณด้านออก เครื่องหมายลบดังกล่าวจะไม่นำไปคำนวณ

2.1.2.4.2 $A_{i(F_{Mid})}$ คือ อัตราขยายกระแสความถี่กลางระหว่างกระแส I_{R_L} ต่อกระแส I_b ดังแสดงในรูปที่ 2.7 สมการของ $A_{i(F_{Mid})}$ ไม่ว่าจะใช้ E_g หรือ E_i จะได้สมการเหมือนกัน

$$A_{i(F_{Mid})} = \frac{I_{R_L}}{I_b}$$

$$E_i = I_b (r_{bb'} + r_{b'e})$$

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

$$V_{b'e} = I_b r_{b'e} = \frac{E_i r_{b'e}}{(r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$I_{R_L} = \frac{g_m V_{b'e} R_C}{(R_C + R_L)} = \frac{g_m E_i r_{b'e} R_C}{(r_{bb'} + r_{b'e})(R_C + R_L)}$$

$$A_{i(F_{Mid})} = \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{g_m E_i r_{b'e} R_C}{(r_{bb'} + r_{b'e})(R_C + R_L)} \times \frac{(r_{bb'} + r_{b'e})}{E_i}$$

ดังนั้น

$$A_{i(F_{Mid})} = \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{g_m r_{b'e} R_C}{(R_C + R_L)} \quad (2.12)$$

ตัวอย่างที่ 2.3 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i}$, $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g}$ และ $A_{i(F_{Mid})}$

วิธีทำ จากสมการ (2.10) $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -\frac{g_m r_{b'e} Z_{out}}{Z_i} = -\frac{g_m r_{b'e} R_C R_L}{(r_{bb'} + r_{b'e})(R_C + R_L)}$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{169.883 \times 10^{-3} \times 588.64 \times 69.767}{590.64} = -11.812$$

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -11.812$$

จากสมการ (2.11)

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -11.812 \times \frac{547.521}{(75 + 547.521)}$$

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -11.812 \times 0.879 = -10.382$$

จากสมการ (2.12)

$$A_{i(F_{Mid})} = \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{g_m r_{b'e} R_C}{(R_C + R_L)}$$

$$A_{i(F_{Mid})} = \frac{169.883 \times 10^{-3} \times 588.64 \times 1,000}{(1,000 + 75)}$$

$$A_{i(F_{Mid})} = 93.023$$

ตอบ $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -11.812$, $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -10.382$, $A_{i(F_{Mid})} = \frac{I_{R_L}}{I_b} = 93.023$;

2.1.2.5 การประมาณค่าอัตราขยายกำลัง (Power Gain; P_G)

อัตราขยายกำลัง เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังด้านออก (P_{out}) ต่อ กำลังด้านเข้า (P_{in}) หรือผลคูณระหว่างอัตราขยายแรงดันความถี่กลาง กับอัตราขยายกระแสความถี่กลาง และนิยมทำให้อยู่ในรูปเดซิเบล การประมาณค่า P_G ณ ที่ความถี่กลางไม่จำเป็น จะต้องทำการแมตช์ด้านเข้า และด้านออกของวงจร เนื่องจากวงจรไม่มีค่ารีแอคแตนซ์หลงเหลืออยู่

จากสมการ (2.11)

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

จากสมการ (2.12)

$$A_{i(F_{Mid})} = \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{g_m r_{b'e} R_C}{(R_C + R_L)}$$

$$P_G = \frac{V_o}{E_g} \times \frac{I_{R_L}}{I_b}$$

$$P_G = \frac{V_o}{E_g} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{V_o}{E_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} \times \frac{g_m r_{b'e} R_C}{(R_C + R_L)}$$

$$P_G = \frac{V_o}{E_g} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{g_m r_{b'e} R_C R_L}{(r_{bb'} + r_{b'e})(R_C + R_L)} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} \times \frac{g_m r_{b'e} R_C}{(R_C + R_L)}$$

สมการ (2.12a) ใช้กับ E_g และสมการ (2.12b) ใช้กับ E_i

$$P_G = \frac{V_o}{E_g} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{(g_m r_{b'e} R_C)^2 R_L}{Z_i (R_C + R_L)^2} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} \quad (2.12a)$$

$$P_G = \frac{V_o}{E_i} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{(g_m r_{b'e} R_C)^2 R_L}{Z_i (R_C + R_L)^2} \quad (2.12b)$$

ตัวอย่างที่ 2.4 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า P_G (dB) เมื่อใช้กับ E_i และ E_g

วิธีทำ จากสมการ (2.12b)

$$P_G = \frac{V_o}{E_i} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{(g_m r_{b'e} R_C)^2 R_L}{Z_i (R_C + R_L)^2}$$

$$P_G = \frac{V_o}{E_i} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = 11.812 \times 93.023 = 1,098.787$$

$$P_G = 10 \log_{10} 1,098.787 = 30.409 \text{ dB}$$

จากสมการ (2.12a)

$$P_G = \frac{V_o}{E_g} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = \frac{(g_m r_{b'e} R_C)^2 R_L}{Z_i (R_C + R_L)^2} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

$$P_G = \frac{V_o}{E_g} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = 11.812 \times 93.023 \times \frac{547.521}{(75 + 547.521)}$$

$$P_G = \frac{V_o}{E_g} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = 11.812 \times 93.023 \times 0.879$$

$$P_G = \frac{V_o}{E_g} \times \frac{I_{R_L}}{I_b} = 965.834$$

$$P_G = 10 \log_{10} 965.834 = 29.849 \text{ dB}$$

ตอบ เมื่อใช้ E_i จะได้ $P_G = 30.409 \text{ dB}$ เมื่อใช้ E_g จะได้ $P_G = 29.849 \text{ dB}$

2.1.3 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านต่ำ

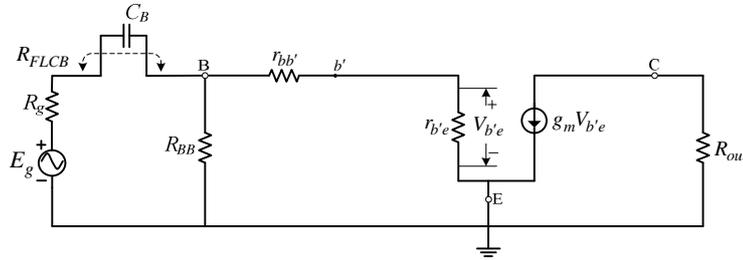
ความถี่ตัดด้านต่ำ (F_L) เมื่อ E_g มีความถี่ต่ำลงค่าของ X_{C_B} , X_{C_E} และ X_{C_C} จะมีค่าสูงขึ้นซึ่งขาเบส จะถูกควบคุมความถี่โดย C_B ขาอีมิเตอร์ถูกควบคุมโดย C_E และ C_C ควบคุมความถี่ตัดด้านต่ำของขาคอลเล็กเตอร์ การออกแบบวงจขยายย่านความถี่สูงนิยมออกแบบ โดยกำหนดให้ C_B ควบคุมความถี่ตัดด้านต่ำ ซึ่งจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.1.3.1 การประมาณค่า $F_{L(C_B)}$

จากรูปที่ 2.8 เมื่อ E_g มีความถี่เท่ากับ ความถี่ตัดด้านต่ำ ซึ่งทำให้ X_{C_B} มีค่าเท่ากับค่าความต้านทานที่เสนอต่อมันเอง ค่าความถี่ดังกล่าว ถูกกำหนดให้เป็น $F_{L(C_B)}$ ซึ่งเป็นความถี่ตัดด้านต่ำที่ C_B ควบคุมที่ขาเบส และค่าความต้านทานที่เสนอต่อ X_{C_B} ก็คือ R_{FLCB} ดังนั้นเมื่อ E_g มีค่า

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

ความถี่เท่ากับ $F_{L(C_B)}$ จะทำให้ X_{C_B} มีค่าเท่ากับ R_{FLCB} สามารถประมาณค่า $F_{L(C_B)}$ ได้จากสมการ



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรประมาณค่า $F_{L(C_B)}$

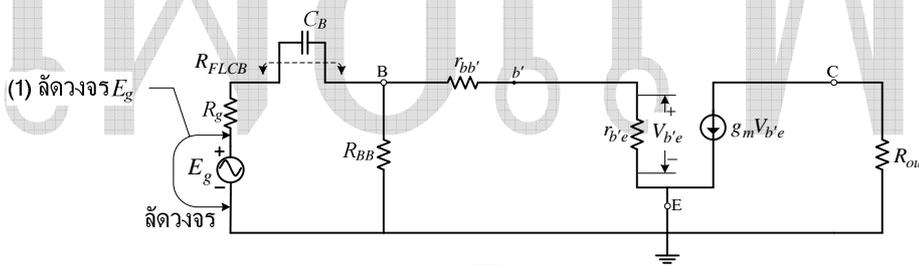
$$X_{C_B} = R_{FLCB}$$

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

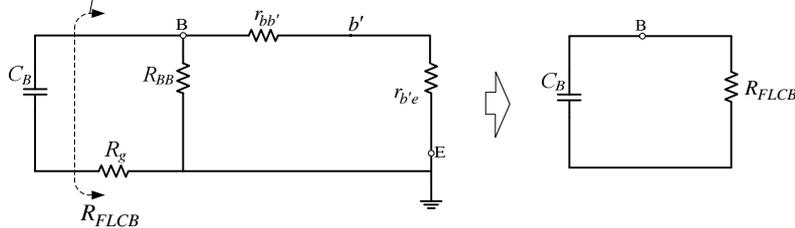
$$\frac{1}{2\pi F_{L(C_B)} C_B} = R_{FLCB}$$

ดังนั้น

$$F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B} \tag{2.13}$$



(2) เขียนสมการ $R_{FLCB} = R_g + \{R_{BB} \parallel (r_{bb'} + r_{b'e})\} = R_g + \frac{R_{BB}(r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรประมาณค่า R_{FLCB}

การประมาณค่า R_{FLCB} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_B ดังแสดงใน

รูปที่ 2.9

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

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

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

ตัวอย่างที่ 2.5 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า $F_{L(C_B)}$

วิธีทำ จากสมการ (2.13)
$$F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B}$$

โดยที่
$$R_{FLCB} = R_g + \frac{R_{BB}(r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})} = 75 + \frac{7,500(2 + 588.64)}{(7,500 + 2 + 588.64)} = 622.521 \Omega$$

$$F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 622.521 \times 240 \times 10^{-12}}$$

$$F_{L(C_B)} = 1.065 \text{ MHz}$$

ตอบ $F_{L(C_B)} = 1.065 \text{ MHz}$

2.1.3.2 การประมาณค่า $F_{L(C_E)}$

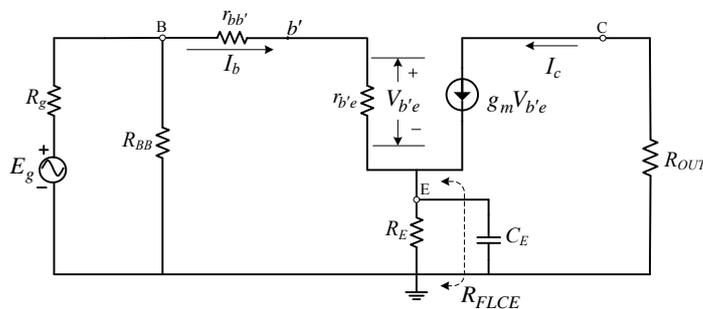
จากรูปที่ 2.10 เมื่อ E_g มีค่าความถี่เท่ากับ $F_{L(C_E)}$ ซึ่งเป็นความถี่ตัดด้านต่ำที่ C_E ควบคุมที่ขามิตเตอร์จะทำให้ X_{C_E} มีค่าเท่ากับ R_{FLCE} สามารถประมาณค่า $F_{L(C_E)}$ ได้จากสมการ

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

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

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

ดังนั้น
$$F_{L(C_E)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} C_E} \tag{2.14}$$



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรประมาณค่า $F_{L(C_E)}$

การประมาณค่า R_{FLCE} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_E เพื่อให้ง่าย

จึงย้าย $r_{bb'}$, $r_{b'e}$, R_g และ R_{BB} ให้มาอยู่ในส่วนของขามิตเตอร์กลายเป็น
$$\frac{r_{bb'}}{(\beta_o + 1)}, \frac{r_{b'e}}{(\beta_o + 1)}, \frac{R_g}{(\beta_o + 1)}$$

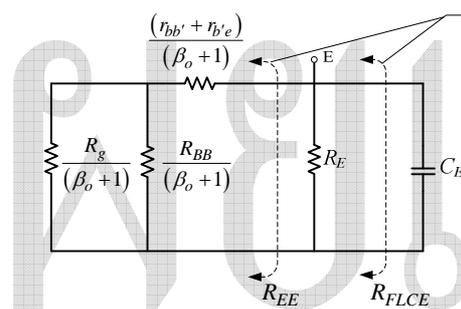
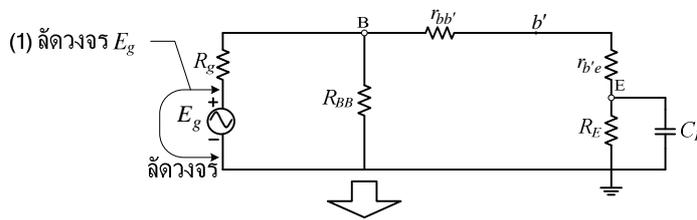
2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

และ $\frac{R_{BB}}{(\beta_o+1)}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

$$R_{EE} = \frac{(r_{bb'} + r_{b'e})}{(\beta_o + 1)} + \left\{ \frac{R_g}{(\beta_o + 1)} \parallel \frac{R_{BB}}{(\beta_o + 1)} \right\}$$

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

$$R_{FLCE} = (R_E \parallel R_{EE}) = \frac{R_E R_{EE}}{(R_E + R_{EE})}$$



(2) เขียนสมการ

$$R_{EE} = \frac{(r_{bb'} + r_{b'e})}{(\beta_o + 1)} + \left\{ \frac{R_g}{(\beta_o + 1)} \parallel \frac{R_{BB}}{(\beta_o + 1)} \right\}$$

$$R_{EE} = \frac{(r_{bb'} + r_{b'e})}{(\beta_o + 1)} + \left\{ \frac{R_g R_{BB}}{(\beta_o + 1)(R_g + R_{BB})} \right\}$$

$$R_{FLCE} = (R_E \parallel R_{EE}) = \frac{R_E R_{EE}}{(R_E + R_{EE})}$$

รูปที่ 2.11 แสดงวงจรประมาณค่า R_{FLCE}

ตัวอย่างที่ 2.6 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า $F_{L(C_E)}$

วิธีทำ จากสมการ (2.14) $F_{L(C_E)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} C_E}$

โดยที่ $R_{FLCE} = (R_E \parallel R_{EE}) = \frac{R_E R_{EE}}{(R_E + R_{EE})}$

$$R_{EE} = \frac{(2 + 588.64)}{(100 + 1)} + \left\{ \frac{75 \times 7,500}{(100 + 1)(75 + 7,500)} \right\} = 5.847 + 0.735 = 6.582 \Omega$$

$$R_{FLCE} = \frac{R_E R_{EE}}{(R_E + R_{EE})} = \frac{470 \times 6.582}{(470 + 6.582)} = 6.491 \Omega$$

$$F_{L(C_E)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} C_E} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 6.491 \times 10 \times 10^{-6}} = 2.453 \text{ kHz}$$

ตอบ $F_{L(C_E)} = 2.453 \text{ kHz}$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

2.1.3.3 การประมาณค่า $F_{L(C_C)}$

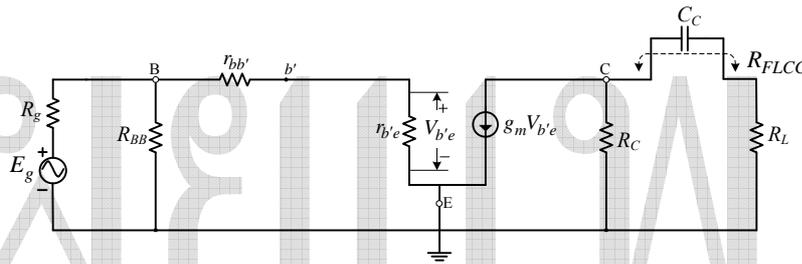
จากรูปที่ 2.12 เมื่อ E_g มีความถี่เท่ากับ $F_{L(C_C)}$ ซึ่งเป็นค่าความถี่ตัดด้านต่ำที่ C_C ควบคุมที่ขาคอลเล็กเตอร์จะทำให้ X_{C_C} เท่ากับ R_{FLCC} สามารถประมาณค่า $F_{L(C_C)}$ ได้จากสมการ

