

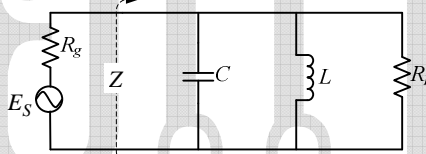
## บทที่ 3 วงจรขยายจูน

วงจรขยายจูน ทำหน้าที่ ขยายแรงดันของสัญญาณที่ได้รับการคัดเลือก (จูน) เข้ามาให้สูงขึ้น และต้องตอบสนองแบนด์วิดท์ของสัญญาณด้วย

เนื้อหาครอบคลุมวงจรจูน  $R-L-C$  แบบขนาน, หม้อแปลง, การวิเคราะห์ และการออกแบบ วงจรขยายจูนโดยใช้ทรานซิสเตอร์คัมเบิลจูน และวงจรขยายจูนโดยใช้พีโซเซรามิกฟิลเตอร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากในการคัดเลือกสัญญาณ และนิยมใช้ในปัจจุบัน

### 3.1 วงจรจูน $R-L-C$ แบบขนาน

#### 3.1.1 ค่าความถี่เรโซแนนซ์และอิมพีแดนซ์



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรจูน  $R-L-C$  แบบขนาน

จากรูปที่ 3.1 สามารถเขียนสมการได้

$$Z = \frac{1}{G + \frac{1}{J\omega L} + J\omega C} \quad (3.1)$$

เมื่อวงจรเกิดการเรโซแนนซ์จำนวนจินตภาพ  $\left(\frac{1}{J\omega L} + J\omega C\right)$  เท่ากับ  $0 \Omega$  และ  $Z_{FR}$

คือ อิมพีแดนซ์ที่ความถี่เรโซแนนซ์

$$Z_{FR} = \frac{1}{G} = R_L \quad (3.1a)$$

สามารถหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรได้จากสมการ

$$\frac{1}{J\omega L} + J\omega C = 0$$

นำ  $J\omega L$  คูณตลอด

$$1 + J^2\omega^2 CL = 0$$

$$1 - \omega^2 CL = 0$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

เนื่องจาก  $\omega$  เท่ากับ  $2\pi F_R$  โดยที่  $F_R$  คือ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรจูน

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

ณ ที่ความถี่ตัดด้านสูง เป็นค่าความถี่ที่ทำให้  $\left(\frac{1}{J\omega L} + J\omega C\right)$  มีค่าเท่ากับ  $G$  โดยที่  $J\omega C$  มีค่ามากกว่า  $\frac{1}{J\omega L}$  ดังนั้นผลรวมของ  $\left(\frac{1}{J\omega L} + J\omega C\right)$  เท่ากับ  $JG$  และ  $Z_{FH}$  เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรขณะได้รับความถี่ตัดด้านสูง ดังนั้น

$$Z_{FH} = \frac{1}{G + JG} = \frac{1}{\sqrt{G^2 + G^2} \tan^{-1} \frac{G}{G}} = \frac{1}{\sqrt{2}G \angle 45^\circ}$$

$$Z_{FH} = 0.707R_L \angle -45^\circ \quad (3.1c)$$

ณ ที่ความถี่ตัดด้านต่ำ จะทำให้  $\left(\frac{1}{J\omega L} + J\omega C\right)$  มีค่าเท่ากับ  $G$  โดยที่  $\frac{1}{J\omega L}$  มีค่ามากกว่า  $J\omega C$  ทำให้ผลรวมของ  $\left(\frac{1}{J\omega L} + J\omega C\right)$  เท่ากับ  $-JG$  เนื่องจาก  $\frac{1}{J\omega L}$  เท่ากับ  $\frac{-J}{\omega L}$  และ  $Z_{FL}$  เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรขณะได้รับความถี่ตัดด้านต่ำ

$$Z_{FL} = \frac{1}{G - JG} = \frac{1}{\sqrt{G^2 + G^2} \tan^{-1} \frac{-G}{G}} = \frac{1}{\sqrt{2}G \angle -45^\circ}$$

$$Z_{FL} = 0.707R_L \angle 45^\circ \quad (3.1d)$$

### 3.1.2 ค่าตัวประกอบคุณภาพ (Q)

ค่าตัวประกอบคุณภาพ หรือค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ วงจรจูนแบบขนาน จากรูปที่ 3.1 สามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$Q = \frac{E^2_S / X_L}{E^2_S / R} = \frac{E^2_S}{X_L} \times \frac{R}{E^2_S} = \frac{R}{X_L} = \frac{R}{\omega L} \quad (3.1e)$$

$$Q = \frac{E^2_S / X_C}{E^2_S / R} = \frac{E^2_S}{X_C} \times \frac{R}{E^2_S} = \frac{R}{X_C} = \omega CR \quad (3.1f)$$

โดยที่  $Q$  คือ ค่าตัวประกอบคุณภาพของวงจรจูนแบบขนาน  
 $E_S$  และ  $R_g$  คือ แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และค่าความต้านทานด้านออกของ  $E_S$   
 $X_L$  และ  $X_C$  คือ ค่ารีแอกแตนซ์ของ  $L$  และ  $C$   
 $R$  คือ ค่าความต้านทานที่เสนอต่อ  $L$  หรือ  $C$  เมื่อลัดวงจร  $E_S$   
 $\omega$  คือ ค่าความถี่เชิงมุม ( $2\pi F$ )

### 3.1.3 ค่าแบนด์วิดท์

จากรูปที่ 3.1 สามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$B_W = \frac{F_R}{Q} = \frac{F_R}{\omega CR} = \frac{1}{2\pi CR} \quad (3.2)$$

โดยที่  $B_W$  คือ ค่าแบนด์วิดท์ของวงจรจูนแบบขนาน  
 $R$  คือ ค่าความต้านทานที่เสนอต่อ  $L$  หรือ  $C$  เมื่อลัดวงจร  $E_S$  มีค่าเท่ากับ  $(R_g \parallel R_L)$

### 3.1.4 ความถี่ตัดด้านสูงและด้านต่ำ

จากรูปที่ 3.1 สามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$F_H = F_R + \frac{B_W}{2} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1}{\sqrt{LC}} + \frac{1}{2RC} \right) \quad (3.2a)$$

$$F_L = F_R - \frac{B_W}{2} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1}{\sqrt{LC}} - \frac{1}{2RC} \right) \quad (3.2b)$$

**ตัวอย่างที่ 3.1** จากรูปที่ 3.1 กำหนดให้  $R_L = 10 \text{ k}\Omega$  และ  $R_g = 75 \text{ }\Omega$  ให้ประมาณค่า

ก. ค่าของ  $C$  สำหรับแบนด์วิดท์ 200 kHz    ข. ค่าของ  $L$  ขณะเรโซแนนซ์ที่ 10 MHz

**วิธีทำ** ก. ค่าของ  $C$  สำหรับแบนด์วิดท์ 200 kHz

จากสมการ (3.2)

$$B_W = \frac{1}{2\pi CR}$$

$$C = \frac{1}{2\pi RB_W}$$

เนื่องจาก  $B_W = 200 \text{ kHz}$ ,  $R = \frac{R_g R_L}{(R_g + R_L)} = \frac{75 \times 10 \times 10^3}{(75 + 10 \times 10^3)} = 74.441 \text{ }\Omega$ ;

$$C = \frac{1}{2\pi RB_W} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 74.441 \times 200 \times 10^3} = 10.695 \text{ nF}$$

**ตอบ**  $C = 10.695 \text{ nF}$

ข. ค่าของ  $L$  ขณะเรโซแนนซ์ที่ 10 MHz

จากสมการ (3.1b)

$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\sqrt{LC} = \frac{1}{2\pi F_R}, LC = \frac{1}{(2\pi F_R)^2}, L = \frac{1}{C(2\pi F_R)^2};$$

เนื่องจาก  $C = 10.695 \text{ nF}$ ,  $F_R = 10 \text{ MHz}$ ;

$$L = \frac{1}{C(2\pi F_R)^2} = \frac{1}{10.695 \times 10^{-9} (2 \times 3.14 \times 10^6)^2} = 23.708 \text{ nH}$$

**ตอบ**  $L = 23.708 \text{ nH}$

ตัวอย่างที่ 3.2 ให้นำค่า  $R_L$ ,  $L$  และ  $C$  จากตัวอย่างที่ 3.1 มาประมาณค่า

ก. อิมพีแดนซ์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ( $Z_{FR}$ )

ข. อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ตัดด้านสูง ( $Z_{FH}$ ) ค. อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ตัดด้านต่ำ ( $Z_{FL}$ )

วิธีทำ ก. ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ( $Z_{FR}$ )

จากสมการ (3.1)

$$Z = \frac{1}{G + \frac{1}{J\omega L} + J\omega C}$$

โดยที่  $L = 23.708 \text{ nH}$ ,  $C = 10.695 \text{ nF}$ ,  $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ ;

$$G = \frac{1}{R_L} = \frac{1}{10 \times 10^3} = 100 \times 10^{-6} \text{ S}$$

$$\frac{1}{J\omega L} = \frac{1}{J(2 \times 3.14 \times 10^6 \times 23.708 \times 10^{-9})} = \frac{1}{J(1.48886)} \text{ S}$$

$$J\omega C = J(2 \times 3.14 \times 10^6 \times 10.695 \times 10^{-9}) = J(671.646 \times 10^{-3}) \text{ S}$$

$$Z = \frac{1}{100 \times 10^{-6} + \frac{1}{J(1.48886)} + J(671.646 \times 10^{-3})}$$

$$Z = \frac{1}{100 \times 10^{-6} - J(671.65 \times 10^{-3}) + J(671.65 \times 10^{-3})}$$

$$Z_{FR} = Z = R_L = \frac{1}{100 \times 10^{-6}} = 10 \text{ k}\Omega$$

**ตอบ**  $Z_{FR} = 10 \text{ k}\Omega$

ข. ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ตัดด้านสูง ( $Z_{FH}$ )