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

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

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

ดังนั้น $F_{L(C_C)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCC} C_C}$ (2.15)

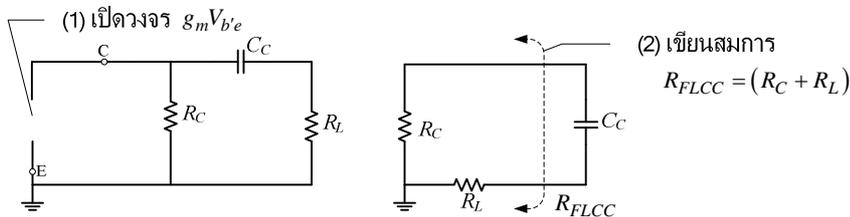


รูปที่ 2.12 แสดงวงจรประมาณค่า $F_{L(C_C)}$

การประมาณค่า R_{FLCC} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_C ดังแสดงใน

รูปที่ 2.13

$$R_{FLCC} = (R_C + R_L)$$



รูปที่ 2.13 แสดงวงจรประมาณค่า R_{FLCC}

2.1.3.4 การประมาณค่า F_L ของวงจร

โดย F_L คือ ค่าความถี่ตัดด้านต่ำของวงจรซึ่งจะถูกเลือกจากค่าของ $F_{L(C_B)}$, $F_{L(C_E)}$ และ $F_{L(C_C)}$ ที่มีค่าความถี่สูงสุดเป็นความถี่ F_L ของวงจร

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

ตัวอย่างที่ 2.7 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า $F_{L(C_C)}$ และ F_L ของวงจร

วิธีทำ จากสมการ (2.15)
$$F_{L(C_C)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCC} C_C}$$

โดยที่ $R_{FLCC} = (R_C + R_L) = (1 \times 10^3 + 75) = 1,075 \Omega$

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

$$F_{L(C_C)} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 1,075 \times 820 \times 10^{-12}}$$

$$F_{L(C_C)} = 180.641 \text{ kHz}$$

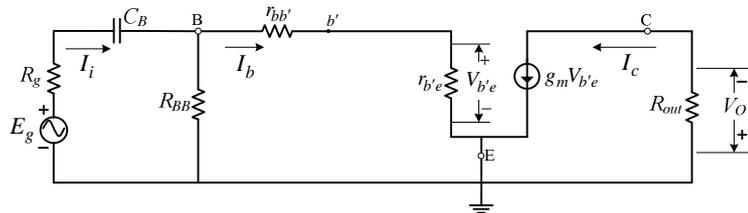
เนื่องจาก $F_{L(C_B)} = 1.065 \text{ MHz}$, $F_{L(C_E)} = 2.453 \text{ kHz}$, $F_{L(C_C)} = 180.641 \text{ kHz}$;

ดังนั้น $F_L = F_{L(C_B)} = 1.065 \text{ MHz}$

ตอบ $F_{L(C_C)} = 180.641 \text{ kHz}$ และ ความถี่ F_L ของวงจรคือ $F_{L(C_B)} = 1.065 \text{ MHz}$

2.1.3.5 การประมาณค่า $A_{V(F_L)}$

$A_{V(F_L)}$ คือ อัตราขยายแรงดันความถี่ตัดด้านต่ำระหว่าง แรงดัน V_o ต่อ E_g ขณะที่ E_g ได้รับความถี่ตัดด้านต่ำ จะขอวิเคราะห์เฉพาะการควบคุมโดย C_B ส่วนการควบคุมโดย C_E และ C_C นั้นมีผลเช่นเดียวกับ C_B แหล่งกำเนิดสัญญาณที่ใช้งานจริง มีความต้านทานด้านออก 50 Ω หรือ 75 Ω ดังนั้นการประมาณค่า $A_{V(F_L)}$ เกี่ยวกับความถี่ตัดด้านต่ำจึงต้องใช้ E_g และ R_g



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรประมาณค่า $A_{V(F_L)}$ ที่ถูกควบคุมโดย C_B

จากรูปที่ 2.14 จะมีค่า R_{FLCB} เช่นเดียวกับรูปที่ 2.9 จะได้สมการ

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

กำหนดให้ $Z_{BB} = \frac{R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$R_{FLCB} = R_g + Z_{BB}$$

$$E_g = I_i (R_g + X_{C_B}) + I_i Z_{BB}$$

$$E_g = I_i \left(R_g + \frac{1}{J\omega C_B} \right) + I_i Z_{BB}$$

$$E_g = I_i \left(R_g + Z_{BB} + \frac{1}{J\omega C_B} \right) = I_i \frac{\{1 + J\omega C_B (R_g + Z_{BB})\}}{J\omega C_B}$$

$$I_i = \frac{E_g J\omega C_B}{\{1 + J\omega C_B (R_g + Z_{BB})\}}$$

$$I_b = \frac{I_i R_{BB}}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$I_b = \frac{E_g J\omega C_B}{\{1 + J\omega C_B (R_g + Z_{BB})\}} \times \frac{R_{BB}}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$V_o = g_m V_{b'e} Z_{out}$$

$$V_o = \frac{E_g g_m Z_{out} J\omega C_B r_{b'e} R_{BB}}{\{1 + J\omega C_B (R_g + Z_{BB})\} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{g_m Z_{out} J\omega C_B r_{b'e} R_{BB}}{\{1 + J\omega C_B (R_g + Z_{BB})\} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$X_{C_B} = R_{FLCB} = R_g + Z_{BB}$$

เนื่องจาก $X_{C_B} = \frac{1}{\omega C_B}$ หรือ $\frac{1}{\omega C_B} = (R_g + Z_{BB})$

$$\omega C_B = \frac{1}{(R_g + Z_{BB})}$$

แทนค่า $\omega C_B = \frac{1}{(R_g + Z_{BB})}$ ลงใน $J\omega C_B$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{J (g_m r_{b'e} Z_{out} R_{BB})}{\left\{1 + J \frac{(R_g + Z_{BB})}{(R_g + Z_{BB})}\right\} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})} \times \frac{1}{(R_g + Z_{BB})}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{J (g_m r_{b'e} Z_{out} R_{BB})}{\{1 + J1\} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) (R_g + Z_{BB})}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{(g_m r_{b'e} Z_{out} R_{BB}) \angle 90^\circ}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) (R_g + Z_{BB}) \left\{ \sqrt{(1)^2 + (1)^2} \tan^{-1} \frac{1}{1} \right\}}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{(g_m r_{b'e} Z_{out} R_{BB}) \angle 90^\circ}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) (R_g + Z_{BB}) \sqrt{2} \angle 45^\circ}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{(0.707)(g_m r_{b'e} Z_{out} R_{BB}) \angle 90^\circ - 45^\circ}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})(R_g + Z_{BB})}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{(0.707)(g_m r_{b'e} Z_{out} R_{BB}) \angle 45^\circ}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})(R_g + Z_{BB})}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{(0.707) g_m r_{b'e} Z_{out} \angle 45^\circ}{(R_g + Z_{BB})} \times \frac{R_{BB}}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$$

เนื่องจาก $Z_{BB} = Z_{in} = \frac{R_{BB}(r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$, $Z_i = (r_{bb'} + r_{b'e})$;

$$\frac{Z_{in}}{Z_i} = \frac{R_{BB}(r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})(r_{bb'} + r_{b'e})} = \frac{R_{BB}}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{(0.707) g_m r_{b'e} Z_{out}}{(R_g + Z_{in})} \times \frac{Z_{in}}{Z_i} \angle 45^\circ$$

เนื่องจาก $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} = -\frac{g_m r_{b'e} Z_{out}}{Z_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$

ดังนั้น

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \quad (2.16)$$

ตัวอย่างที่ 2.8 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า $A_{V(F_L)}$

วิธีทำ จากสมการ (2.16) $A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = (0.707) A_{V(F_{Mid})}$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = (0.707)(-10.382) = -7.34 \angle 45^\circ$$

ตอบ $A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -7.34 \angle 45^\circ$

2.1.4 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านสูง

เมื่อ E_g มีความถี่สูงกว่าความถี่กลาง เข้าสู่ความถี่ตัดด้านสูง (F_H) C_T ซึ่งต่อขนานกับ $r_{b'e}$ จะมีค่า X_{C_T} ลดลงซึ่งมีผลทำให้แรงดัน $V_{b'e}$ มีค่าลดลงด้วย ซึ่งมีผลทำให้แรงดัน V_o ลดลงตามไปด้วย การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านสูง เพื่อประมาณค่า F_H , $A_{V(F_H)}$ และ B_W

2.1.4.1 การประมาณค่า F_H

F_H คือค่าความถี่ตัดด้านสูง ถูกควบคุมโดย C_T จากรูปที่ 2.15 เมื่อ E_g มีความถี่เท่ากับ F_H จะทำให้ X_{C_T} มีค่าเท่ากับ R_{FH} ซึ่ง R_{FH} เป็นค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_T และ เมื่อ

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

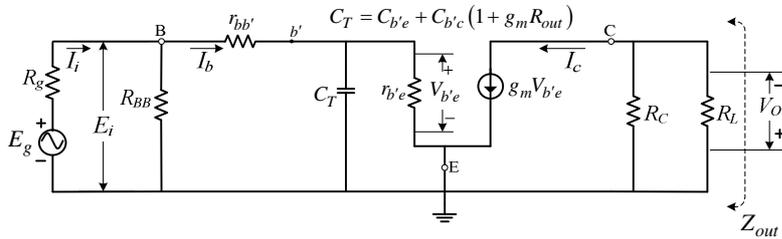
X_{C_T} เท่ากับ R_{FH} สามารถประมาณค่า F_H ได้จากสมการ

$$X_{C_T} = R_{FH}$$

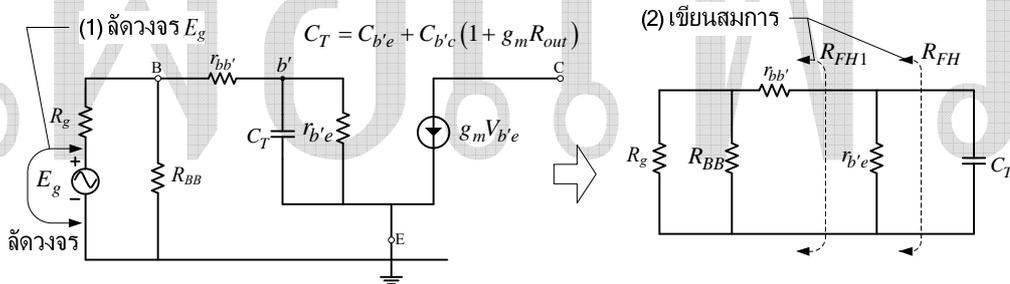
เนื่องจาก $X_{C_T} = \frac{1}{2\pi F_H C_T}$

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

ดังนั้น $F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$ (2.17)



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรประมาณค่า F_H และ $A_V(F_H)$



$$R_{FH1} = \left\{ \frac{R_g R_{BB}}{(R_g + R_{BB})} + r_{bb'} \right\}, R_{FH} = (r_{b'e} \parallel R_{FH1}) = \frac{r_{b'e} R_{FH1}}{(r_{b'e} + R_{FH1})};$$

รูปที่ 2.16 แสดงวงจรการประมาณค่า R_{FH}

การประมาณค่าของ R_{FH} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_T ดังแสดง

ในรูปที่ 2.16

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

$$R_{FH} = (r_{b'e} \parallel R_{FH1}) = \frac{r_{b'e} R_{FH1}}{(r_{b'e} + R_{FH1})}$$

$$R_{FH} = \frac{r_{b'e} (R_g r_{bb'} + R_{BB} r_{bb'} + R_g R_{BB})}{R_g r_{b'e} + R_{BB} r_{b'e} + R_g r_{bb'} + R_{BB} r_{bb'} + R_g R_{BB}}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

ตัวอย่างที่ 2.9 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า F_H ของวงจร

วิธีทำ จากสมการ (2.17)
$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$$

โดยที่
$$R_{FH1} = \left\{ \frac{R_g R_{BB}}{(R_g + R_{BB})} + r_{bb'} \right\} = \left\{ \frac{75 \times 7,500}{(75 + 7,500)} + 2 \right\} = 76.257 \Omega$$

$$R_{FH} = \frac{r_{b'e} R_{FH1}}{(r_{b'e} + R_{FH1})} = \frac{588.64 \times 76.257}{(588.64 + 76.257)} = 67.511 \Omega, R_{out} = 69.767 \Omega;$$

$$C_{b'c} = C_{ob} = 1 \text{ pF}$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{ob} = \frac{169.883 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 6 \times 10^9} - 1 \times 10^{-12} = 3.508 \text{ pF}$$

$$C_T = C_{b'e} + C_{b'c} (1 + g_m R_{out}) = 3.508 \times 10^{-12} + 1 \times 10^{-12} \left\{ 1 + (169.883 \times 10^{-3} \times 69.767) \right\}$$

$$C_T = 16.360 \text{ pF}$$

$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 67.511 \times 16.360 \times 10^{-12}}$$

$$F_H = 144.172 \text{ MHz}$$

ตอบ $F_H = 144.172 \text{ MHz}$

2.1.4.2 การประมาณค่า $A_{V(F_H)}$

$A_{V(F_H)}$ คือ ค่าอัตราขยายแรงดันความถี่ตัดด้านสูงระหว่างแรงดัน V_o ต่อ E_g

จากรูปที่ 2.15 และ 2.16 เมื่อ E_g มีความถี่เท่ากับ F_H ทำให้ X_{C_T} เท่ากับ R_{FH} จะได้สมการ

$$E_g = I_i R_g + I_i \left\{ R_{BB} \parallel \left(r_{bb'} + \frac{r_{b'e}}{1 + j\omega r_{b'e} C_T} \right) \right\}$$

$$E_g = I_i \left[R_g + \left\{ R_{BB} \parallel \left(r_{bb'} + \frac{r_{b'e}}{1 + j\omega r_{b'e} C_T} \right) \right\} \right]$$

$$a = \left\{ \begin{array}{l} R_g (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e}) \\ + j\omega r_{b'e} C_T (R_g R_{BB} + R_g r_{bb'} + r_{bb'} R_{BB}) \end{array} \right\}$$

$$E_g = I_i \frac{a}{(r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + j\omega r_{b'e} C_T (R_{BB} + r_{bb'})}$$

$$I_i = \frac{E_g \left\{ (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + j\omega r_{b'e} C_T (R_{BB} + r_{bb'}) \right\}}{a}$$

$$I_b = \frac{I_i R_{BB} (1 + j\omega r_{b'e} C_T)}{\left\{ (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + j\omega r_{b'e} C_T (R_{BB} + r_{bb'}) \right\}}$$

$$I_b = \frac{E_g R_{BB} (1 + j\omega r_{b'e} C_T)}{a}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$V_{b'e} = I_b \left\{ \frac{r_{b'e}}{(1 + j\omega r_{b'e} C_T)} \right\} = \frac{E_g r_{b'e} R_{BB}}{a}$$

$$V_o = g_m V_{b'e} Z_{out}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{a}$$

เนื่องจาก $\omega C_T = \frac{1}{R_{FH}}$, $R_{FH} = \frac{r_{b'e} (R_g r_{bb'} + R_{BB} r_{bb'} + R_g R_{BB})}{R_g r_{b'e} + R_{BB} r_{b'e} + R_g r_{bb'} + R_{BB} r_{bb'} + R_g R_{BB}}$;

$$\omega C_T = \frac{1}{R_{FH}} = \frac{R_g r_{b'e} + R_{BB} r_{b'e} + R_g r_{bb'} + R_{BB} r_{bb'} + R_g R_{BB}}{r_{b'e} (R_g r_{bb'} + R_{BB} r_{bb'} + R_g R_{BB})}$$

แทนค่า ωC_T ลงใน a

$$A_{V(F_H)} = -\frac{g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{a}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{\left\{ R_g (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e}) + jR_g r_{b'e} + R_{BB} r_{b'e} + R_g r_{bb'} + R_{BB} r_{bb'} + R_g R_{BB} \right\}}$$

$$= -\frac{g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{R_g (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e}) + jR_g (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{\left\{ R_g (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e}) \right\} (1 + j1)}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{\left\{ R_g (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e}) \right\} \sqrt{(1)^2 + (1)^2} \tan^{-1} \frac{1}{1}}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{\left\{ R_g (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e}) \right\} \sqrt{2} \angle 45^\circ}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{(0.707) g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB} \angle -45^\circ}{R_g (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}$$

เนื่องจาก $\frac{Z_{in}}{Z_i (R_g + Z_{in})} = \frac{R_{BB}}{\left\{ R_g (r_{bb'} + r_{b'e} + R_{BB}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e}) \right\}}$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{(0.707) g_m Z_{out} r_{b'e} \angle -45^\circ}{Z_i} \times \frac{Z_{in}}{R_g + Z_{in}}$$

เนื่องจาก $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{g_m Z_{out} r_{b'e}}{Z_i} \times \frac{Z_{in}}{R_g + Z_{in}}$

ดังนั้น

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = (0.707) A_{V(F_{Mid})} \angle -45^\circ$$

(2.18)

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

ตัวอย่างที่ 2.10 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า $A_{V(F_H)}$

วิธีทำ จากสมการ (2.18) $A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = (0.707) A_{V(F_{Mid})} \angle -45^\circ$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = (0.707)(-10.382) \angle -45^\circ$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -7.34 \angle -45^\circ$$

ตอบ $A_{V(F_H)} = -7.34 \angle -45^\circ$

2.1.4.3 การประมาณค่า B_W

B_W คือ ความกว้างแถบความถี่ของวงจร โดยประมาณได้จากผลต่างของค่าความถี่ตัดด้านสูง กับค่าความถี่ตัดด้านต่ำ

$$B_W = F_H - F_L \quad (2.19)$$

สามารถทำ $\frac{A_V}{A_{V(F_{Mid})}}$ ให้อยู่รูป dB (เดบี)

$$\frac{A_V}{A_{V(F_{Mid})}} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \frac{A_V}{A_{V(F_{Mid})}}$$

โดยที่ A_V คือ อัตราขยายแรงดันความถี่ใด ๆ

$A_{V(F_{Mid})}$ คือ อัตราขยายแรงดันความถี่กลาง

ณ ที่ความถี่กลาง (F_{Mid})

$$\frac{A_{V(F_{Mid})}}{A_{V(F_{Mid})}} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \frac{A_{V(F_{Mid})}}{A_{V(F_{Mid})}} = 20 \log_{10} \frac{1}{1} = 0 \text{ dB}$$

ณ ที่ความถี่ตัดด้านต่ำ (F_L)

$$\frac{A_{V(F_L)}}{A_{V(F_{Mid})}} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \frac{A_{V(F_L)}}{A_{V(F_{Mid})}} = 20 \log_{10} \frac{0.707}{1} = 20(-0.15) = -3 \text{ dB}$$

ณ ที่ความถี่ตัดด้านสูง (F_H)

$$\frac{A_{V(F_H)}}{A_{V(F_{Mid})}} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \frac{A_{V(F_H)}}{A_{V(F_{Mid})}} = 20 \log_{10} \frac{0.707}{1} = 20(-0.15) = -3 \text{ dB}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

ตัวอย่างที่ 2.11 จากรูปที่ 2.1 จงประมาณค่า B_W และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\left| \frac{A_V}{A_V(F_{Mid})} \right|_{dB}$ กับความถี่ (F)

วิธีทำ จากสมการ (2.19) $B_W = F_H - F_L$

โดยที่ $F_H = 144.172 \text{ MHz}, F_L = 1.065 \text{ MHz};$

$$B_W = 144.172 \times 10^6 - 1.065 \times 10^6 = 143.107 \text{ MHz}$$

ตอบ $B_W = 143.107 \text{ MHz}$

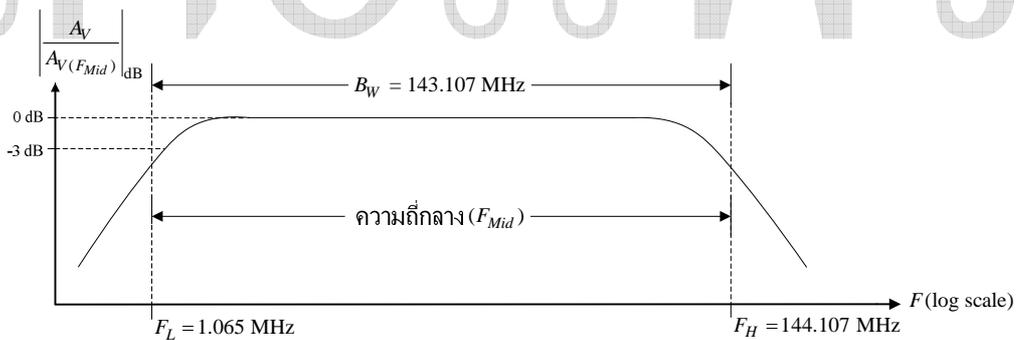
ณ F_L สามารถประมาณค่า

$$\frac{A_V(F_L)}{A_V(F_{Mid})} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \frac{A_V(F_L)}{A_V(F_{Mid})} = 20 \log_{10} \frac{-7.340}{-10.382} = 20(-0.15) = -3 \text{ dB}$$

ณ F_H สามารถประมาณค่า

$$\frac{A_V(F_H)}{A_V(F_{Mid})} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \frac{A_V(F_H)}{A_V(F_{Mid})} = 20 \log_{10} \frac{-7.340}{-10.382} = 20(-0.15) = -3 \text{ dB}$$

นำข้อมูลมาเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\left| \frac{A_V}{A_V(F_{Mid})} \right|_{dB}$ กับ F ของวงจรรูปที่ 2.1

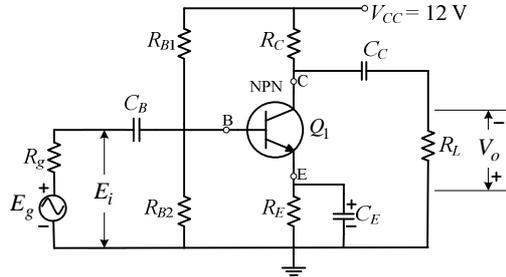
2.1.5 การออกแบบวงจรขยายย่านความถี่สูงโดยใช้ทรานซิสเตอร์

ข้อกำหนดในการออกแบบ

$$V_{CC} = 12 \text{ V}, R_g = 75 \Omega, R_L = 75 \Omega, F_L \leq 1 \text{ MHz}, F_H \geq 250 \text{ MHz}, T_A = 25^\circ \text{ C};$$

โดยเลือก $F_L = 1 \text{ MHz}, F_H = 250 \text{ MHz};$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง



Q_1 2SC3355 $V_{CBO} = 20\text{ V}$, $V_{CEO} = 12\text{ V}$,
 $V_{EBO} = 3\text{ V}$, $I_{C(MAX)} = 100\text{ mA}$, $r_{bb'} = 2\ \Omega$,
 $P_D = 600\text{ mW}$, $\beta_F = \beta_o = 120$, $V_{BE} = 0.6\text{ V}$,
 $F_T = 6.5\text{ GHz}$, $C_{ob} = 0.65\text{ pF}$;

รูปที่ 2.18 แสดงวงจรขยายย่านความถี่สูงที่ใช้ออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบ

จากสมการ (2.17)

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

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

$$C_{b'e} + C_{b'c} \{1 + g_m (R_{out})\} = \frac{1}{2\pi R_{FH} F_H}$$

$$C_{b'e} + C_{b'c} + C_{b'c} g_m R_{out} = \frac{1}{2\pi R_{FH} F_H}$$

$$C_{b'c} g_m R_{out} = \frac{1}{2\pi R_{FH} F_H} - (C_{b'e} + C_{b'c})$$

เนื่องจาก $(C_{b'e} + C_{b'c}) = \frac{g_m}{2\pi F_T}$ แทนลงในสมการ

$$C_{b'c} g_m R_{out} = \frac{1}{2\pi R_{FH} F_H} - \frac{g_m}{2\pi F_T}$$

$$C_{b'c} g_m R_{out} = \frac{2\pi F_T - 2\pi g_m R_{FH} F_H}{4\pi^2 R_{FH} F_H F_T}$$

$$C_{b'c} g_m R_{out} = \frac{2\pi (F_T - g_m R_{FH} F_H)}{4\pi^2 R_{FH} F_H F_T} = \frac{(F_T - g_m R_{FH} F_H)}{2\pi R_{FH} F_H F_T}$$

$$g_m = \frac{(F_T - g_m R_{FH} F_H)}{2\pi R_{FH} F_H F_T C_{b'c} R_{out}}$$

$$2\pi g_m R_{FH} F_H F_T C_{b'c} R_{out} = (F_T - g_m R_{FH} F_H)$$

$$F_T = 2\pi g_m R_{FH} F_H F_T C_{b'c} R_{out} + g_m R_{FH} F_H$$

$$F_T = g_m R_{FH} F_H (2\pi F_T C_{b'c} R_{out} + 1)$$

$$g_m = \frac{F_T}{R_{FH} F_H (2\pi F_T C_{b'c} R_{out} + 1)}$$

เนื่องจาก $g_m = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T/q)}$

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

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

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

2.1.5.1 การกำหนดค่า I_C

จะต้องเลือกจากกระแส $I_{C(dc)}$ ที่ประมาณค่าจากสมการ (2.20) ซึ่งค่าของ $I_{C(dc)}$ จะต้องไม่เกิน $0.5I_{C(MAX)}$ เพื่อความปลอดภัยของทรานซิสเตอร์

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

กำหนดให้ $F_H = 250 \text{ MHz}$, $R_{FH} = R_g$, $R_{out} = R_L$, $C_{b'c} = C_{ob}$;

ตัวอย่างที่ 2.12 จงประมาณค่า I_C

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

โดยที่ $F_H = 250 \text{ MHz}$, $R_{FH} = R_g = 75 \text{ } \Omega$, $R_{out} = R_L = 75 \text{ } \Omega$, $C_{b'c} = C_{ob} = 0.65 \text{ pF}$, $T_A = 25^\circ \text{ C}$;

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

$$I_{C(dc)} = \frac{6.5 \times 10^9 \times 25.7 \times 10^{-3}}{75 \times 250 \times 10^6 \left\{ (2 \times 3.14 \times 6.5 \times 10^9 \times 0.65 \times 10^{-12} \times 75) + 1 \right\}}$$

$$I_{C(dc)} = 2.979 \text{ mA}$$

ตอบ โดยเลือก $I_C = 2.5 \text{ mA}$

2.1.5.2 การกำหนดค่า R_C , R_E , R_{B1} และ R_{B2}

วงจรถ่ายย่านความถี่สูงจะต้องตั้งจุดทำงานให้อยู่ในชั้นเอ จะต้องมีกระแสคอลเล็กเตอร์ประมาณ 2.5 mA และกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าตามสมการต่อไปนี้

$$\text{กำหนด} \quad V_{CE} = 0.5V_{CC} \quad (2.21)$$

$$V_{RC} = 0.35V_{CC} \quad (2.22)$$

$$V_{RE} = 0.15V_{CC} \quad (2.23)$$

$$R_C = \frac{0.35V_{CC}}{I_C} \quad (2.24)$$

$$R_E = \frac{0.15V_{CC}}{(\beta_F + 1)I_B} \quad (2.25)$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

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

$$\text{จากสมการ (2.2a)} \quad V_{TH} = I_B R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E$$

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

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

ตัวอย่างที่ 2.13 จงกำหนดค่า R_C , R_E , R_{B1} และ R_{B2}

วิธีทำ จากสมการ (2.21), (2.22) และ (2.23)

$$V_{CE} = 0.5 \times 12 = 6 \text{ V}$$

$$V_{RC} = 0.35 \times 12 = 4.2 \text{ V}$$

$$V_{RE} = 0.15 \times 12 = 1.8 \text{ V}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = \frac{2.5 \times 10^{-3}}{120} = 20.833 \text{ } \mu\text{A}$$

$$\text{จากสมการ (2.24)} \quad R_C = \frac{0.35 V_{CC}}{I_C} = \frac{0.35 \times 12}{2.5 \times 10^{-3}} = 1,680 \text{ } \Omega$$

$$\text{จากสมการ (2.25)} \quad R_E = \frac{0.15 V_{CC}}{(\beta_F + 1) I_B} = \frac{0.15 \times 12}{20.833 \times 10^{-6} (120 + 1)} = 714.061 \text{ } \Omega$$

$$\text{จากสมการ (2.26)} \quad R_{TH} = 15 R_E = 15 \times 714.061 = 10.710 \text{ k}\Omega$$

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

$$V_{TH} = (20.833 \times 10^{-6} \times 10.710 \times 10^3) + 0.6 \\ + (121 \times 20.833 \times 10^{-6} \times 714.061)$$

$$V_{TH} = 2.623 \text{ V}$$

$$\text{จากสมการ (2.28)} \quad R_{B1} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{V_{TH}} = \frac{12 \times 10.710 \times 10^3}{2.623} = 48.997 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B2} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{(V_{CC} - V_{TH})} = \frac{12 \times 10.710 \times 10^3}{(12 - 2.623)} = 13.705 \text{ k}\Omega$$

ตอบ $R_C = 1.68 \text{ k}\Omega$, $R_E = 714.061 \text{ } \Omega$, $R_{B1} = 48.997 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 13.705 \text{ k}\Omega$;

2.1.5.3 การเปลี่ยนค่าความต้านทานให้เป็นค่ามาตรฐาน

เนื่องจากบางค่าที่ได้จากการออกแบบ ไม่มีจำหน่าย จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนให้เป็นค่ามาตรฐาน ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยใช้ตาราง A-1 ในภาคผนวก ก.

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$R_C = 1.68 \text{ k}\Omega \quad \text{เป็นค่ามาตรฐาน } R_C = 1.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 714.061 \text{ }\Omega \quad \text{เป็นค่ามาตรฐาน } R_E = 680 \text{ }\Omega$$

$$R_{B1} = 48.997 \text{ k}\Omega \quad \text{เป็นค่ามาตรฐาน } R_{B1} = 47 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B2} = 13.705 \text{ k}\Omega \quad \text{เป็นค่ามาตรฐาน } R_{B2} = 13 \text{ k}\Omega$$

2.1.5.4 การตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

จะทำการตรวจสอบ เมื่อวงจรใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน

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

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

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

* หมายเหตุ V_{CE} จะต้องผิดพลาดไม่เกิน $\pm 0.5 \text{ V}$ ถ้าหากเกินหรือขาดให้เปลี่ยนแปลงค่าของ R_{B1} หรือ R_{B2} ใหม่

ตัวอย่างที่ 2.14 ตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

$$\text{วิธีทำ จากสมการ (2.1)} \quad V_{TH} = \frac{V_{CC} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{12 \times 13 \times 10^3}{(47 \times 10^3 + 13 \times 10^3)} = 2.6 \text{ V}$$

$$\text{จากสมการ (2.2)} \quad R_{TH} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{47 \times 10^3 \times 13 \times 10^3}{(47 \times 10^3 + 13 \times 10^3)} = 10.183 \text{ k}\Omega$$

$$\text{จากสมการ (2.3)} \quad I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta_F + 1) R_E} = \frac{(2.60 - 0.6)}{10.183 \times 10^3 + (121 \times 680)} = 21.630 \text{ }\mu\text{A}$$

$$\text{จากสมการ (2.4)} \quad I_C = \beta_F I_B = 120 \times 21.630 \times 10^{-6} = 2.595 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.5)} \quad V_{CE} &= V_{CC} - \{I_C R_C + (\beta_F + 1) I_B R_E\} \\ V_{CE} &= 12 - \left\{ (2.595 \times 10^{-3} \times 1.6 \times 10^3) + (121 \times 21.630 \times 10^{-6} \times 680) \right\} \\ V_{CE} &= 6.068 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ $I_B = 21.630 \text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 2.595 \text{ mA}$, $V_{CE} = 6.068 \text{ V}$;

2.1.5.5 การกำหนดค่า C_B , C_C และ C_E

เพื่อความสะดวก ในการออกแบบ จึงกำหนด C_B ควบคุมการตัดด้านต่ำของวงจร และเชื่อมต่อกับสัญญาณเข้าขาเบส