จากสมการ (3.1c)

$$Z_{FH} = 0.707R_L \angle -45^\circ = 0.707 \times 10 \times 10^3 = 7.07 \angle -45^\circ \text{ k}\Omega$$

**ตอบ**  $Z_{FH} = 7.07 \angle -45^\circ \text{ k}\Omega$

## 3. วงจรขยายจูน

ก. ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ตัดด้านต่ำ ( $Z_{FL}$ )

จากสมการ (3.1b) 
$$Z_{FL} = 0.707R_L \angle 45^\circ = 0.707 \times 10 \times 10^3 = 7.07 \angle 45^\circ \text{ k}\Omega$$

**ตอบ**  $Z_{FL} = 7.07 \angle 45^\circ \text{ k}\Omega$

**ตัวอย่างที่ 3.3** ให้นำค่าจากตัวอย่างที่ 3.2 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่

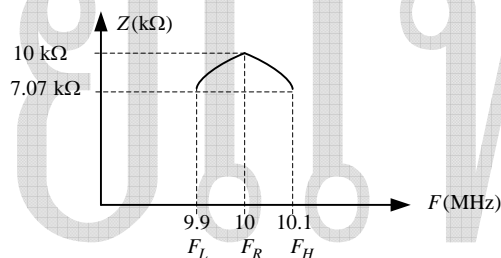
**วิธีทำ**

$$F_R = 10 \text{ MHz}$$

จากสมการ (3.2a) 
$$F_H = F_R + \frac{B_W}{2} = 10 \times 10^6 + \frac{200 \times 10^3}{2} = 10.1 \text{ MHz}$$

จากสมการ (3.2b) 
$$F_L = F_R - \frac{B_W}{2} = 10 \times 10^6 - \frac{200 \times 10^3}{2} = 9.9 \text{ MHz}$$

**ตอบ**  $F_L = 9.9 \text{ MHz}, F_H = 10.1 \text{ MHz};$



รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ของวงจร

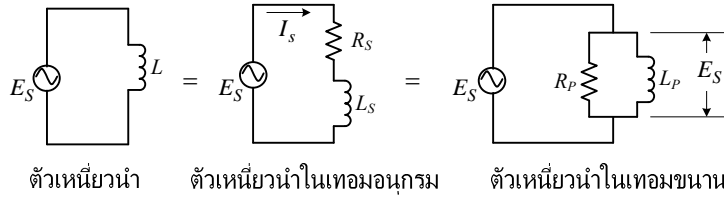
### 3.2 การวัดความเหนี่ยวนำและตัวประกอบคุณภาพของตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำสามารถถูกแทนด้วย  $R_p$  ต่อขนานกับ  $L_p$  เป็นการแสดงตัวเหนี่ยวนำในเทอมขนาน หรือถูกแทนด้วย  $R_s$  ต่ออนุกรมกับ  $L_s$  เป็นการแสดงตัวเหนี่ยวนำในเทอมของอนุกรม ซึ่งในเทอมขนาน  $R_p$  จะมีผลต่อแบนด์วิดท์ของวงจร เราจะต้องควบคุมแบนด์วิดท์ของวงจรให้ได้ ในการวัดจะใช้บริดจ์มีเตอร์ หรือ  $Q$  มิเตอร์ จะแสดงผลในเทอมของ  $Q_s, L_s$  และ  $R_s$  หรือ  $Q_p, L_p$  และ  $R_p$  ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และจะได้สมการ

$$Q_s = \frac{(I_s)^2 X_{L_s}}{(I_s)^2 R_s} = \frac{X_{L_s}}{R_s} = \frac{\omega L_s}{R_s} \quad (3.3)$$

$$Q_P = \frac{(E_S)^2 / X_{L_P}}{(E_S)^2 / R_P} = \frac{R_P}{X_{L_P}} = \frac{R_P}{\omega L_P} \tag{3.4}$$

โดยที่  $Q_S$  และ  $Q_P$  คือ ตัวประกอบคุณภาพของตัวเหนี่ยวนำในเทอมอนุกรม และขนาน ตามลำดับ



ตัวเหนี่ยวนำ      ตัวเหนี่ยวนำในเทอมอนุกรม      ตัวเหนี่ยวนำในเทอมขนาน

รูปที่ 3.3 แสดงตัวเหนี่ยวนำในเทอมต่าง ๆ

เมื่อ  $Q_S$  และ  $Q_P$  มีค่ามากกว่า 10 จะทำให้  $Q_S = Q_P$

$$Q = Q_S = Q_P = \frac{X_{L_S}}{R_S} = \frac{R_P}{X_{L_P}}$$

$$Q = \frac{\omega L_S}{R_S} = \frac{R_P}{\omega L_P}$$

$$\omega L_S = QR_S$$

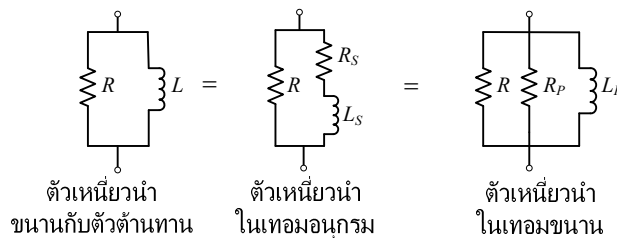
$$\omega L_P = \frac{R_P}{Q}$$

เนื่องจาก  $L_S = L_P$  จะทำให้  $\omega L_S = \omega L_P$

$$QR_S = \frac{R_P}{Q}, R_S = \frac{R_P}{Q^2}, R_P = Q^2 R_S; \tag{3.5}$$

โดยที่  $Q$  คือ ค่าตัวประกอบคุณภาพของตัวเหนี่ยวนำมีค่า มากกว่า 10

เมื่อนำตัวต้านทานขนานกับตัวเหนี่ยวนำ ตัวประกอบคุณภาพ ที่ได้จะถูกเรียก  $Q_L$  ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าค่า  $Q_S$  หรือ  $Q_P$



ตัวเหนี่ยวนำขนานกับตัวต้านทาน      ตัวเหนี่ยวนำในเทอมอนุกรม      ตัวเหนี่ยวนำในเทอมขนาน

รูปที่ 3.4 แสดงตัวเหนี่ยวนำขนานกับตัวต้านทานในเทอมต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.4 ตัวเหนี่ยวนำในเทอมขนานสามารถเขียนสมการได้

$$Q_L = \frac{(R \parallel R_p)}{\omega L_p} = \frac{R R_p}{(R + R_p) \omega L_p} \quad (3.5a)$$

โดยที่  $Q_L$  คือ ค่าตัวประกอบคุณภาพของตัวเหนี่ยวนำเมื่อนำ  $R$  ขนาน  $L$

**ตัวอย่างที่ 3.4** จากรูปที่ 3.4  $R_S = 6.28 \Omega$ ,  $L_S = 100 \text{ mH}$ ,  $Q_S = 100$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ; จงประมาณค่า  $Q_L$

**วิธีทำ** จากสมการ (3.5)  $R_S = \frac{R_p}{Q^2}$ ,  $R_p = Q^2 R_S$ ;

$$R_p = Q^2 R_S = (100)^2 \cdot 6.28 = 62.8 \text{ k}\Omega$$

เนื่องจาก  $Q_S > 10$  ทำให้  $L_S = L_p$

$$L_S = L_p = 100 \text{ mH}$$

จากสมการ (3.3)  $Q_S = \frac{\omega L_S}{R_S}$

$$\omega = \frac{Q_S R_S}{L_S}$$

$$F = \frac{Q_S R_S}{2\pi L_S} = \frac{100 \times 6.28}{2 \times 3.14 \times 100 \times 10^{-3}} = 1,000 \text{ Hz}$$

จากสมการ (3.5a)

$$Q_L = \frac{(R \parallel R_p)}{\omega L_p} = \frac{R R_p}{\omega L_p (R + R_p)}$$

$$Q_L = \frac{1 \times 10^3 \times 62.8 \times 10^3}{(2 \times 3.14 \times 1,000 \times 100 \times 10^{-3})(1 \times 10^3 + 62.8 \times 10^3)}$$

$$Q_L = 1.567$$

**ตอบ**  $Q_L = 1.567$

### 3.3 หม้อแปลง

อินดักแตนซ์มีเตอร์ เป็นเครื่องวัด สำหรับวัดการคล้องของฟลักซ์ (Flux Linkage) ที่ผลิตโดยขดปฐมภูมิ เมื่อมีไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่าน และสามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$L = C \mu N^2 \quad (3.6)$$

โดยที่  $C$  คือ ค่าคงที่ทางเรขาคณิตของตัวเหนี่ยวนำ

$\mu$  คือ ค่าความซบซึ่มได้ (Permeability) ของวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า

$N$  คือ จำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำ (T)

หม้อแปลงในอุดมคติ ถือว่า  $C$  และ  $\mu$  ของขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิ เท่ากันทุกประการ

$$\frac{L_P}{L_S} = \frac{C\mu N_P^2}{C\mu N_S^2} \quad \text{หรือ} \quad \frac{L_P}{L_S} = \frac{N_P^2}{N_S^2} \quad (3.7)$$

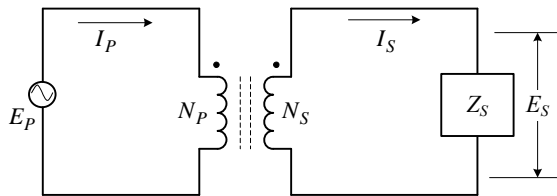
หม้อแปลงบางตัวแกนสามารถหมุนปรับแต่งได้ วัสดุที่ใช้ทำแกนจะเป็นสารแม่เหล็ก (คูดติด) ได้แก่ แกนเหล็กอ่อน, พงเหล็กอัด หรือแกนเฟอร์ไรต์ แกนพวกนี้จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มมากขึ้น และแกนจำพวกแม่เหล็กไม่สามารถคูดติด ได้แก่ เงิน, ทองเหลือง, ทอง และอลูมิเนียม พวกนี้จะลดค่าความเหนี่ยวนำลง