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

C_E ทำหน้าที่ บายพาสส์สัญญาณกระแสสลับลงกราวด์ ทำให้ขั้วอิมิตเตอร์ มีสภาพเป็นกราวด์ทางไฟฟ้ากระแสสลับ

C_C ทำหน้าที่ เชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยัง R_L

จากสมการ (2.13)
$$F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B}$$

$$C_B = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} F_{L(C_B)}} \quad (2.29)$$

โดยที่ F_L คือ ค่าความถี่ตัดด้านต่ำของวงจร

$$R_{FLCB} = R_g + \frac{R_{BB}(r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}, F_{L(C_B)} = F_L \text{ และ } R_{BB} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})}$$

จากสมการ (2.14)
$$F_{L(C_E)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} C_E}$$

$$C_E = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} F_{L(C_E)}} \quad (2.30)$$

โดยที่ F_L คือ ค่าความถี่ตัดด้านต่ำของวงจร

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

จากสมการ (2.15)
$$F_{L(C_C)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCC} C_C}$$

$$C_C = \frac{1}{2\pi R_{FLCC} F_{L(C_C)}} \quad (2.31)$$

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

F_L คือ ค่าความถี่ตัดด้านต่ำของวงจร

ตัวอย่างที่ 2.15 จงกำหนดค่า C_B, C_E และ C_C

วิธีทำ จากสมการ (2.29)
$$C_B = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} F_{L(C_B)}}$$

โดยที่ $R_{BB} = 10.183 \text{ k}\Omega$

$$g_m = \frac{2.595 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 100.972 \text{ mS}$$

$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{120}{100.972 \times 10^{-3}} = 1.188 \text{ k}\Omega$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$R_{FLCB} = R_g + \frac{R_{BB}(r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})} = 75 + \frac{10.183 \times 10^3 (2 + 1.188 \times 10^3)}{(10.183 \times 10^3 + 2 + 1.188 \times 10^3)} = 1.14 \text{ k}\Omega$$

$$F_{L(C_B)} = F_L = 1 \text{ MHz}$$

$$C_B = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} F_{L(C_B)}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 1.14 \times 10^3 \times 1 \times 10^6}$$

$$C_B = 139.680 \text{ pF}$$

จากสมการ (2.30)

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

โดยที่ $R_{FLCE} = X_{C_E} = 0.5 \Omega$, $F_{L(C_E)} = F_L = 1 \text{ MHz}$;

$$C_E = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} F_{L(C_E)}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 0.5 \times 1 \times 10^6} = 0.3184 \mu\text{F}$$

จากสมการ (2.31)

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

โดยที่ $R_{FLCC} = 0.5 \Omega$, $F_{L(C_C)} = F_L = 1 \text{ MHz}$;

$$C_C = \frac{1}{2\pi R_{FLCC} F_{L(C_C)}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 0.5 \times 1 \times 10^6} = 0.3184 \mu\text{F}$$

ตอบ $C_B = 139.680 \text{ pF}$, $C_E = 0.3184 \mu\text{F}$, $C_C = 0.3184 \mu\text{F}$;

2.1.5.6 การเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุให้เป็นค่ามาตรฐาน

เช่นเดียวกันกับตัวต้านทาน โดยใช้ตาราง A-4 ในภาคผนวก ก.

 $C_B = 139.680 \text{ pF}$ เป็นค่ามาตรฐาน $C_B = 150 \text{ pF}$ เซรามิก $C_E = 0.3184 \mu\text{F}$ เป็นค่ามาตรฐาน $C_E = 0.33 \mu\text{F}$ แทนทาลัม $C_C = 0.3184 \mu\text{F}$ เป็นค่ามาตรฐาน $C_C = 0.33 \mu\text{F}$ แทนทาลัม2.1.5.7 การตรวจสอบ F_L ของวงจร C_B ทำหน้าที่ควบคุมความถี่ตัดด้านต่ำของวงจร การตรวจสอบกระทำเมื่อ

วงจรได้ใช้ตัวเก็บประจุค่ามาตรฐาน

จากสมการ (2.13)
$$F_L = F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B}$$

ตัวอย่างที่ 2.16 ตรวจสอบ F_L ของวงจร เมื่อใช้ค่ามาตรฐาน

วิธีทำ จากสมการ (2.13)
$$F_L = F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B}$$

โดยที่ $R_{BB} = 10.183 \text{ k}\Omega$, $C_B = 150 \text{ pF}$;

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$R_{FLCB} = R_g + \frac{R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})} = 75 + \frac{10.183 \times 10^3 (2 + 1.188 \times 10^3)}{(10.183 \times 10^3 + 2 + 1.188 \times 10^3)} = 1.14 \text{ k}\Omega$$

$$F_L = F_{L(C_B)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCB} C_B} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 1.14 \times 10^3 \times 150 \times 10^{-12}}$$

$$F_L = 931.202 \text{ kHz}$$

ตอบ ค่า F_L ของวงจรคือ **931.202 kHz** ซึ่งต่ำกว่า **1 MHz** ถือว่าใช้ได้

2.1.5.8 การตรวจสอบ F_H ของวงจร

C_T และ R_{FH} ควบคุมความถี่ตัดด้านสูง R_{FH} เป็นค่าความต้านทาน ที่เสนอต่อ C_T การตรวจสอบจะกระทำเมื่อใช้ค่ามาตรฐาน

จากสมการ (2.17)
$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$$

ตัวอย่างที่ 2.17 การตรวจสอบ F_H ของวงจร

วิธีทำ จากสมการ (2.17)
$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$$

โดยที่ $R_{BB} = 10.183 \text{ k}\Omega$, $g_m = \frac{2.595 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 100.972 \text{ mS}$;

$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{120}{100.972 \times 10^{-3}} = 1.188 \text{ k}\Omega$$

$$R_{FH1} = \left\{ r_{bb'} + \frac{R_g R_{BB}}{(R_g + R_{BB})} \right\} = 2 + \frac{(75 \times 10.183 \times 10^3)}{(75 + 10.183 \times 10^3)} = 76.451 \Omega$$

$$R_{FH} = \frac{r_{b'e} R_{FH1}}{(r_{b'e} + R_{FH1})} = \frac{1.188 \times 10^3 \times 76.451}{(1.188 \times 10^3 + 76.451)} = 71.828 \Omega$$

$$R_{out} = \frac{R_C R_L}{(R_C + R_L)} = \frac{1.6 \times 10^3 \times 75}{(1.6 \times 10^3 + 75)} = 71.641 \Omega$$

$$C_{b'e} = C_{ob} = 0.65 \text{ pF}$$

$$C_{b'e} = \frac{100.972 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 6.5 \times 10^9} - (0.65 \times 10^{-12}) = 1.823 \text{ pF}$$

$$C_T = 1.823 \times 10^{-12} + 0.65 \times 10^{-12} \left\{ 1 + (100.972 \times 10^{-3} \times 71.641) \right\} = 7.174 \text{ pF}$$

$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 71.828 \times 7.174 \times 10^{-12}}$$

$$F_H = 309.019 \text{ MHz}$$

ตอบ $F_H = 309.019 \text{ MHz}$ ซึ่งสูงกว่า **250 MHz** ถือว่าใช้ได้

2.1.5.9 การตรวจสอบ $A_{V(F_{Mid})}$, $A_{V(F_L)}$ และ $A_{V(F_H)}$

$$\text{จากสมการ (2.10)} \quad A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -\frac{g_m r_{b'e} Z_{out}}{(r_{bb'} + r_{b'e})} = -\frac{g_m r_{b'e} Z_{out}}{Z_i}$$

$$\text{จากสมการ (2.11)} \quad A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{g_m r_{b'e} Z_{out}}{Z_i} \times \frac{Z_{in}}{R_g + Z_{in}}$$

$$\text{จากสมการ (2.16)} \quad A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle 45^\circ$$

$$\text{จากสมการ (2.18)} \quad A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle -45^\circ$$

ตัวอย่างที่ 2.18 จงตรวจสอบค่า $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i}$, $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g}$, $A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g}$, $A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g}$;

วิธีทำ จากสมการ (2.10) $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -\frac{g_m r_{b'e} Z_{out}}{Z_i}$

$$\text{โดยที่} \quad g_m = \frac{2.595 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 100.972 \text{ mS}$$

$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{120}{100.972 \times 10^{-3}} = 1.188 \text{ k}\Omega, \quad Z_i = r_{bb'} + r_{b'e} = (2 + 1.188 \times 10^3) = 1.190 \text{ k}\Omega;$$

$$Z_i = r_{bb'} + r_{b'e} = (2 + 1.188 \times 10^3) = 1.190 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{in} = \frac{R_{BB} Z_i}{(R_{BB} + Z_i)} = \frac{10.183 \times 10^3 \times 1.190 \times 10^3}{(10.183 \times 10^3 + 1.190 \times 10^3)} = 1.065 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{out} = R_{out} = \frac{R_C R_L}{(R_C + R_L)} = \frac{1.6 \times 10^3 \times 75}{(1.6 \times 10^3 + 75)} = 71.641 \Omega$$

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -\frac{100.972 \times 10^{-3} \times 1.1833 \times 10^3 \times 71.641}{(1.190 \times 10^3)} = -7.193$$

$$\text{จากสมการ (2.11)} \quad A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -(7.193) \times \frac{1.065 \times 10^3}{(75 + 1.065 \times 10^3)}$$

$$A_{V(F_{Mid})} = -(7.193 \times 0.934) = -6.718$$

$$\text{จากสมการ (2.16)} \quad A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle 45^\circ$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -(0.707 \times 6.718) = -4.749 \angle 45^\circ$$

$$\text{จากสมการ (2.18)} \quad A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle -45^\circ$$

$$A_{V(F_H)} = -(0.707 \times 6.718) = -4.749 \angle -45^\circ$$

ตอบ $A_{V(F_{Mid})} = -6.718$, $A_{V(F_L)} = -4.749 \angle 45^\circ$, $A_{V(F_H)} = -4.749 \angle -45^\circ$;

2.1.5.10 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์

เพื่อความปลอดภัยของทรานซิสเตอร์ ขณะทำงานจึงจำเป็น จะต้องทำการตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ โดยใช้สมการ

$$\boxed{V_{CC} \leq V_{CEO}} \quad (2.32)$$

$$\boxed{I_C < 0.5I_{C(MAX)}} \quad (2.33)$$

$$\boxed{V_{CE}I_C < P_D} \quad (2.34)$$

ตัวอย่างที่ 2.19 จงตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์

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

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

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

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

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

$$2.595 \text{ mA} < (0.5 \times 100 \times 10^{-3})$$

$$2.595 \text{ mA} < 50 \text{ mA}$$

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

$$V_{CE}I_C < P_D$$

$$6.068 \times 2.595 \times 10^{-3} < 600 \text{ mW}$$

$$15.746 \text{ mW} < 600 \text{ mW}$$

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

ตอบ ทรานซิสเตอร์ไม่เสียหาย

2.1.5.11 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวต้านทาน

เพื่อความปลอดภัยของตัวต้านทานขณะทำงาน จึงจำเป็นจะต้องเลือกใช้ตัวต้านทาน ที่มีค่าทนกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยจะประมาณสูงกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง 2 เท่า ค่าทนกำลังไฟฟ้าของตัวต้านทาน ได้แก่ $\frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 5, 10, 12$ และ 20 W ค่าผิดพลาด 1%, 5%,

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

10% และ 20%

2.1.5.11.1 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_C หรือ (P_{R_C}) ประมาณได้จากสมการ

$$P_{R_C} = \frac{2(0.35V_{CC})^2}{R_C} \quad (2.35)$$

2.1.5.11.2 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_E หรือ (P_{R_E}) ประมาณได้จากสมการ

$$P_{R_E} = \frac{2(0.15V_{CC})^2}{R_E} \quad (2.36)$$

2.1.5.11.3 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_{B1} หรือ ($P_{R_{B1}}$) ประมาณได้จากสมการ

$$P_{R_{B1}} = \frac{2(V_{R_{B1}})^2}{R_{B1}} = \frac{2\{V_{CC} - (V_{BE} + V_{R_E})\}^2}{R_{B1}} \quad (2.37)$$

2.1.5.11.4 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_{B2} หรือ ($P_{R_{B2}}$) ประมาณได้จากสมการ

$$P_{R_{B2}} = \frac{2(V_{R_{B2}})^2}{R_{B2}} = \frac{2(V_{BE} + V_{R_E})^2}{R_{B2}} \quad (2.38)$$

ตัวอย่างที่ 2.20 จงตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวต้านทาน

วิธีทำ จากสมการ (2.35) $P_{R_C} = \frac{2(0.35V_{CC})^2}{R_C} = \frac{2(0.35 \times 12)^2}{1.6 \times 10^3} = 22.05 \text{ mW}$

$$R_C = 1.6 \text{ k}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (2.36) $P_{R_E} = \frac{2(0.15V_{CC})^2}{R_E} = \frac{2(0.15 \times 12)^2}{680} = 9.529 \text{ mW}$

$$R_E = 680 \text{ }\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (2.37) $P_{R_{B1}} = \frac{2\{V_{CC} - (V_{BE} + V_{R_E})\}^2}{R_{B1}} = \frac{2\{12 - (0.6 + 1.8)\}^2}{47 \times 10^3} = 3.921 \text{ mW}$

$$R_{B1} = 47 \text{ k}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (2.38) $P_{R_{B2}} = \frac{2(V_{R_{B2}})^2}{R_{B2}} = \frac{2(V_{BE} + V_{R_E})^2}{R_{B2}} = \frac{2(0.6 + 1.8)^2}{13 \times 10^3} = 0.886 \text{ mW}$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$R_{B2} = 13 \text{ k}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

ตอบ จะได้ตัวต้านทานดังนี้

$$R_C = 1.6 \text{ k}\Omega \pm 5\% \quad 1/8 \text{ W}$$

$$R_E = 680 \text{ }\Omega \pm 5\% \quad 1/8 \text{ W}$$

$$R_{B1} = 47 \text{ k}\Omega \pm 5\% \quad 1/8 \text{ W}$$

$$R_{B2} = 13 \text{ k}\Omega \pm 5\% \quad 1/8 \text{ W}$$

2.1.5.12 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุ ที่มีค่าทนแรงดันกระแสตรงสูงกว่า ค่าแรงดันที่ตกคร่อมจริง 2 เท่า

2.1.5.12.1 ค่าทนแรงดันกระแสตรงของ C_C ประมาณได้จากสมการ

$$V_{C_C} = 2(0.5V_{CC} + 0.15V_{CC}) = 2(0.65V_{CC}) \quad (2.39)$$

2.1.5.12.2 ค่าทนแรงดันกระแสตรงของ C_E ประมาณได้จากสมการ

$$V_{C_E} = 2(0.15V_{CC}) \quad (2.40)$$

2.1.5.12.3 ค่าทนแรงดันกระแสตรงของ C_B ประมาณได้จากสมการ

$$V_{C_B} = 2(0.15V_{CC} + 0.6 \text{ V}) \quad (2.41)$$

2.1.5.12.4 ตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับการใช้งานในย่านความถี่สูง ได้แก่

1) ชนิดไมกา (Mica) และเซรามิก (Ceramic) ค่าตั้งแต่ 1.8 pF ถึง 820 pF และ 0.001 μF ถึง 0.22 μF ค่าทนแรงดันกระแสตรง 50 V, 100 V, 300 V, 500 V, 600 V และ 1000 V

2) ชนิดแทนทาลัม (Tantalum) มีค่าตั้งแต่ 0.10 μF ถึง 330 μF จะมีค่าทนแรงดันกระแสตรง 6.3 V, 10 V, 16 V, 20 V และ 50 V

ตัวอย่างที่ 2.21 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

วิธีทำ จากสมการ (2.39) $V_{C_C} = 2(0.5V_{CC} + 0.15V_{CC}) = 2(0.65V_{CC}) = 2(0.65 \times 12) = 15.6 \text{ V}$

$$C_C = 0.33 \text{ }\mu\text{F} \text{ ชนิดแทนทาลัม ค่าทนแรงดันกระแสตรง 16 V}$$

จากสมการ (2.40) $V_{C_E} = 2(0.15V_{CC}) = 2(0.15 \times 12) = 3.6 \text{ V}$

$$C_E = 0.33 \text{ }\mu\text{F} \text{ ชนิดแทนทาลัม ค่าทนแรงดันกระแสตรง 16 V}$$

จากสมการ (2.41) $V_{C_B} = 2(0.15V_{CC} + 0.6 \text{ V}) = 2\{(0.15 \times 12) + 0.6\} = 4.8 \text{ V}$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$C_B = 150 \text{ pF}$ ชนิดเซรามิก ค่าทนแรงดันกระแสตรง 50 V

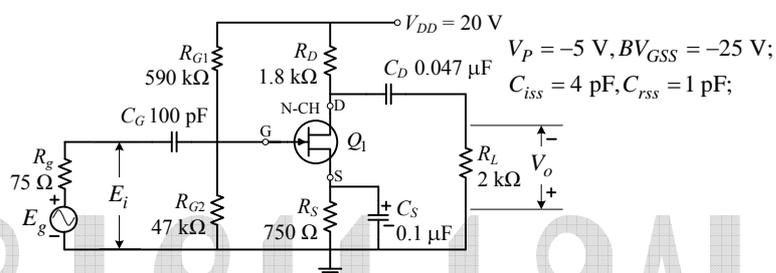
ตอบ จะได้ตัวเก็บประจุดังนี้

$C_B = 150 \text{ pF}$ 50 V เซรามิก

$C_E = 0.33 \text{ }\mu\text{F}$ 16 V แทนทาลัม

$C_C = 0.33 \text{ }\mu\text{F}$ 16 V แทนทาลัม

2.2 วงจรขยายย่านความถี่สูงโดยใช้เฟต



รูปที่ 2.19 แสดงวงจรขยายย่านความถี่สูงโดยใช้เฟต

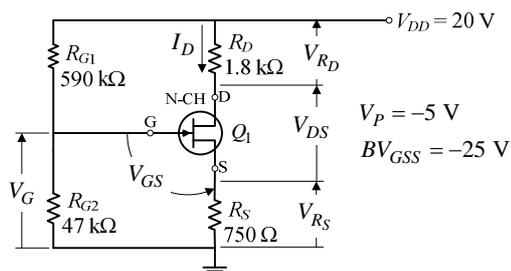
2.2.1 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

เพื่อประมาณค่าจุดทำงานของเฟต ซึ่งประกอบด้วย I_D , V_{DS} และแรงดัน V_{GS} จากรูปที่ 2.20 สามารถเขียนสมการได้

$$V_G = V_{GS} + V_{RS} \tag{2.42}$$

$$V_{GS} = V_P \left(1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \right) \tag{2.43}$$

$$V_{RG2} = V_G = \frac{V_{DD} R_{G2}}{(R_{G1} + R_{G2})} \tag{2.44}$$



รูปที่ 2.20 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของรูปที่ 2.19

$$\boxed{V_{DD} = I_D R_D + V_{DS} + I_D R_S} \quad (2.45)$$

$$\boxed{I_{DSS} = \frac{V_{DD}}{R_D + R_S}} \quad (2.45a)$$

$$\boxed{I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2} \quad (2.46)$$

โดยที่ I_D คือ กระแสเดรนไหลผ่าน R_D เข้าขาเดรน ออกขาซอส และผ่าน R_S ลงกราวด์

I_{DSS} คือ กระแสเดรนสูงสุดขณะที่ ขาเกตลัดวงจรลงกราวด์

V_{GS} คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเกต กับขาซอส

V_P คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้กระแสเดรนมีค่าเป็นศูนย์

จากสมการ (2.42) $V_G = V_{GS} + V_{RS}$

เนื่องจาก $V_{RS} = I_D R_S$

$$V_G = V_{GS} + I_D R_S$$

แทน $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$ ลงในสมการ $V_G = V_{GS} + I_D R_S$ จะได้

$$V_G = V_{GS} + I_{DSS} R_S \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = V_{GS} + I_{DSS} R_S \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

$$V_G = V_{GS} + I_{DSS} R_S \left(1 - \frac{2V_{GS}}{V_P} + \frac{V_{GS}^2}{(V_P)^2}\right)$$

$$V_G = V_{GS} + \left(I_{DSS} R_S - \frac{2I_{DSS} R_S V_{GS}}{V_P} + \frac{I_{DSS} R_S V_{GS}^2}{(V_P)^2} \right)$$

$$V_G = V_{GS} + I_{DSS} R_S - \frac{2I_{DSS} R_S V_{GS}}{V_P} + \frac{I_{DSS} R_S V_{GS}^2}{(V_P)^2}$$

$$0 = \frac{I_{DSS} R_S V_{GS}^2}{(V_P)^2} + V_{GS} - \frac{2I_{DSS} R_S V_{GS}}{V_P} + I_{DSS} R_S - V_G$$

$$0 = \frac{I_{DSS} R_S V_{GS}^2}{(V_P)^2} + \left(1 - \frac{2I_{DSS} R_S}{V_P}\right) V_{GS} + I_{DSS} R_S - V_G$$

ดังนั้น

$$\boxed{0 = \frac{I_{DSS} R_S V_{GS}^2}{(V_P)^2} + \left(1 - \frac{2I_{DSS} R_S}{V_P}\right) V_{GS} + I_{DSS} R_S - V_G} \quad (2.47)$$

โดยที่ $a = \frac{I_{DSS} R_S}{(V_P)^2}$, $b = \left(1 - \frac{2I_{DSS} R_S}{V_P}\right)$, $c = I_{DSS} R_S - V_G$;

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$V_{GS} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2.48)$$

*หมายเหตุ ค่าของ V_{GS} จะมีสองค่าโดยเลือกค่าที่มีค่าต่ำกว่า V_P เป็นค่าที่ถูกต้อง

ตัวอย่างที่ 2.22 จากรูปที่ 2.20 จงประมาณค่า V_{GS} และ I_D

วิธีทำ จากสมการ (2.44) $V_{R_{G2}} = V_G = \frac{V_{DD} (R_{G2})}{(R_{G1} + R_{G2})} = \frac{20 \times 47 \times 10^3}{(590 \times 10^3 + 47 \times 10^3)} = 1.475 \text{ V}$

จากสมการ (2.45a) $I_{DSS} = \frac{V_{DD}}{R_D + R_S} = \frac{20}{(1.8 \times 10^3 + 750)} = 7.843 \text{ mA}$

จากสมการ (2.48) $V_{GS} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

โดยที่ $a = \frac{I_{DSS} R_S}{(V_P)^2} = \frac{7.843 \times 10^{-3} \times 750}{(-5)^2} = 0.235$

$$b = \left(1 - \frac{2I_{DSS} R_S}{V_P} \right) = \left(1 - \frac{2 \times 7.843 \times 10^{-3} \times 750}{-5} \right) = 3.352$$

$$c = I_{DSS} R_S - V_G = (7.843 \times 10^{-3} \times 750) - 1.475 = 4.407$$

$$V_{GS1} = \frac{-(3.352) + \sqrt{(3.352)^2 - (4 \times 0.235 \times 4.407)}}{(2 \times 0.235)}$$

$$V_{GS1} = \frac{-(3.352) + 2.663}{0.47} = -1.465 \text{ V}$$

$$V_{GS2} = \frac{-(3.352) - \sqrt{(3.352)^2 - (4 \times 0.235 \times 4.407)}}{(2 \times 0.235)}$$

$$V_{GS2} = \frac{-(3.352) - 2.663}{0.47}$$

$$V_{GS2} = -12.797 \text{ V}$$

จากสมการ (2.46) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$

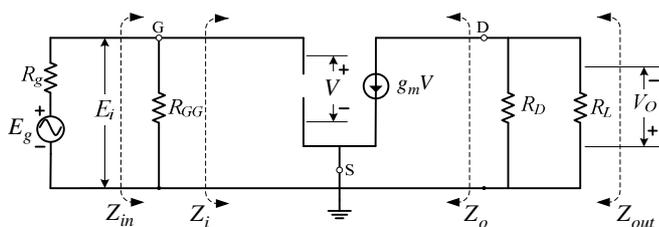
โดยที่ $I_{DSS} = 7.843 \text{ mA}$, $V_P = -5 \text{ V}$, $V_{GS} = -1.465 \text{ V}$;

$$I_D = 7.843 \times 10^{-3} \left(1 - \frac{-1.465}{-5} \right)^2 = 3.92 \text{ mA}$$

ตอบ $V_{GS} = V_{GS1} = -1.465 \text{ V}$, $I_D = 3.92 \text{ mA}$;

2.2.2 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสลับความถี่กลาง

ความถี่กลางจะทำให้ X_{C_G}, X_{C_S} และ X_{C_D} มีค่าเท่ากับ 0Ω ค่า C_{iss} และ C_{rss} ไม่มีผลต่อความถี่กลาง จึงสามารถละทิ้งได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสลับความถี่กลางของรูปที่ 2.19

2.2.2.1 การประมาณค่า g_m

การประมาณค่า g_m ของเฟต จำเป็นต้องทราบค่า I_{DSS}, V_P และแรงดัน V_{GS}

จากสมการ (1.20)

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

ตัวอย่างที่ 2.23 จากรูปที่ 2.19 จงประมาณค่า g_m

วิธีทำ จากสมการ (1.20)

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

โดยที่ $I_{DSS} = 7.843 \text{ mA}, V_P = -5 \text{ V}, V_{GS} = -1.465 \text{ V};$

$$g_m = \frac{2 \times 7.843 \times 10^{-3}}{|-5|} \left(1 - \frac{-1.465}{-5} \right) = 3.137 \times 10^{-3} \times 0.707 = 2.217 \text{ mS}$$

ตอบ $g_m = 2.217 \text{ mS}$

2.2.2.2 การประมาณค่า Z_i และ Z_{in}

2.2.2.2.1 Z_i คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าระหว่างขาเกต กับกราวด์ โดยละทิ้ง R_{GG} ดังแสดงในรูปที่ 2.21 จะได้สมการ

$$Z_i = \infty \text{ หรือ } Z_i = \text{วงจรเปิด} \tag{2.49}$$

2.2.2.2.2 Z_{in} คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าระหว่างขาเกต กับกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 จะได้สมการ

$$Z_{in} = R_{GG} = \frac{R_{G1}R_{G2}}{(R_{G1} + R_{G2})} \tag{2.50}$$

2.2.2.3 การประมาณค่า Z_o และ Z_{out}

2.2.2.3.1 Z_o คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านออก ระหว่างขาเดรน กับกราวด์ ละทิ้ง R_D และ R_L ถือว่าแหล่งกำเนิดกระแส $g_m V$ มีความต้านทานสูง หรือมีค่านันต์ (∞) แทนด้วยวงจรเปิดดังแสดงในรูปที่ 2.21

$$\boxed{Z_o = \infty} \tag{2.51}$$

2.2.2.3.2 Z_{out} คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านออก ระหว่างขาเดรน กับกราวด์ ดังได้แสดงในรูปที่ 2.21

$$Z_{out} = \{ Z_o \parallel (R_D \parallel R_L) \}$$

โดยที่ $Z_o = \infty, R_{out} = (R_D \parallel R_L) = \frac{R_D R_L}{(R_D + R_L)}$;

ดังนั้น
$$\boxed{Z_{out} = R_{out} = (R_D \parallel R_L) = \frac{R_D R_L}{(R_D + R_L)}} \tag{2.52}$$

ตัวอย่างที่ 2.24 จากรูปที่ 2.19 จงประมาณค่า Z_i, Z_{in}, Z_o และ Z_{out}

วิธีทำ จากสมการ (2.49)

$$Z_i = \infty$$

จากสมการ (2.50)

$$Z_{in} = R_{GG} = \frac{R_{G1} R_{G2}}{(R_{G1} + R_{G2})} = \frac{590 \times 10^3 \times 47 \times 10^3}{(590 \times 10^3 + 47 \times 10^3)} = 43.532 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (2.51)

$$Z_o = \infty$$

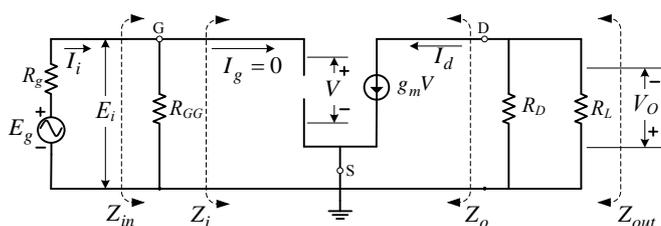
จากสมการ (2.52)

$$Z_{out} = R_{out} = (R_D \parallel R_L) = \frac{1.8 \times 10^3 \times 2 \times 10^3}{(1.8 \times 10^3 + 2 \times 10^3)} = 947.368 \Omega$$

ตอบ $Z_i = \infty, Z_{in} = 43.532 \text{ k}\Omega, Z_o = \infty, Z_{out} = 947.368 \Omega$;

2.2.2.4 การประมาณค่า $A_{V(FMid)}$

$A_{V(FMid)}$ คือ อัตราขยายแรงดันความถี่กลางระหว่าง V_o ต่อ E_i ดังแสดงในรูปที่ 2.22 จะได้สมการ



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรประมาณค่า $A_{V(FMid)}$ ของเฟต

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

สมการด้านออก

$$V_o = I_d Z_{out}$$

เนื่องจาก $I_d = g_m V$

$$V_o = g_m V Z_{out}$$

เนื่องจาก $V = E_i$

$$V_o = g_m E_i Z_{out}$$

สมการด้านเข้า

$$E_i = V$$

ดังนั้น

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -g_m Z_{out} \quad (2.53)$$

$$E_g = I_i (R_g + Z_{in})$$

$$I_i = \frac{E_g}{(R_g + Z_{in})}$$

$$E_i = I_i Z_{in} = \frac{E_g Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

$$\frac{E_i}{E_g} = \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{E_i}{E_g} = -g_m Z_{out} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

ดังนั้น

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} = -g_m Z_{out} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} \quad (2.53a)$$

ตัวอย่างที่ 2.25 จากรูปที่ 2.22 จงประมาณค่า $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i}$ และ $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g}$

วิธีทำ จากสมการ (2.53) $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i}$

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -g_m Z_{out} = -(2.217 \times 10^{-3} \times 947.368) = -2.10$$

จากสมการ (2.53a)

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} = -g_m Z_{out} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

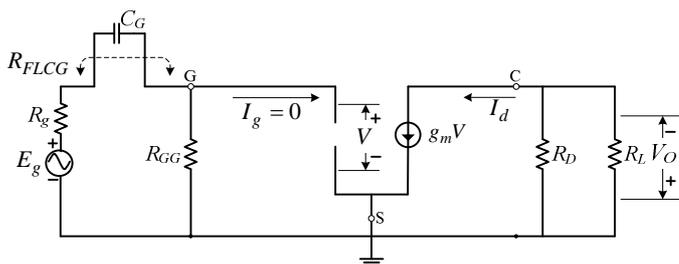
$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -2.10 \times \frac{43.532 \times 10^3}{(75 + 43.532 \times 10^3)} = -2.10 \times 0.998 = -2.095$$

ตอบ $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -2.10$, $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -2.095$;

2.2.3 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสลับความถี่ตัดด้านต่ำ

2.2.3.1 การประมาณค่า $F_{L(C_G)}$

$F_{L(C_G)}$ คือ ค่าความถี่ตัดด้านต่ำซึ่งถูกกำหนดโดย C_G จากรูปที่ 2.23 เมื่อ E_g มีความถี่เท่ากับ $F_{L(C_G)}$ จะทำให้ X_{C_G} เท่ากับ R_{FLCG} สามารถประมาณค่าของ $F_{L(C_G)}$ ได้จากสมการ



รูปที่ 2.23 แสดงวงจรประมาณค่า $F_{L(C_G)}$ ของเฟต

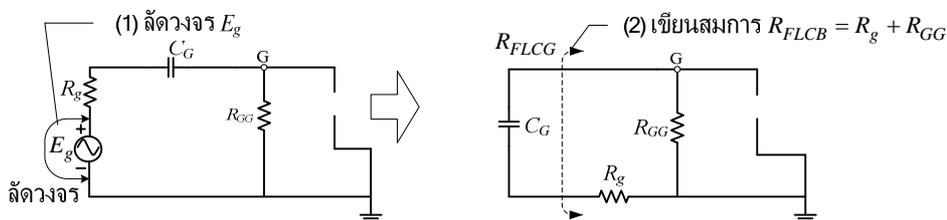
เนื่องจาก $X_{C_G} = R_{FLCG}$

จะได้ $\frac{1}{2\pi F_{L(C_G)} C_G} = R_{FLCG}$

ดังนั้น $F_{L(C_G)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} C_G}$ (2.54)