สำหรับหม้อแปลงในอุดมคติ มีแรงดันตกคร่อมขดปฐมภูมิ ( $E_P$ ) ต่อจำนวนรอบ ของขดปฐมภูมิ ( $N_P$ ) เท่ากับ แรงดันตกคร่อมขดทุติยภูมิ ( $E_S$ ) ต่อจำนวนรอบขดทุติยภูมิ ( $N_S$ ) เนื่องจากใช้ฟลักซ์ (สนามแม่เหล็กไฟฟ้า) เดียวกัน

$$\frac{E_P}{N_P} = \frac{E_S}{N_S} \quad (3.8)$$

ผลคูณของกระแส (กระแสสลับ) ไหลผ่านขดปฐมภูมิ ( $I_P$ ) กับจำนวนรอบของขดปฐมภูมิ เท่ากับผลคูณของกระแส ที่ไหลผ่านขดทุติยภูมิ ( $I_S$ ) กับจำนวนรอบของขดทุติยภูมิ

$$I_P N_P = I_S N_S \quad (3.9)$$



รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดัน, กระแส กับจำนวนรอบ

จากรูปที่ 3.5 สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังนี้

จากสมการ (3.8) 
$$\frac{E_P}{N_P} = \frac{E_S}{N_S}$$

จากสมการ (3.9) 
$$I_P N_P = I_S N_S$$



## 3. วงจรขยายงาน

สมการ (3.8) หารด้วยสมการ (3.9)

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

$$\frac{E_P}{N_P} \times \frac{1}{I_P N_P} = \frac{E_S}{N_S} \times \frac{1}{I_S N_S}$$

$$\frac{E_P}{I_P N_P^2} = \frac{E_S}{I_S N_S^2}$$

เนื่องจาก ค่าอิมพีแดนซ์ที่เสนอต่อขดปฐมภูมิ ( $Z_P$ ) เท่ากับ  $\frac{E_P}{I_P}$  และอิมพีแดนซ์ที่เสนอต่อขดทุติยภูมิ ( $Z_S$ ) เท่ากับ  $\frac{E_S}{I_S}$

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

**ตัวอย่างที่ 3.5** จากรูปที่ 3.5  $E_P = 100 \text{ V}$ ,  $N_P = 100 \text{ T}$ ,  $N_S = 20 \text{ T}$  และ  $Z_S = 100 \Omega$  จงประมาณค่า

ก.  $E_S$ ,  $I_S$  และ  $I_P$  ข.  $E_P I_P$ ,  $E_S I_S$ ; ค.  $Z_P$

**วิธีทำ** ก.  $E_S$ ,  $I_S$  และ  $I_P$

จากสมการ (3.8)

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

$$E_S = \frac{E_P N_S}{N_P} = \frac{100 \times 20}{100} = 20 \text{ V}$$

$$I_S = \frac{E_S}{Z_S} = \frac{20}{100} = 0.2 \text{ A}$$

จากสมการ (3.9)

$$I_P N_P = I_S N_S$$

$$I_P = \frac{I_S N_S}{N_P} = \frac{0.2 \times 20}{100} = 40 \text{ mA}$$

**ตอบ**  $E_S = 20 \text{ V}$ ,  $I_S = 0.2 \text{ A}$ ,  $I_P = 40 \text{ mA}$ ;

ข.  $E_P I_P$ ,  $E_S I_S$ ;

$$E_P I_P = 100 \times 0.04 = 4 \text{ VA}$$

$$E_S I_S = 20 \times 0.2 = 4 \text{ VA}$$

**ตอบ**  $E_P I_P = E_S I_S = 4 \text{ VA}$

3. วงจรขยายจูน

ค.  $Z_P$  จากสมการ (3.10)

$$Z_P = \frac{Z_S N_P^2}{N_S^2} = \frac{100(100)^2}{(20)^2} = 2,500 \Omega$$

**ตอบ  $Z_P = 2,500 \Omega$**

ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ ต่อรอบ ในรูปแบบของตัวเก็บประจุ

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

แทนค่า  $X_{C_P}$  ลงใน  $Z_P$  และ  $X_{C_S}$  ลงใน  $Z_S$

$$\frac{X_{C_P}}{N_P^2} = \frac{X_{C_S}}{N_S^2}$$

เนื่องจาก  $X_{C_P}$  เท่ากับ  $\frac{1}{\omega C_P}$  และ  $X_{C_S}$  เท่ากับ  $\frac{1}{\omega C_S}$

$$\frac{\frac{1}{\omega C_P}}{N_P^2} = \frac{\frac{1}{\omega C_S}}{N_S^2}$$

$$\frac{1}{\omega C_P N_P^2} = \frac{1}{\omega C_S N_S^2}$$

นำ  $\omega$  คูณตลอด

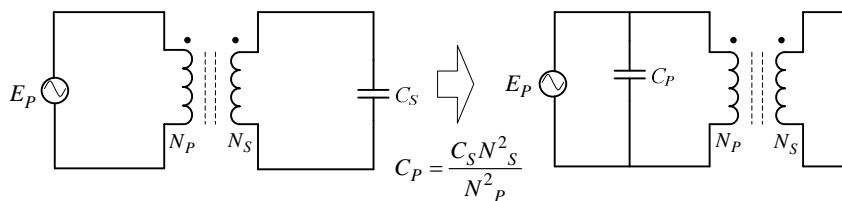
$$\frac{1}{C_P N_P^2} = \frac{1}{C_S N_S^2}$$

$$\boxed{C_P N_P^2 = C_S N_S^2} \tag{3.11}$$

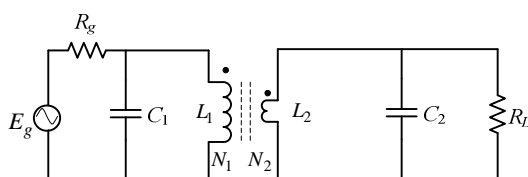
โดยที่  $C_P$  คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ขดปฐมภูมิ

$C_S$  คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ขดทุติยภูมิ

จากรูปที่ 3.6 เป็นการย้าย  $C_S$  เสนอต่อ  $E_P$  ที่ขดปฐมภูมิ ดังนั้นค่าของ  $C_S$  จะกลายเป็น  $C_P$  และประมาณค่าได้จากสมการ (3.11)



รูปที่ 3.6 แสดงการย้าย  $C_S$  เสนอต่อ  $E_P$  ที่ขดปฐมภูมิ



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรจูนที่ใช้หม้อแปลง

**ตัวอย่างที่ 3.6** จากรูปที่ 3.7  $C_1 = 2.15 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 70 \text{ pF}$ ,  $R_g = R_L = 75 \text{ } \Omega$ ,  $L_1 = 112.58 \text{ nH}$ ,  $N_1 = 10 \text{ T}$ ,  
 $N_2 = 2 \text{ T}$ ; จงประมาณค่า

ก. ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร และ เขียนวงจรสมมูลของวงจรจูนที่เสนอต่อ  $E_g$

ข. แบนด์วิดท์ของวงจร

**วิธีทำ** ก. ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร

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

โดยที่  $L = L_1 = 112.58 \text{ nH}$

$$C = C_1 + C_{2P} = (2.15 \times 10^{-9} + 2.8 \times 10^{-12}) = 2,152.8 \text{ pF}$$

$$F_R = \frac{1}{(2 \times 3.14) \sqrt{(112.58 \times 10^{-9} \times 2,152.8 \times 10^{-12})}}$$

$$F_R = 10.228 \text{ MHz}$$

**ตอบ**  $F_R = 10.228 \text{ MHz}$

ย้าย  $C_2$  เสนอต่อ  $E_g$  จาก  $C_2$  เปลี่ยนเป็น  $C_{2P}$  จากสมการ (3.11)

$$C_S N_S^2 = C_P N_P^2, C_P = \frac{C_S N_S^2}{N_P^2};$$

โดยที่  $C_P = C_{2P}$ ,  $C_S = C_2 = 70 \text{ pF}$ ,  $N_P = N_1 = 10 \text{ T}$ ,  $N_S = N_2 = 2 \text{ T}$ ;

$$C_{2P} = \frac{C_2 N_2^2}{N_1^2} = \frac{70 \times 10^{-12} (2)^2}{(10)^2} = 2.8 \text{ pF}$$

ย้าย  $R_L$  เสนอต่อ  $E_g$  จาก  $R_L$  เปลี่ยนเป็น  $R_{LP}$  จากสมการ (3.10)

$$\frac{Z_P}{N_P^2} = \frac{Z_S}{N_S^2}$$

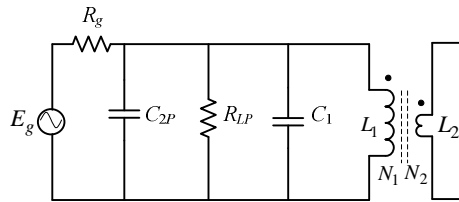
$$Z_P = \frac{Z_S N_P^2}{N_S^2}$$

โดยที่  $Z_P = R_{LP}$ ,  $Z_S = R_L = 75 \text{ } \Omega$ ,  $N_P = N_1 = 10 \text{ T}$ ,  $N_S = N_2 = 2 \text{ T}$ ;

3. วงจรขยายจูน

$$R_{LP} = \frac{R_L N_1^2}{N_2^2} = \frac{75(10)^2}{(2)^2} = 1,875 \Omega$$

เขียนวงจรสมมูลของวงจรจูนที่เสนอต่อ  $E_g$



$C_{2P} = 2.8 \text{ pF}, R_{LP} = 1.875 \text{ k}\Omega, C_1 = 2.15 \text{ nF}$  และ  $L_1 = 112.54 \text{ nH}$

รูปที่ 3.8 แสดงวงจรสมมูลของวงจรจูนที่เสนอต่อ  $E_g$

ข. แบนด์วิดท์ของวงจร

จากสมการ (3.2)

$$B_W = \frac{1}{2\pi CR}$$

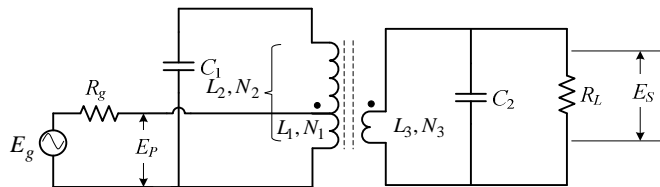
โดยที่  $C = C_1 + C_{2P} = 2,152.8 \text{ pF}, R = (R_{LP} \parallel R_g) = \frac{1.875 \times 75}{1.875 + 75} = 72.115 \Omega;$

$$B_W = \frac{1}{2\pi R(C_1 + C_{2P})} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 72.115 \times 2,152.8 \times 10^{-12}}$$

$$B_W = 1.025 \text{ MHz}$$

ตอบ  $B_W = 1.025 \text{ MHz}$

### 3.4 หม้อแปลงที่ถูกแท็ป (Tapped Transformer)



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรจูนที่ใช้หม้อแปลงที่ถูกแท็ป

จากรูปที่ 3.9 ตัวเหนี่ยวนำ  $L_2$  นั้นถูกแท็ปออกเป็นตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  ซึ่งตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  เป็นขดปฐมภูมิ ตัวเหนี่ยวนำ  $L_2$  และ  $L_3$  เป็นขดทุติยภูมิ

ตัวอย่างที่ 3.7 จากรูปที่ 3.9 กำหนด  $L_1 = 100.925 \text{ nH}, L_2 = 403.7 \text{ nH}, L_3 = 16.148 \text{ nH}, N_1 = 5 \text{ T},$

$N_2 = 10 \text{ T}, N_3 = 2 \text{ T}, C_1 = 600 \text{ pF}, C_2 = 70 \text{ pF}, R_g = R_L = 75 \Omega;$  จงประมาณค่า

## 3. วงจรขยายจูน

ก. ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร และเขียนวงจรสมมูลของวงจรจูนที่เสถียรต่อ  $E_g$

ข. แบนด์วิดท์ของวงจร

ค.  $V_{R_L}$  เมื่อ  $E_g = 5$  V<sub>p-p</sub> (ขณะที่เกิดการเรโซแนนซ์)

วิธีทำ ก. ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร และเขียนวงจรสมมูลของวงจรจูนที่เสถียรต่อ  $E_g$

ย้าย  $C_2$  เสถียรต่อ  $E_g$  จาก  $C_2$  เปลี่ยนเป็น  $C_{2P}$  จากสมการ (3.11)

$$C_S N_S^2 = C_P N_P^2, C_P = \frac{C_S N_S^2}{N_P^2};$$

โดยที่  $C_P = C_{2P}, C_S = C_2 = 70$  pF,  $N_P = N_1 = 5$  T,  $N_S = N_3 = 2$  T;

$$C_{2P} = \frac{C_2 N_3^2}{N_1^2} = \frac{70 \times 10^{-12} (2)^2}{(5)^2} = 11.2 \text{ pF}$$

ย้าย  $R_L$  เสถียรต่อ  $E_g$  จาก  $R_L$  เปลี่ยนเป็น  $R_{LP}$  จากสมการ (3.10)

$$\frac{Z_P}{N_P^2} = \frac{Z_S}{N_S^2}, Z_P = \frac{Z_S N_P^2}{N_S^2};$$

โดยที่  $Z_P = R_{LP}, Z_S = R_L = 75 \Omega, N_P = N_1 = 5$  T,  $N_S = N_3 = 2$  T;

$$R_{LP} = \frac{R_L N_1^2}{N_3^2} = \frac{75 (5)^2}{(2)^2} = 468.75 \Omega$$

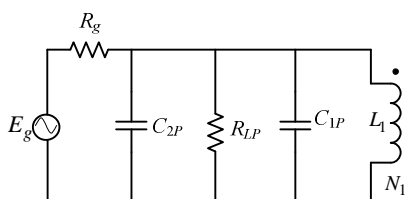
ย้าย  $C_1$  เสถียรต่อ  $E_g$  จาก  $C_1$  เปลี่ยนเป็น  $C_{1P}$  จากสมการ (3.11)

$$C_S N_S^2 = C_P N_P^2, C_P = \frac{C_S N_S^2}{N_P^2};$$

โดยที่  $C_P = C_{1P}, C_S = C_2 = 600$  pF,  $N_P = N_1 = 5$  T,  $N_S = N_2 = 10$  T;

$$C_{1P} = \frac{C_1 N_2^2}{N_1^2} = \frac{600 \times 10^{-12} (10)^2}{(5)^2} = 2.4 \text{ nF}$$

เขียนวงจรสมมูลของวงจรจูนที่เสถียรต่อ  $E_g$



$$C_{2P} = 11.2 \text{ pF}, R_{LP} = 468.75 \Omega, C_{1P} = 2.4 \text{ nF}, L_1 = 100.925 \text{ nH};$$

รูปที่ 3.10 แสดงวงจรสมมูลของวงจรจูนที่เสถียรต่อ  $E_g$

## 3. วงจรขยายจูน

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

โดยที่  $L = L_1 = 100.925 \text{ nH}$

$$C = C_{1P} + C_{2P} = (2.4 \times 10^{-9} + 11.2 \times 10^{-12}) = 2.4112 \times 10^{-9} = 2,411.2 \text{ pF}$$

$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1(C_{1P} + C_{2P})}}$$

$$F_R = \frac{1}{(2 \times 3.14) \sqrt{(100.9 \times 10^{-9} \times 2,411.2 \times 10^{-12})}}$$

$$F_R = 10.208 \text{ MHz}$$

**ตอบ  $F_R = 10.208 \text{ MHz}$**

ข. แบนด์วิดท์ของวงจร

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

โดยที่  $C = C_{1P} + C_{2P} = 2,411.2 \text{ pF}$ ,  $R = (R_{LP} \parallel R_g) = \frac{R_{LP}R_g}{R_{LP} + R_g} = \frac{468.75 \times 75}{468.75 + 75} = 64.655 \text{ } \Omega$ ;

$$B_W = \frac{1}{2\pi R(C_{1P} + C_{2P})} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 64.655 \times 2,411.2 \times 10^{-12}}$$

$$B_W = 1.021 \text{ MHz}$$

**ตอบ  $B_W = 1.021 \text{ MHz}$**

ค.  $V_{RL}$  เมื่อ  $E_g = 5 \text{ V}_{p-p}$  (ขณะที่เกิดการเรโซแนนซ์)

จากสมการ (3.8) 
$$E_S = \frac{E_P N_S}{N_P}$$

โดยที่  $E_S = V_{RL}$ ,  $N_P = N_1 = 5 \text{ T}$ ,  $N_S = N_3 = 2 \text{ T}$ ;

$$E_P = \frac{E_g R_{LP}}{R_g + R_{LP}} = \frac{5 \times 468.75}{75 + 468.75} = 4.310 \text{ V}_{p-p}$$

$$V_{RL} = \frac{E_P N_3}{N_1} = \frac{4.310 \times 2}{5} = 1.724 \text{ V}_{p-p}$$

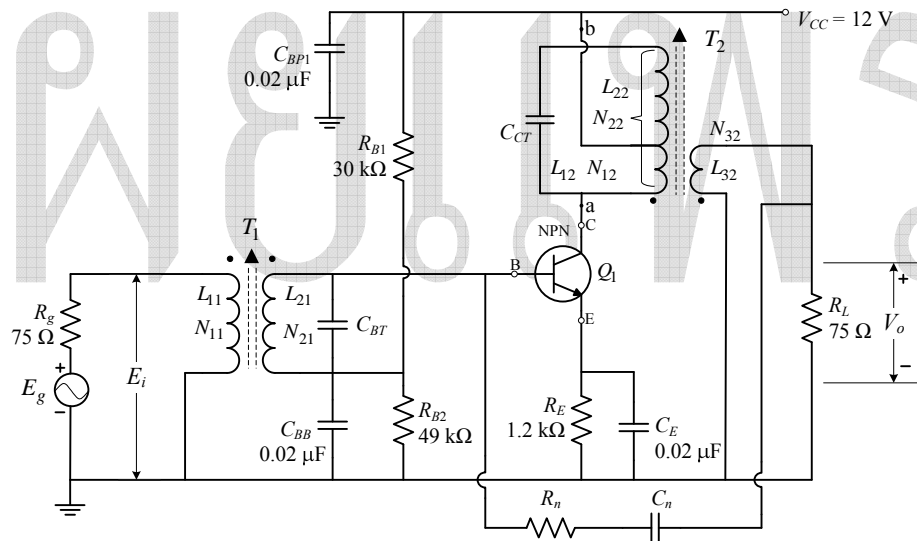
**ตอบ  $V_{RL} = 1.724 \text{ V}_{p-p}$**

### 3.5 วงจรขยายจูนโดยใช้ทรานซิสเตอร์ดับเบิลจูน

จากรูปที่ 3.11 สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้ :-

3. วงจรขยายจูน

- $Q_1$  ทำหน้าที่ ขยายแรงดันสัญญาณที่ผ่านการจูนของ  $T_1$  ออกทางคาคอลเล็กเตอร์ ป้อนให้แก่  $T_2$  และ  $T_2$  จูนสัญญาณทางออกอีกครั้งหนึ่ง
- $T_1$  ทำหน้าที่ เชื่อมต่อสัญญาณ  $E_g$  และคัดเลือกสัญญาณ ที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรจูน  $T_1$  ป้อนเข้าขาเบส  $Q_1$
- $T_2$  ทำหน้าที่ เชื่อมต่อสัญญาณที่ได้รับการขยายแรงดันออกทางคาคอลเล็กเตอร์ ป้อนให้แก่  $R_L$  และคัดเลือกสัญญาณที่มีความถี่ตรงกับ ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรจูน  $T_2$
- $C_E$  ทำหน้าที่ บายพาสส์ หรือเป็นทางผ่านของสัญญาณจากขาอิมิตเตอร์ ลงกราวด์
- $C_{BB}$  และ  $C_{BP2}$  ทำหน้าที่ บายพาสส์ หรือเป็นทางผ่านของสัญญาณลงกราวด์
- $R_g$  ทำหน้าที่ ความต้านทานภายในของ  $E_g$  มีค่าประมาณ 50  $\Omega$ , 75  $\Omega$  และ 600  $\Omega$
- $R_n$  และ  $C_n$  ทำหน้าที่ วงจรทำให้เป็นกลาง แก่ผลของ  $C_{b'c}$  ทำให้ใช้งานทรานซิสเตอร์ ในย่านความถี่สูงได้สูงกว่าความถี่  $F_\beta$  ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