การประมาณค่า R_{FLCG} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_G ดังแสดงในรูปที่ 2.24 จะได้สมการ

$$R_{FLCG} = R_g + R_{GG}$$

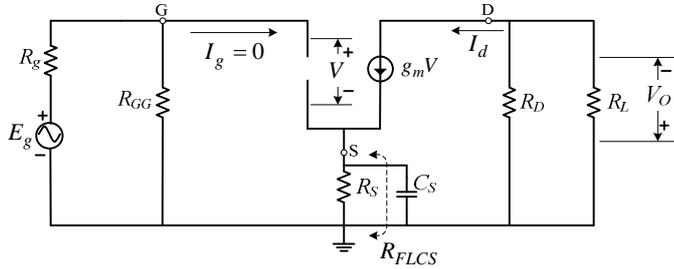


รูปที่ 2.24 แสดงวงจรประมาณค่า R_{FLCG} ของเฟต

2.2.3.2 การประมาณค่า $F_{L(C_S)}$

$F_{L(C_S)}$ คือ ค่าความถี่ตัดด้านต่ำ ซึ่งถูกกำหนดโดย C_S จากรูปที่ 2.25 เมื่อ E_g มีความถี่เท่ากับ $F_{L(C_S)}$ จะทำให้ X_{C_S} เท่ากับ R_{FLCS} และสามารถประมาณค่า $F_{L(C_S)}$ ได้จากสมการ

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง



รูปที่ 2.25 แสดงวงจรประมาณค่า $F_{L(C_S)}$ ของเฟต

$$X_{C_S} = R_{FLCS}$$

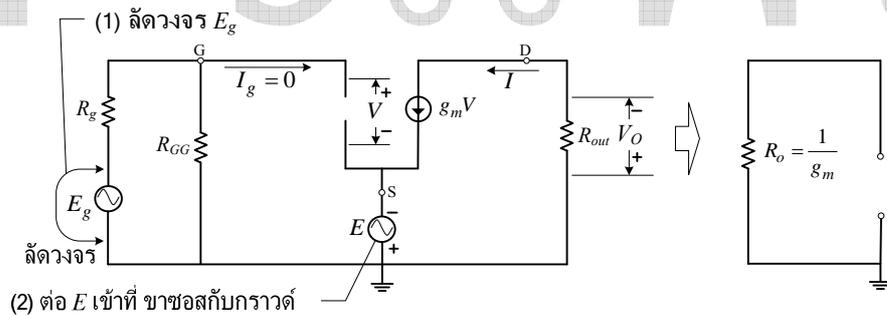
เนื่องจาก $X_{C_S} = \frac{1}{2\pi F_{L(C_S)} C_S}$

จะได้ $\frac{1}{2\pi F_{L(C_S)} C_S} = R_{FLCS}$

ดังนั้น

$$F_{L(C_S)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCS} C_S} \tag{2.55}$$

การประมาณค่า R_{FLCS} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_S โดยเป็นค่าความต้านทานระหว่างขาซอสกับกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงวงจรประมาณค่า R_o ของเฟต

จากรูปที่ 2.26 การประมาณค่า R_o ที่ขาซอสกับกราวด์โดยต่อ E เข้าระหว่างขาซอสกับกราวด์ และ E สามารถกระตุ้น V ทำให้ $g_m V$ เกิดกระแส I ไหลจะได้สมการ

$$I = g_m V$$

เมื่อ $V = E$

$$I = g_m E$$

เนื่องจาก $\frac{E}{I} = R_o$

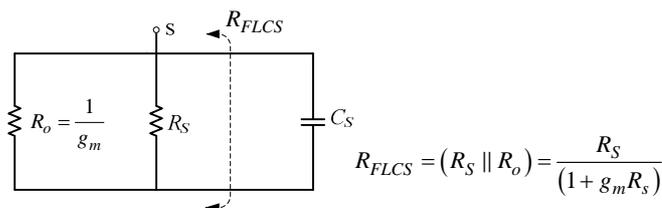
2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$R_o = \frac{E}{I} = \frac{E}{g_m E} = \frac{1}{g_m}$$

ดังนั้น

$$R_o = \frac{1}{g_m}$$

(2.55a)



รูปที่ 2.27 แสดงวงจรประมาณค่า R_{FLCS}

จากรูปที่ 2.27 จะได้สมการ

$$R_{FLCS} = (R_S \parallel R_o) = \frac{R_S}{(1 + g_m R_S)}$$

2.2.3.3 การประมาณค่า $F_{L(C_D)}$

$F_{L(C_D)}$ คือ ค่าความถี่ตัดด้านต่ำซึ่งถูกกำหนดโดย C_D จากรูปที่ 2.28 เมื่อ E_g มีความถี่เท่ากับ $F_{L(C_D)}$ จะทำให้ X_{C_D} เท่ากับ R_{FLCD} สามารถประมาณค่า $F_{L(C_D)}$ ได้จากสมการ

$$X_{C_D} = R_{FLCD}$$

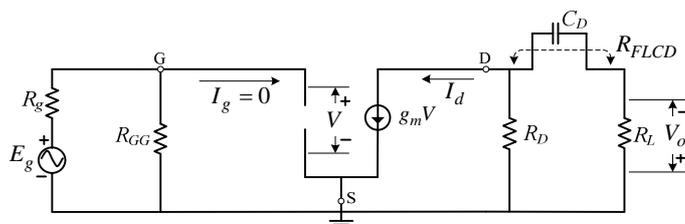
เนื่องจาก $X_{C_D} = \frac{1}{2\pi F_{L(C_D)} C_D}$

จะได้ $\frac{1}{2\pi F_{L(C_D)} C_D} = R_{FLCD}$

ดังนั้น

$$F_{L(C_D)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCD} C_D}$$

(2.56)

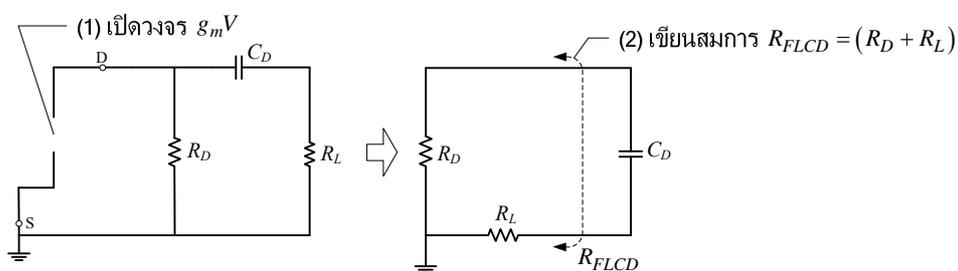


รูปที่ 2.28 แสดงวงจรประมาณค่า $F_{L(C_D)}$ ของเฟต

การประมาณค่า R_{FLCD} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่เสนอต่อ C_D ดังแสดงในรูปที่ 2.29 จะได้สมการ

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$R_{FLCD} = R_D + R_L$$

รูปที่ 2.29 แสดงวงจรประมาณค่า R_{FLCD} ของเฟด

ตัวอย่างที่ 2.26 จากรูปที่ 2.21 จงประมาณค่า $F_{L(C_G)}$, $F_{L(C_S)}$ และ $F_{L(C_D)}$

วิธีทำ จากสมการ (2.54) $F_{L(C_G)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} C_G}$

โดยที่ $R_{GG} = 43.532 \text{ k}\Omega$, $R_{FLCB} = (R_g + R_{GG}) = (75 + 43.532 \times 10^3) = 43.607 \text{ k}\Omega$;

$C_G = 100 \text{ pF}$

$$F_{L(C_G)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} C_G} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 43.607 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-12}}$$

$$F_{L(C_G)} = 36.516 \text{ kHz}$$

จากสมการ (2.55) $F_{L(C_S)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCS} C_S}$

โดยที่ $R_{FLCS} = \frac{R_S}{(1 + g_m R_S)} = \frac{750}{1 + (2.217 \times 10^{-3} \times 750)} = 281.663 \text{ }\Omega$

$$F_{L(C_S)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCS} C_S} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 281.663 \times 0.1 \times 10^{-6}} = 5.653 \text{ kHz}$$

จากสมการ (2.56) $F_{L(C_D)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCD} C_D}$

โดยที่ $R_{FLCD} = (R_D + R_L) = (1.8 \times 10^3 + 2 \times 10^3) = 3.8 \text{ k}\Omega$

$$F_{L(C_D)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCD} C_D} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 3.8 \times 10^3 \times 0.047 \times 10^{-6}} = 891.577 \text{ Hz}$$

ตอบ $F_{L(C_G)} = 36.516 \text{ kHz}$, $F_{L(C_S)} = 5.653 \text{ kHz}$, $F_{L(C_D)} = 891.577 \text{ Hz}$;

2.2.3.4 การประมาณค่า F_L ของวงจร

โดยพิจารณา จากค่าความถี่ตัดของ $F_{L(C_G)}$, $F_{L(C_S)}$ และ $F_{L(C_D)}$ ที่มีความถี่สูงสุดเป็นความถี่ F_L ของวงจร

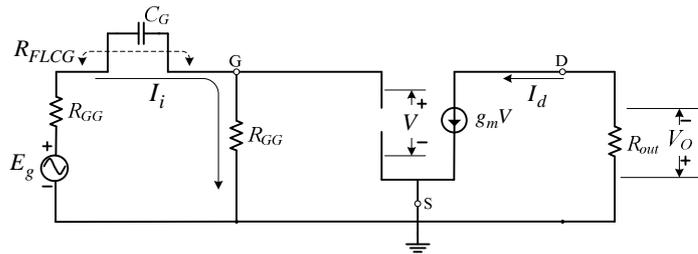
2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

ตัวอย่างที่ 2.27 จากรูปที่ 2.21 จงประมาณค่า F_L ของวงจร

วิธีทำ $F_{L(C_G)} = 36.516 \text{ kHz}$, $F_{L(C_S)} = 5.653 \text{ kHz}$ และ $F_{L(C_D)} = 891.577 \text{ Hz}$

ตอบ ความถี่ F_L ของวงจรคือ $F_{L(C_G)} = 36.516 \text{ kHz}$

2.2.3.5 การประมาณค่า $A_{V(F_L)}$



รูปที่ 2.30 แสดงวงจรประมาณค่า $A_{V(F_L)}$ ของเฟต

$A_{V(F_L)}$ คือ อัตราขยายแรงดันความถี่ตัดด้านต่ำ ระหว่างแรงดัน V_o ต่อ E_g โดยถูกควบคุมโดย C_G ดังแสดงในรูปที่ 2.30

เมื่อ E_g มีความถี่เท่ากับ $F_{L(C_G)}$ จะทำให้ค่า X_{C_G} มีค่าเท่ากับ R_{FLCG} ดังนั้นเมื่อ R_{FLCG} มีค่าเท่ากับ R_{GG} จะได้สมการด้านเข้า

$$E_g = I_i \left(R_g + \frac{1}{J\omega C_G} \right) + I_i R_{GG} = I_i \left(R_g + \frac{1}{J\omega C_G} + R_{GG} \right)$$

$$E_g = I_i \left(R_g + R_{GG} + \frac{1}{J\omega C_G} \right) = I_i \left\{ \frac{1 + J\omega C_G (R_g + R_{GG})}{J\omega C_G} \right\}$$

$$I_i = \frac{E_g J\omega C_G}{\{1 + J\omega C_G (R_g + R_{GG})\}}$$

$$V = I_i R_{GG} = \frac{E_g J\omega R_{GG} C_G}{\{1 + J\omega C_G (R_g + R_{GG})\}}$$

สมการด้านออก

$$V_o = g_m V Z_{out}$$

$$V_o = \frac{E_g g_m Z_{out} J\omega R_{GG} C_G}{\{1 + J\omega C_G (R_g + R_{GG})\}}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{g_m Z_{out} J\omega R_{GG} C_G}{\{1 + J\omega C_G (R_g + R_{GG})\}}$$

เนื่องจาก $X_{C_G} = \frac{1}{R_{FLCG}}$, $R_{FLCG} = R_g + R_{GG}$;

$$\frac{1}{\omega C_G} = R_{FLCG}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$\omega C_G = \frac{1}{R_{FLCG}} = \frac{1}{(R_g + R_{GG})}$$

แทนค่า $\omega C_G = \frac{1}{(R_g + R_{GG})}$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{g_m Z_{out} J R_{GG}}{\left\{ 1 + J \frac{(R_g + R_{GG})}{(R_g + R_{GG})} \right\}} \times \frac{1}{(R_g + R_{GG})}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{g_m Z_{out} J R_{GG}}{(R_g + R_{GG})(1 + J1)} = -\frac{g_m Z_{out} R_{GG} \angle 90^\circ}{(R_g + R_{GG}) \sqrt{(1)^2 + (1)^2} \tan^{-1} \frac{1}{1}}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{g_m Z_{out} R_{GG} \angle 90^\circ}{(R_g + R_{GG}) \sqrt{2} \angle 45^\circ} = -\frac{(0.707) g_m Z_{out} R_{GG} \angle 90^\circ - 45^\circ}{(R_g + R_{GG})}$$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -(0.707) g_m Z_{out} \angle 45^\circ \times \frac{R_{GG}}{(R_g + R_{GG})}$$

เนื่องจาก $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -g_m Z_{out} \times \frac{R_{GG}}{(R_g + R_{GG})}$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle 45^\circ \quad (2.57)$$

ตัวอย่างที่ 2.28 จากรูปที่ 2.21 จงประมาณค่า $A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g}$

วิธีทำ จากสมการ (2.57) $A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle 45^\circ$

$$A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = (0.707)(-2.095) = -1.481 \angle 45^\circ$$

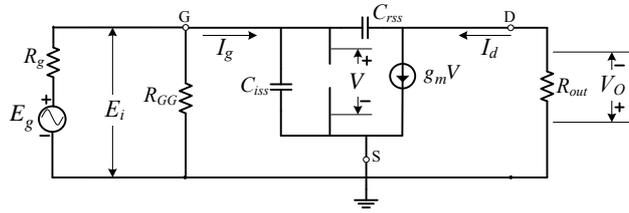
ตอบ $A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -1.481 \angle 45^\circ$

2.2.4 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสระดับความถี่ตัดด้านสูง

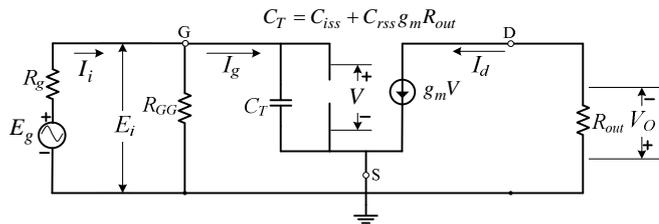
2.2.4.1 การประมาณค่า F_H

F_H คือค่าความถี่ตัดด้านสูงของวงจร ซึ่ง C_{rss} สามารถย้ายมาขนานกับ C_{iss} กลายเป็น C_T เท่ากับ $(C_{iss} + C_{rss} g_m R_{out})$ ง่ายต่อการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 2.31 และ 2.32

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง



รูปที่ 2.31 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสลัดความถี่ตัดด้านสูง



รูปที่ 2.32 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสลัดความถี่ตัดด้านสูง รูปแบบ C_T

จากรูปที่ 2.32 เมื่อ E_g มีความถี่เท่ากับ F_H จะทำให้ X_{C_T} มีค่าเท่า R_{FH} และจากรูปที่ 2.33 เป็นการประมาณค่า R_{FH} สามารถประมาณค่า F_H ได้จากสมการ

$$X_{C_T} = R_{FH}$$

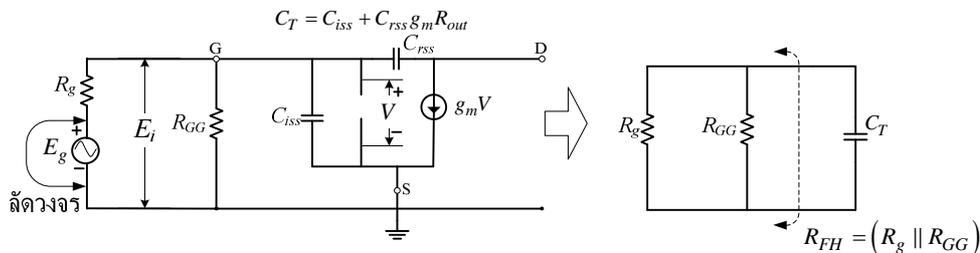
เนื่องจาก $X_{C_T} = \frac{1}{2\pi F_H C_T}$

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

ดังนั้น

$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T} \tag{2.58}$$

$$R_{FH} = (R_g \parallel R_{GG}) = \frac{R_g R_{GG}}{R_g + R_{GG}}$$



รูปที่ 2.33 แสดงวงจรประมาณค่า R_{FH} ของเฟด

ตัวอย่างที่ 2.29 จากรูปที่ 2.21 จงประมาณค่า F_H ของวงจร

วิธีทำ จากสมการ (2.58) $F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$\text{โดยที่ } R_{FH} = \frac{R_g R_{GG}}{(R_g + R_{GG})} = \frac{75 \times 43.532 \times 10^3}{(75 + 43.532 \times 10^3)} = 74.871 \, \Omega, R_{out} = \frac{R_D R_L}{(R_D + R_L)} = 947.368 \, \Omega;$$

$$C_T = C_{iss} + C_{rss} g_m R_{out} = 4 \times 10^{-12} + (1 \times 10^{-12} \times 2.217 \times 10^{-3} \times 947.368) = 6.100 \, \text{pF}$$

$$F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 74.871 \times 6.100 \times 10^{-12}} = 348.655 \, \text{MHz}$$

ตอบ $F_H = 348.655 \, \text{MHz}$

2.2.4.2 การประมาณค่า $A_{V(F_H)}$

$A_{V(F_H)}$ คือ ค่าอัตราขยายแรงดันความถี่ตัดด้านสูง ระหว่างแรงดัน V_o ต่อ E_g จากรูปที่ 2.32 จะได้สมการ

$$E_g = I_i R_g + I_i \left\{ \frac{R_{GG}}{(1 + j\omega R_{GG} C_T)} \right\}$$

$$E_g = I_i \left\{ \frac{(R_g + R_{GG}) + j\omega R_g R_{GG} C_T}{(1 + j\omega R_{GG} C_T)} \right\}$$

$$I_i = \frac{E_g (1 + j\omega R_{GG} C_T)}{(R_g + R_{GG}) + j\omega R_g R_{GG} C_T}$$

$$V = \frac{E_g R_{GG}}{(R_g + R_{GG}) + j\omega R_g R_{GG} C_T}$$

$$V_o = g_m V Z_{out}$$

$$V_o = \frac{E_g g_m Z_{out} R_{GG}}{(R_g + R_{GG}) + j\omega R_g R_{GG} C_T}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{g_m Z_{out} R_{GG}}{(R_g + R_{GG}) + j\omega R_g R_{GG} C_T}$$

เนื่องจาก $X_{C_T} = \frac{1}{\omega C_T}$, $R_{FH} = \frac{R_g R_{GG}}{(R_g + R_{GG})}$;

$$\frac{1}{\omega C_T} = R_{FH}$$

$$\omega C_T = \frac{1}{R_{FH}} = \frac{(R_g + R_{GG})}{R_g R_{GG}}$$

แทนค่า $\omega C_T = \frac{(R_g + R_{GG})}{R_g R_{GG}}$ ในสมการ $A_{V(F_H)}$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{g_m Z_{out} R_{GG}}{(R_g + R_{GG}) + J R_g R_{GG} \frac{(R_g + R_{GG})}{R_g R_{GG}}}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{g_m Z_{out} R_{GG}}{(R_g + R_{GG}) + J(R_g + R_{GG})}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{g_m Z_{out} R_{GG}}{(R_g + R_{GG})(1 + J1)}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{g_m Z_{out} R_{GG}}{(R_g + R_{GG}) \sqrt{(1)^2 + (1)^2} \tan^{-1} \frac{1}{1}}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{g_m Z_{out} R_{GG}}{(R_g + R_{GG}) \sqrt{2} \angle 45^\circ}$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{0.707 g_m Z_{out} R_{GG} \angle 0^\circ - 45^\circ}{(R_g + R_{GG})}$$

$$A_{V(F_H)} = -0.707 g_m Z_{out} \times \frac{R_{GG}}{(R_g + R_{GG})} \angle -45^\circ$$

เนื่องจาก $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -g_m Z_{out} \times \frac{R_{GG}}{(R_g + R_{GG})}$

ดังนั้น

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle -45^\circ$$

(2.58a)

ตัวอย่างที่ 2.30 จากรูปที่ 2.21 จงประมาณค่า $A_{V(F_H)}$

วิธีทำ จากสมการ (2.58a) $A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle -45^\circ$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = (0.707)(-2.095) = -1.481 \angle -45^\circ$$

ตอบ $A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -1.481 \angle -45^\circ$

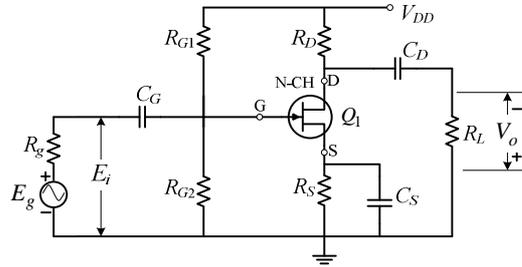
2.2.5 การออกแบบวงจรขยายย่านความถี่สูงโดยใช้เฟต

รายละเอียดของวงจร Q_1 เจฟต เบอร์ 2SK33 แบบช่องเอน (EGC 451)

$$C_{iss} = 5 \text{ pF}, C_{rss} = 1.2 \text{ pF}, V_P = -4 \text{ V}, I_{DSS} = 4-10 \text{ mA}, BV_{GSS} = -25 \text{ V}, R_g = 75 \Omega,$$

$$P_D = 310 \text{ mW}, V_{DD} = 20 \text{ V}, R_L = 1.5 \text{ k}\Omega, F_L \leq 1 \text{ MHz}, F_H \geq 250 \text{ MHz}; \text{เลือก } I_{DSS} = 8 \text{ mA}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง



รูปที่ 2.34 แสดงวงจขยายย่านความถี่สูงโดยใช้เฟดที่ใช้เอาท์แบบ

ขั้นตอนการออกแบบ

จากสมการ (2.46)
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$\frac{I_D}{I_{DSS}} = \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$\sqrt{I_D/I_{DSS}} = 1 - \frac{V_{GS}}{V_P}$$

$$\frac{V_{GS}}{V_P} = 1 - \sqrt{I_D/I_{DSS}}$$

$$V_{GS} = V_P \left(1 - \sqrt{I_D/I_{DSS}} \right)$$

กำหนดให้ $I_D = 0.5I_{DSS}$ เพื่อสะดวกในการออกแบบ และเป็นการกำหนดจุดทำงานในชั้นเอ

$$V_{GS} = V_P \left(1 - \sqrt{0.5I_{DSS}/I_{DSS}} \right)$$

$$V_{GS} = V_P (1 - 0.707) = 0.293V_P$$

$$V_{GS} = V_P (1 - 0.707) = 0.293V_P$$

ดังนั้น
$$\boxed{V_{GS} = 0.293V_P} \text{ เมื่อ } (I_D = 0.5I_{DSS}) \tag{2.59}$$

จากสมการ (1.20)
$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

เนื่องจาก $V_{GS} = 0.293V_P$

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{0.293V_P}{V_P} \right) = \frac{2I_{DSS} (1 - 0.293)}{|V_P|}$$

$$g_m = \frac{2I_{DSS} (1 - 0.293)}{|V_P|} = \frac{1.414I_{DSS}}{|V_P|}$$

ดังนั้น
$$g_m = \frac{1.414I_{DSS}}{|V_P|} \text{ เมื่อ } (I_D = 0.5I_{DSS}, V_{GS} = 0.293V_P;)$$
 (2.60)

2.2.5.1 การกำหนดจุดทำงานของเฟต

โดยกำหนดจุดทำงานในชั้นเอ

โดยกำหนด
$$V_{R_S} = 2|V_{GS}| = 2|0.293V_P|$$

$$V_{R_S} = 0.586|V_P| \quad (2.61)$$

$$V_{D_S} = 0.5V_{DD} \quad (2.62)$$

$$V_{R_D} = V_{DD} - (V_{D_S} + V_{R_S}) \quad (2.63)$$

2.2.5.2 การประมาณค่า R_D , R_S , R_{G1} และ R_{G2}

จากสมการ (2.63)
$$V_{R_D} = V_{DD} - (V_{D_S} + V_{R_S})$$

$$V_{R_D} = I_D R_D$$

$$R_D = \frac{V_{R_D}}{I_D} \quad (2.64)$$

จากสมการ (2.61)
$$V_{R_S} = 0.586|V_P|$$

$$R_S = \frac{V_{R_S}}{I_D} = \frac{0.586|V_P|}{I_D} \quad (2.65)$$

กำหนดให้
$$R_{G2} = 47 \text{ k}\Omega \text{ (เปลี่ยนแปลงค่าได้)}$$

จากสมการ (2.42)
$$V_{R_{G2}} = V_G = V_{GS} + V_{R_S}$$

จากสมการ (2.59) $V_{GS} = 0.293V_P$ และสมการ (2.61) $V_{R_S} = 0.586|V_P|$ ดังนั้น

$$V_{R_{G2}} = V_G = 0.293V_P + 0.586|V_P| \text{ เมื่อ เฟตช่องเอ็น} \quad (2.65a)$$

$$V_{R_{G2}} = V_G = 0.293V_P - 0.586V_P \text{ เมื่อ เฟตช่องพี} \quad (2.65b)$$

เนื่องจาก $I_G = 0$

$$V_{DD} = V_{R_{G1}} + V_{R_{G2}}$$

$$V_{DD} = I(R_{G1} + R_{G2})$$

$$I = \frac{V_{DD}}{(R_{G1} + R_{G2})}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

และ $I = \frac{V_{R_{G2}}}{R_{G2}}$ หรือ $I = \frac{V_{R_{G1}}}{R_{G1}}$ หรือ $I = \frac{V_{DD}}{(R_{G1} + R_{G2})}$ เนื่องจาก R_{G1} และ R_{G2} ต่ออนุกรมกัน

$$V_{R_{G1}} = V_{DD} - V_{R_{G2}}$$

$$R_{G1} = \frac{V_{DD} - V_{R_{G2}}}{I}$$

โดยเลือก $I = \frac{V_{R_{G2}}}{R_{G2}}$

$$R_{G1} = \frac{V_{DD} - V_{R_{G2}}}{I} = \frac{(V_{DD} - V_{R_{G2}}) R_{G2}}{V_{R_{G2}}}$$

ดังนั้น

$$R_{G1} = \frac{(V_{DD} - V_{R_{G2}}) R_{G2}}{V_{R_{G2}}} \quad (2.66)$$

ตัวอย่างที่ 2.31 จากรูปที่ 2.34 จงการประมาณค่า R_D , R_S , R_{G1} และ R_{G2}

วิธีทำ จากสมการ (2.61) $V_{R_S} = 0.586|V_P| = 0.586|-4| = 2.344 \text{ V}$

จากสมการ (2.62) $V_{D_S} = 0.5V_{DD} = 0.5 \times 20 = 10 \text{ V}$

จากสมการ (2.63) $V_{R_D} = V_{DD} - (V_{D_S} + V_{R_S}) = 20 - (10 + 2.344) = 7.656 \text{ V}$

กำหนดให้ $I_D = 0.5I_{DSS} = 0.5 \times 8 \times 10^{-3} = 4 \text{ mA}$

จากสมการ (2.64) $R_D = \frac{V_{R_D}}{I_D} = \frac{7.656}{4 \times 10^{-3}} = 1.914 \text{ k}\Omega$

จากสมการ (2.65) $R_S = \frac{V_{R_S}}{I_D} = \frac{2.344}{4 \times 10^{-3}} = 586 \text{ }\Omega$

กำหนดให้ $R_{G2} = 47 \text{ k}\Omega$

จากสมการ (2.65a) $V_{R_{G2}} = V_G = 0.293V_P + 0.586|V_P|$ (เฉพาะเฟด ช่องเอน)

$$V_{R_{G2}} = \{0.293(-4)\} + (0.586|-4|) = 1.172 \text{ V}$$

จากสมการ (2.66) $R_{G1} = \frac{(V_{DD} - V_{R_{G2}}) R_{G2}}{V_{R_{G2}}} = \frac{(20 - 1.172) 47 \times 10^3}{1.172} = 755.047 \text{ k}\Omega$

ตอบ $R_D = 1.914 \text{ k}\Omega$, $R_S = 586 \text{ }\Omega$, $R_{G2} = 47 \text{ k}\Omega$, $R_{G1} = 755.047 \text{ k}\Omega$;

2.2.5.3 การเปลี่ยนค่าความต้านทานให้เป็นค่ามาตรฐาน

ใช้ตารางที่ A-1 ในภาคผนวก ก.

$R_D = 1.914 \text{ k}\Omega$ เป็นค่ามาตรฐาน $R_D = 2 \text{ k}\Omega$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$R_S = 586 \Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_S = 560 \Omega$$

$$R_{G1} = 755.047 \text{ k}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_{G1} = 750 \text{ k}\Omega$$

$$R_{G2} = 47 \text{ k}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_{G2} = 47 \text{ k}\Omega$$

2.2.5.4 การตรวจสอบจุดทำงานของเฟต

$$\text{จากสมการ (2.45a)} \quad I_{DSS} = \frac{V_{DD}}{R_D + R_S}$$

$$\text{จากสมการ (2.48)} \quad V_{GS} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\text{โดยที่ } a = \frac{I_{DSS}R_S}{(V_P)^2}, b = \left(1 - \frac{2I_{DSS}R_S}{V_P}\right), c = I_{DSS}R_S - V_G;$$

$$\text{จากสมการ (2.46)} \quad I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

$$\text{จากสมการ (2.45)} \quad V_{DD} = I_D R_D + V_{DS} - I_D R_S$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (I_D R_D + I_D R_S)$$

*หมายเหตุ ค่าของ I_D ที่ยอมรับได้คือ $I_D \pm 0.5 \text{ mA}$ ค่าของแรงดัน V_{DS} ที่ยอมรับได้คือ $V_{DS} \pm 0.5 \text{ V}$

ตัวอย่างที่ 2.32 จากรูปที่ 2.34 จงตรวจสอบจุดทำงานของเฟต เมื่อใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน

$$\text{วิธีทำ จากสมการ (2.45a)} \quad I_{DSS} = \frac{V_{DD}}{R_D + R_S} = \frac{20}{(2 \times 10^3 + 560)} = 7.812 \text{ mA}$$

$$\text{จากสมการ (2.44)} \quad V_{R_{G2}} = V_G = \frac{V_{DD}R_{G2}}{(R_{G1} + R_{G2})} = \frac{20 \times 47 \times 10^3}{(750 \times 10^3 + 47 \times 10^3)} = 1.179 \text{ V}$$

$$\text{จากสมการ (2.48)} \quad V_{GS} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\text{โดยที่ } a = \frac{I_{DSS}R_S}{(V_P)^2} = \frac{7.812 \times 10^{-3} \times 560}{(-4)^2} = 0.273$$

$$b = \left(1 - \frac{2I_{DSS}R_S}{V_P}\right) = 1 - \frac{2 \times 7.812 \times 10^{-3} \times 560}{-4} = 3.187$$

$$c = (I_{DSS}R_S - V_G) = (7.812 \times 10^{-3} \times 560) - 1.179 = 3.195$$

$$V_{GS} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(3.187) \pm \sqrt{(3.187)^2 - (4 \times 0.273 \times 3.195)}}{2 \times 0.273}$$

$$V_{GS1} = \frac{-(3.187) + 2.582}{0.546} = -1.108 \text{ V}$$

$$V_{GS2} = \frac{-(3.187) - 2.582}{0.546} = -10.565 \text{ V}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$V_{GS} = V_{GS1} = -1.108 \text{ V}$$

จากสมการ (2.46)
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 7.812 \times 10^{-3} \left(1 - \frac{-1.108}{-4}\right)^2 = 4.083 \text{ mA}$$

จากสมการ (2.45)
$$V_{DD} = I_D R_D + V_{DS} + I_D R_S$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (I_D R_D + I_D R_S)$$

$$V_{DS} = 20 - \left\{ (4.083 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3) + (4.083 \times 10^{-3} \times 560) \right\}$$

$$V_{DS} = 9.547 \text{ V}$$

ตอบ จุดทำงานของเฟต $V_{GS} = -1.108 \text{ V}$, $I_D = 4.083 \text{ mA}$ และ $V_{DS} = 9.547 \text{ V}$