$V_{BE} = 0.6 \text{ V}, C_{ob} = 0.5 \text{ pF}, F_T = 6 \text{ GHz}, r_{bb'} = 5 \text{ } \Omega, \beta_F = 120, C_{CT} = 20 \text{ pF},$

$C_{BT} = 25 \text{ pF}, T_A = 25^\circ \text{ C}, L_{11} = 1 \text{ } \mu\text{H}, L_{21} = 1 \text{ } \mu\text{H}, N_{11} : N_{21} = 1 : 1,$

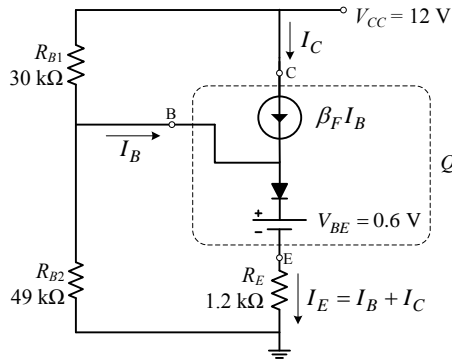
$L_{22} = 1.5 \text{ } \mu\text{H}, L_{12} = 375 \text{ nH}, L_{32} = 15 \text{ nH}, N_{22} : N_{12} : N_{32} = 10 : 5 : 1;$

รูปที่ 3.11 แสดงวงจรขยายจูนโดยใช้ทรานซิสเตอร์ดับเบิลจูน

3.5.1 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 3.11 สามารถเขียนวงจรไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อประมาณค่าจุดทำงาน  $I_B, I_C$  และ  $V_{CE}$  ของทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.12

3. วงจรขยายจูน



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของวงจรรูปที่ 3.11

จากรูปที่ 3.13 จากสมการ (2.3)

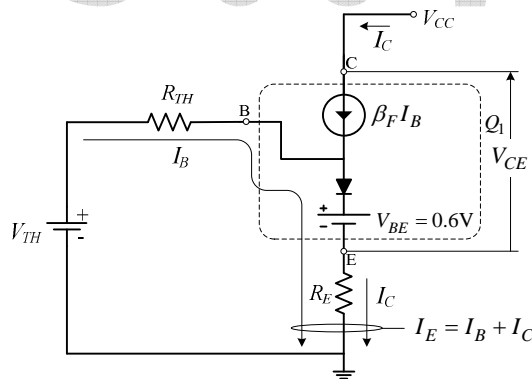
$$I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta_F + 1) R_E}$$

โดยที่  $V_{TH} = \frac{V_{CC} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})}$ ,  $R_{TH} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})}$ ;

จากสมการ (2.4)  $I_C = \beta_F I_B$

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

$$V_{CE} = V_{CC} - (\beta_F + 1) I_B R_E \tag{3.12}$$



รูปที่ 3.13 แสดงการประมาณค่า  $I_B$  จากแหล่งกำเนิด  $V_{TH}$

ตัวอย่างที่ 3.8 จากรูปที่ 3.13 จงประมาณค่าจุดทำงานของทรานซิสเตอร์  $Q_1$   $I_B$ ,  $I_C$  และ  $V_{CE}$

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

โดยที่  $V_{TH} = \frac{V_{CC} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{12 \times 49 \times 10^3}{(30 \times 10^3 + 49 \times 10^3)} = 7.443 \text{ V}$



3. วงจรขยายจูน

$$R_{TH} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{30 \times 10^3 \times 49 \times 10^3}{(30 \times 10^3 + 49 \times 10^3)} = 18.607 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = \frac{(7.443 - 0.6)}{18.607 \times 10^3 + \{(120 + 1)1.2 \times 10^3\}} = 41.774 \text{ }\mu\text{A}$$

จากสมการ (2.4)

$$I_C = \beta_F I_B = 120 \times 41.774 \times 10^{-6} = 5.012 \text{ mA}$$

จากสมการ (3.12)

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

$$V_{CE} = 12 - (121 \times 41.774 \times 10^{-6} \times 1.2 \times 10^3) = 5.934 \text{ V}$$

**ตอบ** จุดทำงาน  $I_B = 41.774 \text{ }\mu\text{A}$ ,  $I_C = 5.012 \text{ mA}$  และ  $V_{CE} = 5.934 \text{ V}$

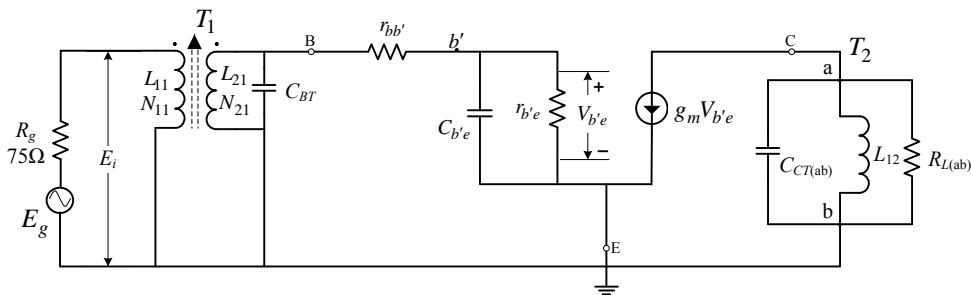
3.5.2 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่เรโซแนนซ์

โดยใช้แบบจำลองไฮบริด-ไพล์ เมื่อใช้  $R_n$  และ  $C_n$  ในการทำให้เป็นกลาง สามารถละทิ้ง  $C_{b'c}$  ได้

3.5.2.1 การประมาณค่า  $g_m, r_{b'e}$  และ  $F_{R(L_{21})}$

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

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



$V_{BE} = 0.6 \text{ V}$ ,  $C_{ob} = 0.5 \text{ pF}$ ,  $F_T = 6 \text{ GHz}$ ,  $r_{bb'} = 5 \text{ }\Omega$ ,  $\beta_F = 120$ ,  $C_{CT} = 20 \text{ pF}$ ,  $C_{BT} = 25 \text{ pF}$ ,  $T_A = 25^\circ \text{ C}$ ;

$T_1$   $L_{11} = 1 \text{ }\mu\text{H}$ ,  $L_{21} = 1 \text{ }\mu\text{H}$ ,  $N_{11} : N_{21} = 1 : 1$ ;

$T_2$   $L_{22} = 1.5 \text{ }\mu\text{H}$ ,  $L_{12} = 375 \text{ nH}$ ,  $L_{32} = 15 \text{ nH}$ ,  $N_{22} : N_{12} : N_{32} = 10 : 5 : 1$ ;

รูปที่ 3.14 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้แบบจำลองไฮบริด-ไพล์

จากรูปที่ 3.14 การประมาณค่า  $F_{R(L_{21})}$  ซึ่งเกิดจาก  $L_{21} \parallel (C_{BT} \parallel C_{b'e})$  โดยถือว่า  $r_{bb'}$  มีค่าต่ำละทิ้งได้ (เฉพาะกรณีนี้)

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

โดยที่  $F_R = F_{R(L_{21})}$ ,  $L = L_{21}$ ,  $C = (C_{BT} \parallel C_{b'e}) = C_{BT} + C_{b'e}$ ;

$$F_{R(L_{21})} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{21}(C_{BT} + C_{b'e})}} \quad (3.13)$$

ตัวอย่างที่ 3.9 จากรูปที่ 3.14 จงประมาณค่าของ  $g_m$  และ  $r_{b'e}$

วิธีทำ จากสมการ (1.9)  $g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T/q)} = \frac{5.012 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 195.019 \text{ mS}$

จากสมการ (1.10)  $r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{120}{195.019 \times 10^{-3}} = 615.324 \text{ } \Omega$

ตอบ  $g_m = 195.019 \text{ mS}$ ,  $r_{b'e} = 615.324 \text{ } \Omega$ ;

### 3.5.2.2 การประมาณค่า $F_{R(L_{12})}$

$F_{R(L_{12})}$  คือ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ตำแหน่ง  $L_{12}$  เกิดจาก ( $L_{12} \parallel C_{CT(ab)}$ )

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

โดยที่  $F_R = F_{R(L_{12})}$ ,  $L = L_{12}$ ,  $C = C_{CT(ab)}$ ;

ดังนั้น  $F_{R(L_{12})} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{12}C_{CT(ab)}}} \quad (3.14)$

### 3.5.2.3 การประมาณค่า $C_{CT(ab)}$

$C_{CT(ab)}$  คือ ตัวเก็บประจุที่ถูกย้ายจาก  $C_{CT}$  มายังขดปฐมภูมิตำแหน่ง (ab)

ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และ 3.14

จากสมการ (3.11)  $C_S N_S^2 = C_P N_P^2$   
 $C_P = \frac{C_S N_S^2}{N_P^2}$

โดยที่  $C_P = C_{CT(ab)}$ ,  $C_S = C_{CT}$ ,  $N_P = N_{12}$ ,  $N_S = N_{22}$ ;

ดังนั้น  $C_{CT(ab)} = \frac{C_{CT} N_{22}^2}{N_{12}^2} \quad (3.15)$

### 3.5.2.4 การประมาณค่า $R_{L(ab)}$

$R_{L(ab)}$  คือ ค่าความต้านทานที่ถูกย้ายจาก  $R_L$  มายังขดปฐมภูมิ ตำแหน่ง (ab)

ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และ 3.14

## 3. วงจรขยายจูน

จากสมการ (3.10)  $\frac{Z_P}{N^2_P} = \frac{Z_S}{N^2_S}$  และ  $Z_P = \frac{Z_S N^2_P}{N^2_S}$

โดยที่  $Z_P = R_{L(ab)}$ ,  $Z_S = R_L$ ,  $N_P = N_{12}$ ,  $N_S = N_{32}$ ;

ดังนั้น 
$$R_{L(ab)} = \frac{R_L N^2_{12}}{N^2_{32}} \quad (3.16)$$

**ตัวอย่างที่ 3.10** จากรูปที่ 3.14 จงประมาณค่าของ  $C_{CT(ab)}$ ,  $R_{L(ab)}$ ,  $F_{R(L_{21})}$  และ  $F_{R(L_{12})}$

วิธีทำ จากสมการ (3.15)  $C_{CT(ab)} = \frac{C_{CT} N^2_{22}}{N^2_{12}} = \frac{20 \times 10^{-12} (10)^2}{(5)^2} = 80 \text{ pF}$

จากสมการ (3.16)  $R_{L(ab)} = \frac{R_L N^2_{12}}{N^2_{32}} = \frac{75 (5)^2}{(1)^2} = 1,875 \Omega$

จากสมการ (1.16)  $C_{b'e} = C_{ob}$ ,  $C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{ob}$ ;

โดยที่  $C_{b'e} = 0.5 \text{ pF}$

$$C_{b'e} = \frac{195.019 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 6 \times 10^9} - 0.5 \times 10^{-12} = 4.675 \text{ pF}$$

จากสมการ (3.13)

$$F_{R(L_{21})} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{21} (C_{BT} + C_{b'e})}}$$

$$F_{R(L_{21})} = \frac{1}{(2 \times 3.14) \sqrt{\{1 \times 10^{-6} (25 \times 10^{-12} + 4.675 \times 10^{-12})\}}}$$

$$F_{R(L_{21})} = 29.231 \text{ MHz}$$

จากสมการ (3.14)

$$F_{R(L_{12})} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{12} C_{CT(ab)}}} = \frac{1}{(2 \times 3.14) \sqrt{(375 \times 10^{-9} \times 80 \times 10^{-12})}}$$

$$F_{R(L_{12})} = 29.072 \text{ MHz}$$

**ตอบ**  $C_{CT(ab)} = 80 \text{ pF}$ ,  $R_{L(ab)} = 1,875 \Omega$ ,  $F_{R(L_{21})} = 29.231 \text{ MHz}$ ,  $F_{R(L_{12})} = 29.072 \text{ MHz}$ ;

จากค่า  $F_{R(L_{21})}$  และ  $F_{R(L_{12})}$  มีค่าใกล้เคียง 29 MHz ทำให้  $E_g$  ได้รับความจูน 2 ครั้ง ก่อนจ่ายให้โหลด หรือ  $R_L$

### 3.5.2.5 การประมาณค่า $B_w(L_{21})$

$B_w(L_{21})$  คือ ค่าแบนด์วิดท์ที่ตำแหน่ง  $L_{21}$  โดยต้องทราบค่า  $(C_{BT} \parallel C_{b'e})$ ,  $R_{gs}$  และ  $r_{b'e}$  โดยถือว่า  $r_{bb'}$  มีค่าต่ำใกล้เคียง  $0 \Omega$  จะต้องย้าย  $R_g$  เสนอต่อ  $L_{21}$  กลายเป็น  $R_{gs}$

$$R_{gs} = \frac{R_g N^2_{21}}{N^2_{11}}$$

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

โดยที่  $B_W = B_{W(L_{21})}$ ,  $C = (C_{BT} + C_{b'e})$ ,  $R = (R_{gs} \parallel r_{b'e})$ ;

ดังนั้น 
$$B_{W(L_{21})} = \frac{1}{2\pi R (C_{BT} + C_{b'e})} \quad (3.17)$$

### 3.5.2.6 การประมาณค่า $B_{W(L_{12})}$

$B_{W(L_{12})}$  คือค่าแบนด์วิดท์ที่ตำแหน่ง  $L_{21}$  ต้องทราบค่า  $R_{L(ab)}$  และ  $C_{CT(ab)}$

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

โดยที่  $B_W = B_{W(L_{12})}$ ,  $C = C_{CT(ab)}$ ,  $R = R_{L(ab)}$ ;

ดังนั้น 
$$B_{W(L_{12})} = \frac{1}{2\pi C_{CT(ab)} R_{L(ab)}} \quad (3.18)$$

**ตัวอย่างที่ 3.11** จากรูปที่ 3.14 จงประมาณค่าของ  $B_{W(L_{21})}$  และ  $B_{W(L_{12})}$

**วิธีทำ** จากสมการ (3.17) 
$$B_{W(L_{21})} = \frac{1}{2\pi R (C_{BT} + C_{b'e})}, R = \frac{R_{gs} r_{b'e}}{R_{gs} + r_{b'e}}, R_{gs} = \frac{R_g N_{21}^2}{N_{11}^2};$$

$$B_{W(L_{21})} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 66.851) (25 \times 10^{-12} + 4.675 \times 10^{-12})}$$

$$B_{W(L_{21})} = 80.267 \text{ MHz}$$

จากสมการ (3.18) 
$$B_{W(L_{12})} = \frac{1}{2\pi C_{CT(ab)} R_{L(ab)}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 80 \times 10^{-12} \times 1,875}$$

$$B_{W(L_{12})} = 1.061 \text{ MHz}$$

**ตอบ**  $B_{W(L_{21})} = 80.267 \text{ MHz}$ ,  $B_{W(L_{12})} = 1.061 \text{ MHz}$ ;

จากการประมาณค่า  $B_{W(L_{21})} = 80.267 \text{ MHz}$  และ  $B_{W(L_{12})} = 1.061 \text{ MHz}$  ทำให้  $E_g$  29 MHz ถูกจูน 2 ครั้งจ่ายให้โหลด มีแบนด์วิดท์ เป็นไปตามค่า  $B_{W(L_{12})} = 1.061 \text{ MHz}$

### 3.5.2.7 การประมาณค่า $A_{V(F_R)}$

การประมาณค่าอัตราขยายแรงดันความถี่เรโซแนนซ์ จะต้องหาขณะที่วงจรด้านเข้าเกิดการเรโซแนนซ์ จะเหลือเพียง  $r_{b'e}$  และวงจรด้านออก เกิดการเรโซแนนซ์ จะเหลือเพียง  $R_L \frac{N_{12}}{N_{32}}$  เมื่อ  $E_g$  ป้อนให้แก่  $L_{11}$  จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลใน  $L_{21}$  จะเกิดแรงดัน  $E_S$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $V_{b'e}$  ประมาณค่าได้จากสมการ (3.8)

## 3. วงจรขยายงาน

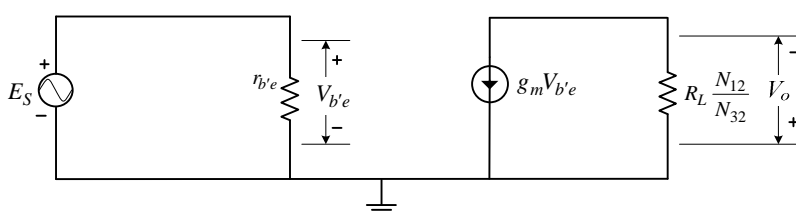
$$\frac{E_P}{N_P} = \frac{E_S}{N_S}, E_S = \frac{E_P N_S}{N_P};$$

โดยที่  $E_P = E_i, N_P = N_{11}, N_S = N_{21};$

$$E_S = V_{b'e} = \frac{E_i N_{21}}{N_{11}}, E_i = \frac{E_g r_{b'ep}}{R_g + r_{b'ep}}, r_{b'ep} = \frac{r_{b'e} N_{11}^2}{N_{21}^2};$$

ดังนั้น

$$E_S = V_{b'e} = \frac{E_g r_{b'ep}}{R_g + r_{b'ep}} \times \frac{N_{21}}{N_{11}} \quad (3.19)$$



รูปที่ 3.15 แสดงเมื่อวงจรเกิดการเรโซแนนซ์เหลือเพียง  $r_{b'e}$  และ  $R_L \frac{N_{12}}{N_{32}}$

$$A_{V(F_R)} = -\frac{V_o}{E_g}, V_o = -\frac{g_m R_L N_{12}}{N_{32}} \times \frac{E_g r_{b'ep}}{R_g + r_{b'ep}} \times \frac{N_{21}}{N_{11}};$$

$$A_{V(F_R)} = -\frac{g_m R_L N_{12}}{N_{32}} \times \frac{r_{b'ep}}{R_g + r_{b'ep}} \times \frac{N_{21}}{N_{11}}$$

เนื่องจากเฟสของ  $T_2$  ทำให้  $V_o$  มีเฟสตรงกันกับ  $E_g$

ดังนั้น

$$A_{V(F_R)} = \frac{V_o}{E_g} = \frac{g_m R_L N_{12}}{N_{32}} \times \frac{r_{b'ep}}{R_g + r_{b'ep}} \times \frac{N_{21}}{N_{11}} \quad (3.20)$$

ตัวอย่างที่ 3.12 จากรูปที่ 3.14 จงประมาณค่าของ  $A_{V(F_R)}$

วิธีทำ

$$r_{b'ep} = \frac{r_{b'e} N_{11}^2}{N_{21}^2} = \frac{615.324 \times (1)^2}{(1)^2} = 615.324 \Omega$$