2.2.5.5 การประมาณค่า C_G , C_S และ C_D

โดยกำหนดให้ C_G ควบคุมการตัดความถี่ด้านต่ำของวงจร

จากสมการ (2.54)

$$F_{L(C_G)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} C_G}$$

ดังนั้น

$$C_G = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} F_{L(C_G)}} \quad (2.67)$$

จากสมการ (2.55)

$$F_{L(C_S)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCS} C_S}$$

ดังนั้น

$$C_S = \frac{1}{2\pi R_{FLCS} F_{L(C_S)}} \quad (2.68)$$

โดยที่ $R_{FLCS} = 0.5 \Omega$

จากสมการ (2.56)

$$F_{L(C_D)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCD} C_D}$$

ดังนั้น

$$C_D = \frac{1}{2\pi R_{FLCD} F_{L(C_D)}} \quad (2.69)$$

ตัวอย่างที่ 2.33 จากรูปที่ 2.34 จงประมาณค่า C_G , C_S และ C_D

วิธีทำ จากสมการ (2.67)
$$C_G = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} F_{L(C_G)}}$$

โดยที่
$$R_{GG} = \frac{R_{G1} R_{G2}}{(R_{G1} + R_{G2})} = \frac{750 \times 10^3 \times 47 \times 10^3}{(750 \times 10^3 + 47 \times 10^3)} = 44.228 \text{ k}\Omega$$

$$R_{FLCG} = R_g + R_{GG} = 75 + 44.228 \times 10^3 = 44.303 \text{ k}\Omega$$

$$F_{L(C_G)} = F_L = 1 \text{ MHz}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$C_G = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} F_{L(C_G)}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 44.303 \times 10^3 \times 1 \times 10^6} = 3.594 \text{ pF}$$

จากสมการ (2.68)

$$C_S = \frac{1}{2\pi R_{FLCS} F_{L(C_S)}}$$

โดยที่ $R_{FLCS} = 0.5 \Omega$, $F_{L(C_S)} = F_L = 1 \text{ MHz}$;

$$C_S = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 0.5 \times 1 \times 10^6} = 0.3184 \mu\text{F}$$

จากสมการ (2.69)

$$C_D = \frac{1}{2\pi R_{FLCD} F_{L(C_D)}}$$

โดยที่ $R_{FLCD} = R_D + R_L = 2 \times 10^3 + 1.5 \times 10^3 = 3.5 \text{ k}\Omega$, $F_{L(C_D)} = F_L = 1 \text{ MHz}$;

$$C_D = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 3.5 \times 10^3 \times 1 \times 10^6} = 45.495 \text{ pF}$$

ตอบ $C_G = 3.594 \text{ pF}$, $C_S = 0.3184 \mu\text{F}$, $C_D = 45.495 \text{ pF}$;

2.2.5.6 การเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ ให้เป็นค่ามาตรฐาน

 $C_G = 3.594 \text{ pF}$ เป็นค่ามาตรฐาน $C_G = 3.9 \text{ pF}$ เซรามิก $C_S = 0.3184 \mu\text{F}$ เป็นค่ามาตรฐาน $C_S = 0.33 \mu\text{F}$ แทนทาลัม $C_D = 45.495 \text{ pF}$ เป็นค่ามาตรฐาน $C_D = 47 \text{ pF}$ เซรามิก2.2.5.7 การตรวจสอบ F_L และ F_H ของวงจร

จากสมการ (2.54)

$$F_{L(C_G)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} C_G}$$

$$F_L = F_{L(C_G)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} C_G}$$

จากสมการ (2.58)

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

*หมายเหตุ ค่าของ F_L ที่ยอมรับได้คือ จะต้องต่ำกว่าหรือเท่ากับ ค่าที่กำหนดค่าของ F_H ที่ยอมรับได้คือ จะต้องสูงกว่าหรือเท่ากับ ค่าที่กำหนดตัวอย่างที่ 2.34 จากรูปที่ 2.34 จงตรวจสอบ F_L และ F_H ของวงจรวิธีทำ จากสมการ (2.54) $F_{L(C_G)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} C_G}$

$$F_L = F_{L(C_G)} = \frac{1}{2\pi R_{FLCG} C_G}$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

$$\text{โดยที่ } R_{GG} = \frac{R_{G1}R_{G2}}{(R_{G1} + R_{G2})} = \frac{750 \times 10^3 \times 47 \times 10^3}{(750 \times 10^3 + 47 \times 10^3)} = 44.228 \text{ k}\Omega$$

$$R_{FLCG} = R_g + R_{GG} = 75 + 44.228 \times 10^3 = 44.303 \text{ k}\Omega, C_G = 3.9 \text{ pF};$$

$$F_L = F_{L(C_G)} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 44.303 \times 10^3 \times 3.9 \times 10^{-12}} = 921.600 \text{ kHz}$$

$$\text{จากสมการ (1.20)} \quad g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

$$\text{โดยที่ } I_{DSS} = 7.812 \text{ mA}, V_P = -4 \text{ V}, V_{GS} = -1.108 \text{ V};$$

$$g_m = \frac{2 \times 7.812 \times 10^{-3}}{|-4|} \left(1 - \frac{-1.108}{-4} \right)$$

$$g_m = 3.906 \times 10^{-3} \times 0.723 = 2.824 \text{ mS}$$

$$\text{จากสมการ (2.58)} \quad F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$$

$$\text{โดยที่ } R_{GG} = \frac{R_{G1}R_{G2}}{(R_{G1} + R_{G2})} = \frac{750 \times 10^3 \times 47 \times 10^3}{(750 \times 10^3 + 47 \times 10^3)} = 44.228 \text{ k}\Omega$$

$$R_{FH} = (R_g \parallel R_{GG}) = \frac{R_g R_{GG}}{(R_g + R_{GG})} = \frac{75 \times 44.228 \times 10^3}{(75 + 44.228 \times 10^3)} = 74.873 \text{ }\Omega$$

$$R_{out} = \frac{R_D R_L}{(R_D + R_L)} = \frac{2 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3}{(2 \times 10^3 + 1.5 \times 10^3)} = 857.142 \text{ }\Omega$$

$$C_T = C_{iss} + C_{rss} g_m R_{out} = 5 \times 10^{-12} + (1.2 \times 10^{-12} \times 2.824 \times 10^{-3} \times 857.142) = 7.904 \text{ pF}$$

$$F_H = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 74.873 \times 7.904 \times 10^{-12}} = 269.071 \text{ MHz}$$

ตอบ F_L ของวงจรมีค่า **922 kHz** และ F_H ของวงจรมีค่า **269.071 MHz** ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

2.2.5.8 การตรวจสอบค่า $A_{V(F_{Mid})}$, $A_{V(F_L)}$ และ $A_{V(F_H)}$

$$\text{จากสมการ (2.53)} \quad A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -g_m R_{out}$$

$$\text{จากสมการ (2.53a)} \quad A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})} = -g_m Z_{out} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$$

$$\text{จากสมการ (2.57)} \quad A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle 45^\circ$$

$$\text{จากสมการ (2.58a)} \quad A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle -45^\circ$$

2. วงจรขยายย่านความถี่สูง

ตัวอย่างที่ 2.35 จากรูปที่ 2.34 จงตรวจสอบค่า $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i}$, $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g}$, $A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g}$

$$\text{และ } A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g}$$

วิธีทำ จากสมการ (1.20) $g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$

โดยที่ $I_{DSS} = 7.812 \text{ mA}$, $V_P = -4 \text{ V}$, $V_{GS} = -1.108 \text{ V}$;

$$g_m = \frac{2 \times 7.812 \times 10^{-3}}{|-4|} \left(1 - \frac{-1.108}{-4}\right) = 2.824 \text{ mS}$$

$$Z_{out} = R_{out} = \frac{R_D R_L}{(R_D + R_L)} = \frac{2 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3}{(2 \times 10^3 + 1.5 \times 10^3)} = 857.142 \Omega$$

จากสมการ (2.53) $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -g_m Z_{out} = -(2.824 \times 10^{-3} \times 857.142) = -2.420$

$$Z_{in} = R_{GG} = \frac{750 \times 10^3 \times 47 \times 10^3}{(750 \times 10^3 + 47 \times 10^3)} = 44.228 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (2.53a) $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\frac{V_o}{E_i} \times \frac{Z_{in}}{(R_g + Z_{in})}$

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -\left(2.824 \times 10^{-3} \times 857.142\right) \times \frac{44.228 \times 10^3}{(75 + 44.228 \times 10^3)}$$

$$A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -(2.420 \times 0.998) = -2.415$$

จากสมการ (2.57) $A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle 45^\circ$

$$A_{V(F_L)} = -(0.707 \times 2.415) = -1.707 \angle 45^\circ$$

จากสมการ (2.58a) $A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = 0.707 A_{V(F_{Mid})} \angle -45^\circ$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -(0.707 \times 2.415) \angle -45^\circ$$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -1.707 \angle -45^\circ$$

ตอบ $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_i} = -2.420$, $A_{V(F_{Mid})} = -\frac{V_o}{E_g} = -2.415$, $A_{V(F_L)} = -\frac{V_o}{E_g} = -1.707 \angle 45^\circ$,

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_g} = -1.707 \angle -45^\circ ;$$

2.2.5.9 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเฟต

$$\text{สมการ} \quad \left. \begin{array}{l} V_{DD} < BV_{GSS} \\ V_{DS}I_D < P_D \end{array} \right\} \quad (2.70)$$

ตัวอย่างที่ 2.36 จากรูปที่ 2.32 จงตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของของเฟต

วิธีทำ จากสมการ (2.70) $V_{DD} < |BV_{GSS}|$

$$\therefore 20 \text{ V} < |-25 \text{ V}|$$

$$V_{DS}I_D < P_D$$

$$(9.547 \times 4.083 \times 10^{-3}) < 310 \text{ mW}$$

$$\therefore 38.98 \text{ mW} < 310 \text{ W}$$

ตอบ เฟตไม่เสียหาย

2.2.5.10 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวต้านทาน

เพื่อความปลอดภัยของตัวต้านทาน ในขณะทำงาน จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ตัวต้านทานที่มีค่าทนกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยจะประมาณสูงกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง 2 เท่า

2.2.5.10.1 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_D หรือ P_{R_D} ประมาณได้จากสมการ

$$P_{R_D} = \frac{2(V_{R_D})^2}{R_D} \quad (2.71a)$$

2.2.5.10.2 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_S หรือ P_{R_S} ประมาณได้จากสมการ

$$P_{R_S} = \frac{2(V_{R_S})^2}{R_S} \quad (2.71b)$$

2.2.5.10.3 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_{G1} หรือ $P_{R_{G1}}$ ประมาณได้จากสมการ

$$P_{R_{G1}} = \frac{2(V_{R_{G1}})^2}{R_{G1}} \quad (2.71c)$$

2.2.5.10.4 ค่าทนกำลังไฟฟ้าของ R_{G2} หรือ $P_{R_{G2}}$ ประมาณได้จากสมการ

$$P_{R_{G2}} = \frac{2(V_{R_{G2}})^2}{R_{G2}} \quad (2.71d)$$

ตัวอย่างที่ 2.37 จากรูปที่ 2.32 จงตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวต้านทาน

วิธีทำ จากสมการ (2.71a) $P_{R_D} = 2R_D (I_D)^2 = (2 \times 2 \times 10^3) (4.083 \times 10^{-3})^2 = 66.683 \text{ mW}$

$$R_D = 2 \text{ k}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (2.71b) $P_{R_S} = 2R_S (I_D)^2 = (2 \times 560) (4.083 \times 10^{-3})^2 = 18.671 \text{ mW}$

$$R_S = 560 \text{ }\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (2.44) $V_{R_{G2}} = V_G = \frac{V_{DD} R_{G2}}{(R_{G1} + R_{G2})} = \frac{20 \times 47 \times 10^3}{(750 \times 10^3 + 47 \times 10^3)} = 1.179 \text{ V}$

$$V_{R_{G1}} = V_{DD} - V_{R_{G2}} = 20 - 1.179 = 18.821 \text{ V}$$

จากสมการ (2.71c) $P_{R_{G1}} = \frac{2(V_{R_{G1}})^2}{R_{G1}} = \frac{2(18.821)^2}{750 \times 10^3} = 0.944 \text{ mW}$

$$R_{G1} = 750 \text{ k}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

จากสมการ (2.71d) $P_{R_{G2}} = \frac{2(V_{R_{G2}})^2}{R_{G2}} = \frac{2(1.179)^2}{47 \times 10^3} = 0.05915 \text{ mW}$

$$R_{G2} = 47 \text{ k}\Omega \pm 5\% \text{ เลือกใช้ขนาด } \frac{1}{8} \text{ W (125 mW)}$$

ตอบ จะได้ค่าความต้านทานดังนี้

$$R_D = 2 \text{ k}\Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W}, R_S = 560 \text{ }\Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W};$$

$$R_{G1} = 750 \text{ k}\Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W}, R_{G2} = 47 \text{ k}\Omega \pm 5\% \frac{1}{8} \text{ W};$$

2.2.5.11 การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

โดยจะประมาณค่าสูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมจริง 2 เท่า

2.2.5.11.1 ค่าทนแรงดันกระแสตรงของ C_D ประมาณได้จากสมการ

$$\boxed{V_{C_D} = 2(V_{DS} + V_{R_S})} \quad (2.72a)$$

2.2.5.11.2 ค่าทนแรงดันกระแสตรงของ C_S ประมาณได้จากสมการ

$$\boxed{V_{C_S} = 2(V_{R_S})} \quad (2.72b)$$

2.2.5.11.3 ค่าทนแรงดันกระแสตรงของ C_G ประมาณได้จากสมการ

$$V_{C_G} = 2(V_{R_{G2}}) \quad (2.72c)$$

ตัวอย่างที่ 2.38 จากรูปที่ 2.32 จงตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

วิธีทำ จากสมการ (2.72a) $V_{C_D} = 2(V_{D_S} + V_{R_S}) = 2(9.547 + 2.286) = 23.666 \text{ V}$

$C_D = 47 \text{ pF}$ ชนิดเซรามิก ค่าทนแรงดันกระแสตรง 50 V

จากสมการ (2.72b) $V_{C_S} = 2(V_{R_S}) = 2(2.286) = 4.572 \text{ V}$

$C_S = 0.33 \text{ }\mu\text{F}$ ชนิดแทนทาลัม ค่าทนแรงดันกระแสตรง 16 V

จากสมการ (2.72c) $V_{C_G} = 2(V_{R_{G2}}) = 2(1.178) = 2.356 \text{ V}$

$C_G = 3.9 \text{ pF}$ ชนิดเซรามิก ค่าทนแรงดันกระแสตรง 50 V

ตอบ จะได้ตัวเก็บประจุดังนี้

$C_G = 3.9 \text{ pF}$ 50 V เซรามิก

$C_S = 0.33 \text{ }\mu\text{F}$ 16 V แทนทาลัม

$C_D = 47 \text{ pF}$ 50 V เซรามิก

สรุป

วงจรขยายย่านความถี่สูง โดยใช้ทรานซิสเตอร์ ถูกออกแบบให้ขยายสัญญาณที่ความถี่กลาง เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราขยายกระแสและแรงดันลดลง เนื่องจากผลของ $C_{b'c}$ และ $C_{b'e}$ ในทางตรงกันข้าม การขยายสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่กลาง C_B , C_C และ C_E ทำหน้าที่ควบคุมความถี่ตัดด้านต่ำของวงจร โดยส่วนมากในการออกแบบ จะกำหนดให้ C_B ควบคุม F_L ของวงจร

วงจรขยายย่านความถี่สูง โดยใช้เฟต มีขีดจำกัดทางด้านความถี่สูง ขึ้นอยู่กับ C_{iss} และ C_{rss} ทางด้านความถี่ต่ำ ก็เช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์

นอกจากค่า $C_{b'c}$, $C_{b'e}$, C_{iss} และ C_{rss} แล้วยังมีปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณกระแสคอลเล็กเตอร์, กระแสเดรน และค่าความต้านทานโหลด ถ้าหากปริมาณดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่า C_T มีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้ค่า F_H ของวงจรลดลง

เพียแเพร์!