จากสมการ (3.20)

$$A_{V(F_R)} = \frac{195.019 \times 10^{-3} \times 75 \times 5}{1} \times \frac{615.324}{75 + 615.324} \times \frac{1}{1} = 65.186$$

$$A_{V(F_R)} = 65.186$$

ตอบ  $A_{V(F_R)} = 65.186$

### 3.5.2.8 การประมาณค่า $R_n$ และ $C_n$

โดย  $R_n$  และ  $C_n$  เป็นตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ ต่ออนุกรมกัน เพื่อเชื่อมต่อกับสัญญาณจาก  $L_{32}$  ที่มีเฟสตรงกันกับเฟสของสัญญาณ ที่ป้อนเข้าขาเบส  $Q_1$  เป็นการทำให้  $C_{b'c}$  ไม่มี

3. วงจรขยายจูน

ผลต่อการทำงานที่ความถี่สูง เมื่อมีการทำให้เป็นกลางที่เหมาะสมสามารถ ละทิ้ง  $C_{b'c}$  จากวงจรได้

$$C_n = (n) C_{b'c} \tag{3.21}$$

$$R_n = \frac{r_{bb'} (C_{b'e} + C_{b'c})}{(n) C_{b'c}} \tag{3.22}$$

โดยที่  $n = \frac{N_{12}}{N_{32}}$  ของ  $T_2$

ตัวอย่างที่ 3.13 จากรูปที่ 3.14 จงประมาณค่า  $R_n$  และ  $C_n$

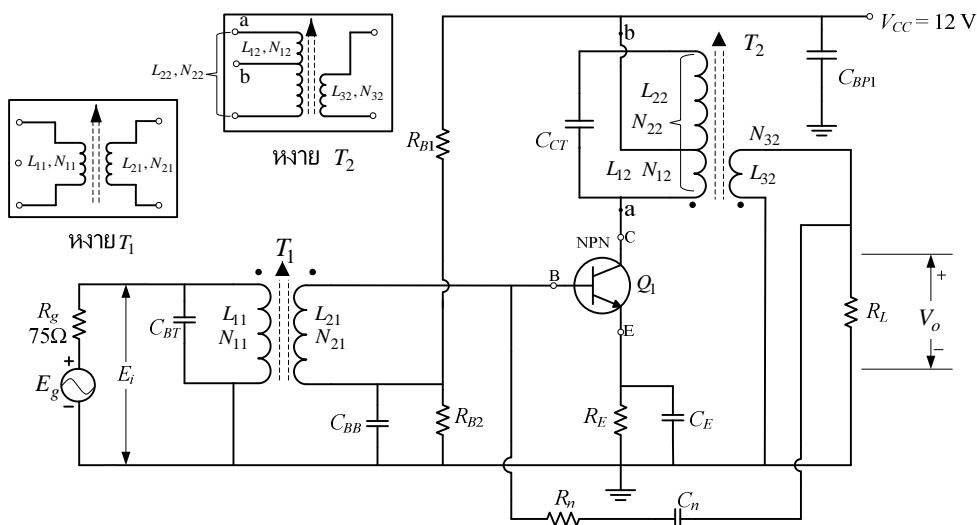
วิธีทำ จากสมการ (3.21)  $C_n = (n) C_{b'c} = 5 \times 0.5 \times 10^{-12} = 2.5 \text{ pF}$

จากสมการ (3.22)  $R_n = \frac{r_{bb'} (C_{b'e} + C_{b'c})}{(n) C_{b'c}} = \frac{5 (4.675 \times 10^{-12} + 0.5 \times 10^{-12})}{5 \times 0.5 \times 10^{-12}} = 10.35 \Omega$

ตอบ  $C_n = 2.5 \text{ pF}, R_n = 10.35 \Omega;$

3.6 การออกแบบวงจรขยายจูน โดยใช้ทรานซิสเตอร์ดับเบิลจูน

$Q_1$  2SC930NP,  $V_{CBO} = 30 \text{ V}, V_{CEO} = 20 \text{ V}, V_{EBO} = 5 \text{ V}, I_{C(\text{MAX})} = 30 \text{ mA}, P_D = 250 \text{ mW},$   
 $\beta_F = \beta_o = 120, V_{BE} = 0.6 \text{ V}, F_T = 300 \text{ MHz}, C_{re} = C_{ob} = 1.3 \text{ pF}, r_{bb'} = 2 \Omega;$



$T_1 \quad N_{11} : N_{21} = 1 : 1, L_{11} = 1.90 \mu\text{H}, L_{21} = 1.90 \mu\text{H};$

$T_2 \quad N_{22} : N_{12} : N_{32} = 10 : 5 : 1, L_{22} = 238 \mu\text{H}, L_{12} = 59.5 \mu\text{H}, L_{32} = 2.38 \mu\text{H};$

รูปที่ 3.16 แสดงวงจรขยายจูน โดยใช้ทรานซิสเตอร์ดับเบิลจูน

ข้อกำหนดในการออกแบบ  $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ,  $V_{BE} = 0.6 \text{ V}$  ความถี่เรโซแนนซ์ของ  $T_1, T_2$  ประมาณ 500 kHz และแบนด์วิดท์  $T_1, T_2$  ประมาณ 50 kHz  $T_A = 25^\circ \text{C}$ ,  $R_L = 75 \Omega$ ;  
ขั้นตอนในการออกแบบ จากรูปที่ 3.16

### 3.6.1 การกำหนดค่า $I_C$

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

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

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

#### ตัวอย่างที่ 3.14 การกำหนดค่า $I_C$

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

โดยที่  $F_H = 500 \text{ kHz}$ ,  $R_{FH} = R_g = 75 \Omega$ ,  $R_{out} = R_L = 75 \Omega$ ;

$C_{b'c} = C_{ob} = C_{re} = 1.3 \text{ pF}$ ,  $T_A = 25^\circ \text{C}$ ;

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

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

$$I_{C(dc)} = 173.694 \text{ mA}$$

**ตอบ**  $I_{C(dc)} = 173.694 \text{ mA}$  สูงกว่า  $0.5I_{C(MAX)}$  จึงควรเลือก  $I_C$  ไม่เกิน 15 mA เลือก  $I_C = 10 \text{ mA}$

### 3.6.2 การกำหนดค่า $R_E$ , $R_{B1}$ และ $R_{B2}$

เมื่อกำหนด  $V_{CE} = 0.5V_{CC}$ ,  $V_{RE} = 0.5V_{CC}$ ; (3.23)

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

$$R_E = \frac{0.5V_{CC}}{(\beta_F + 1)I_B} \quad (3.24)$$

จากสมการ (2.26)  $R_{TH} = 15R_E$

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

## 3. วงจรขยายจูน

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

**ตัวอย่างที่ 3.15** การกำหนดค่า  $R_E$ ,  $R_{B1}$  และ  $R_{B2}$

$$\text{วิธีทำ จากสมการ (3.23)} \quad V_{CE} = 0.5V_{CC}, V_{RE} = 0.5V_{CC};$$

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

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

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = \frac{10 \times 10^{-3}}{120} = 83.333 \text{ } \mu\text{A}$$

$$\text{จากสมการ (3.24)} \quad R_E = \frac{0.5V_{CC}}{(\beta_F + 1)I_B} = \frac{0.5 \times 12}{(120 + 1)83.333 \times 10^{-6}} = 595.043 \text{ } \Omega$$

$$\text{จากสมการ (2.26)} \quad R_{TH} = 15R_E = 15 \times 595.043 = 8.925 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.27)} \quad V_{TH} &= I_B R_{TH} + V_{BE} + (\beta_F + 1)I_B R_E \\ V_{TH} &= (83.333 \times 10^{-6} \times 8.925 \times 10^3) + 0.6 \\ &\quad + (121 \times 83.333 \times 10^{-6} \times 595.043) \\ V_{TH} &= 7.343 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\text{จากสมการ (2.28)} \quad R_{B1} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{V_{TH}} = \frac{12 \times 8.925 \times 10^3}{7.343} = 14.585 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B2} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{(V_{CC} - V_{TH})} = \frac{12 \times 8.925 \times 10^3}{(12 - 7.343)} = 22.997 \text{ k}\Omega$$

**ตอบ**  $R_E = 595.043 \text{ } \Omega$ ,  $R_{B1} = 14.585 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 22.997 \text{ k}\Omega$ ;

### 3.6.3 การเปลี่ยนค่าความต้านทานให้เป็นค่ามาตรฐาน

$$R_E = 595.043 \text{ } \Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_E = 560 \text{ } \Omega$$

$$R_{B1} = 14.585 \text{ k}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_{B1} = 15 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B2} = 22.997 \text{ k}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_{B2} = 22 \text{ k}\Omega$$

### 3.6.4 การตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

เมื่อใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน

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

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

$$\text{จากสมการ (3.23)} \quad V_{CE} = 0.5V_{CC}, V_{RE} = 0.5V_{CC};$$



**ตัวอย่างที่ 3.16** จงตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

วิธีทำ จากสมการ (2.1) 
$$V_{TH} = \frac{V_{CC}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{12 \times 22 \times 10^3}{(15 \times 10^3 + 22 \times 10^3)} = 7.135 \text{ V}$$

จากสมการ (2.2) 
$$R_{TH} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{15 \times 10^3 \times 22 \times 10^3}{(15 \times 10^3 + 22 \times 10^3)} = 8.918 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (2.3) 
$$I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta_F + 1)R_E} = \frac{(7.135 - 0.6)}{\{8.918 \times 10^3 + (121 \times 560)\}} = 85.226 \text{ }\mu\text{A}$$

จากสมการ (2.4) 
$$I_C = \beta_F I_B = (120 \times 85.226 \times 10^{-6}) = 10.227 \text{ mA}$$

จากสมการ (3.23) 
$$V_{CE} = 0.5V_{CC}, \quad V_{RE} = 0.5V_{CC};$$

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

$$V_{CE} = 12 - (121 \times 85.226 \times 10^{-6} \times 560)$$

$$V_{CE} = 6.225 \text{ V}$$

**ตอบ** จุดทำงานของทรานซิสเตอร์  $I_B = 85.226 \text{ }\mu\text{A}$ ,  $I_C = 10.227 \text{ mA}$  และ  $V_{CE} = 6.225 \text{ V}$

ถ้าหาก  $V_{CE}$  ผิดพลาดเกิน  $\pm 0.5 \text{ V}$  ให้เปลี่ยนแปลงค่าของ  $R_{B1}$  หรือ  $R_{B2}$  ใหม่

### 3.6.5 การกำหนดค่า $C_{BB}$ , $C_E$ และ $C_{BP1}$

กำหนดให้  $X_{C_E} = X_{C_{BB}} = X_{C_{BP1}}$  ประมาณ  $0.5 \text{ }\Omega$  ที่ความถี่เรโซแนนซ์ของ  $T_1$

หรือ  $T_2$  จากสมการ (2.30)

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

$$C_E = C_{BB} = C_{BP1}$$

**ตัวอย่างที่ 3.17** จงประมาณค่า  $C_{BB}$ ,  $C_E$  และ  $C_{BP1}$

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

โดยที่  $R_{FLCE} = X_{C_E} = 0.5 \text{ }\Omega$ ,  $F_{L(C_E)} = 500 \text{ kHz}$ ;

$$C_E = \frac{1}{2\pi R_{FLCE} F_{L(C_E)}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 0.5 \times 500 \times 10^3} = 0.636 \text{ }\mu\text{F}$$

**ตอบ**  $C_E = C_{BB} = C_{BP1} = 0.636 \text{ }\mu\text{F}$

### 3.6.6 การเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุให้เป็นค่ามาตรฐาน

$C_E = 0.636 \text{ }\mu\text{F}$  เป็นค่ามาตรฐาน  $C_E = 0.68 \text{ }\mu\text{F}$  แทนทาลัม

$C_{BB} = C_{BP1} = 0.636 \mu\text{F}$  เป็นค่ามาตรฐาน  $C_{BB} = C_{BP1} = 0.68 \mu\text{F}$  แทนทาลัม

### 3.6.7 การตรวจสอบค่า $A_{V(F_R)}$

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

$$r_{b'ep} = \frac{r_{b'e} N_{11}^2}{N_{21}^2}$$

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

จากสมการ (3.20) 
$$A_{V(F_R)} = \frac{V_o}{E_g} = \frac{g_m R_L N_{12}}{N_{32}} \times \frac{r_{b'ep}}{R_g + r_{b'ep}} \times \frac{N_{21}}{N_{11}}$$

**ตัวอย่างที่ 3.18** การตรวจสอบค่า  $A_{V(F_R)}$  และทำให้อยู่ในรูป (dB)

วิธีทำ จากสมการ (1.9) 
$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T/q)} = \frac{10.227 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 397.937 \text{ mS}$$

จากสมการ (1.10) 
$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{120}{397.937 \times 10^{-3}} = 301.555 \Omega$$

$$r_{b'ep} = \frac{r_{b'e} N_{11}^2}{N_{21}^2} = \frac{301.555 \times (1)^2}{(1)^2} = 301.555 \Omega$$

สมการ (3.20) 
$$A_{V(F_R)} = \frac{V_o}{E_g} = \frac{g_m R_L N_{12}}{N_{32}} \times \frac{r_{b'ep}}{R_g + r_{b'ep}} \times \frac{N_{21}}{N_{11}}$$

$$A_{V(F_R)} = \frac{397.937 \times 10^{-3} \times 75 \times 5}{1} \times \frac{301.555}{75 + 301.555} \times \frac{1}{1} = 119.504$$

$$A_{V(F_R)}(\text{dB}) = 20 \log_{10} |119.504| = 41.547 \text{ dB}$$

**ตอบ**  $A_{V(F_R)} = 119.504$ ,  $A_{V(F_R)}(\text{dB}) = 41.547 \text{ dB}$ ;

### 3.6.8 การประมาณค่า $C_{BT}$ และ $C_{CT}$

กำหนดความถี่เรโซแนนซ์ของ  $T_1$  และ  $T_2$  มีค่า 500 kHz แบนด์วิดท์ 50 kHz

$$T_1 \quad N_{11} : N_{21} = 1 : 1, L_{11} = 1.90 \mu\text{H}, L_{21} = 1.90 \mu\text{H};$$

$$T_2 \quad N_{22} : N_{12} : N_{32} = 10 : 5 : 1, L_{22} = 238 \mu\text{H}, L_{12} = 59.50 \mu\text{H}, L_{32} = 2.38 \mu\text{H};$$

โดยที่  $F_{R(L_{11})}$  คือ ความถี่เรโซแนนซ์ที่ตำแหน่ง  $L_{11}$  มีค่าความถี่ 500 kHz

$F_{R(L_{12})}$  คือ ความถี่เรโซแนนซ์ที่ตำแหน่ง  $L_{12}$  มีค่าความถี่ 500 kHz

การประมาณค่าของ  $C_{BT}$  จำเป็นจะต้องย้าย  $C_{b'e}$  จาก  $L_{21}$  กลายเป็น  $C_{b'ep}$  ปรากฏที่  $L_{11}$  ซึ่งขนานกับ  $C_{BT}$

## 3. วงจรขยายจูน

จากสมการ (1.16)  $C_{b'c} = C_{ob} = C_{re}, C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{ob};$

จากสมการ (3.11)  $C_S N_S^2 = C_P N_P^2$   
 $C_P = \frac{C_S N_S^2}{N_P^2}$

โดยที่  $C_P = C_{b'ep}, N_P = N_{11}, C_S = C_{b'e}, N_S = N_{21};$

$$\boxed{C_{b'ep} = \frac{C_{b'e} N_{21}^2}{N_{11}^2}} \quad (3.25)$$

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

โดยที่  $F_R = F_{R(L_{11})}, L = L_{11}, C = C_{BT} + C_{b'ep};$

$$F_{R(L_{11})} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{11}(C_{BT} + C_{b'ep})}}$$

$$(C_{BT} + C_{b'ep}) = \frac{1}{L_{11}(2\pi F_{R(L_{11})})^2}$$

ดังนั้น

$$\boxed{C_{BT} = \frac{1}{L_{11}(2\pi F_{R(L_{11})})^2} - C_{b'ep}} \quad (3.26)$$

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

โดยที่  $F_R = F_{R(L_{22})}$  คือ ความถี่เรโซแนนซ์ที่  $L_{22}$

$$L = L_{22}, C = C_{CT};$$

ดังนั้น

$$\boxed{C_{CT} = \frac{1}{L_{22}(2\pi F_{R(L_{22})})^2}} \quad (3.27)$$

**ตัวอย่างที่ 3.19** จงประมาณค่า  $C_{BT}$  และ  $C_{CT}$

**วิธีทำ** จากสมการ (1.16)  $C_{b'c} = C_{ob} = C_{re}, C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{ob};$

$$C_{b'e} = \frac{397.937 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 300 \times 10^6} - 1.3 \times 10^{-12} = 209.919 \text{ pF}$$

จากสมการ (3.25)  $C_{b'ep} = \frac{C_{b'e} N_{21}^2}{N_{11}^2} = \frac{209.919 \times 10^{-12} (1)^2}{(1)^2} = 209.919 \text{ pF}$

## 3. วงจรขยายจูน

$$\text{จากสมการ (3.26)} \quad C_{BT} = \frac{1}{L_{11} (2\pi F_{R(L_{11})})^2} - C_{b'ep}$$

$$C_{BT} = \frac{1}{1.90 \times 10^{-6} (2 \times 3.14 \times 500 \times 10^3)^2} - 209.919 \times 10^{-12} = 53.171 \text{ nF}$$

$$\text{จากสมการ (3.27)} \quad C_{CT} = \frac{1}{L_{22} (2\pi F_{R(L_{22})})^2} = \frac{1}{238 \times 10^{-6} (2 \times 3.14 \times 500 \times 10^3)^2}$$

$$C_{CT} = 426.151 \text{ pF}$$

**ตอบ**  $C_{BT} = 53.171 \text{ nF}, C_{CT} = 426.151 \text{ pF};$

## 3.6.9 การเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุให้เป็นค่ามาตรฐาน

$C_{BT} = 53.171 \text{ nF}$  เป็นค่ามาตรฐาน  $C_{BT} = (47 \text{ nF} \parallel 5.6 \text{ nF})$  เซรามิก (52.6 nF)

$C_{CT} = 426.151 \text{ pF}$  เป็นค่ามาตรฐาน  $C_{CT} = (390 \text{ pF} \parallel 39 \text{ pF})$  เซรามิก (429 pF)

3.6.10 การประมาณค่า  $B_{W(L_{11})}$ 

$B_{W(L_{11})}$  คือ ค่าแบนด์วิดท์ที่ตำแหน่ง  $L_{11}$  ต้องทราบค่าของ  $r_{b'ep}, C_{b'ep}$  และ  $R_g$  โดย  $r_{b'ep}$  เกิดจากการย้าย  $r_{b'e}$  เสนอต่อ  $L_{11}$

$$r_{b'ep} = \frac{r_{b'e} N_{11}^2}{N_{21}^2}$$

$$\text{จากสมการ (3.25)} \quad C_{b'ep} = \frac{C_{b'e} N_{21}^2}{N_{11}^2}$$

$$B_{W(L_{11})} = \frac{1}{2\pi R (C_{BT} + C_{b'ep})} \quad (3.27a)$$

$$\text{โดยที่} \quad R = \frac{R_g r_{b'ep}}{R_g + r_{b'ep}}$$

3.6.11 การประมาณค่า  $B_{W(L_{12})}$ 

$B_{W(L_{12})}$  คือ ค่าแบนด์วิดท์ที่ตำแหน่ง  $L_{12}$  โดยต้องทราบค่าของ  $R_{L(ab)}$  และ  $C_{CT(ab)}$

$$\text{จากสมการ (3.18)} \quad B_{W(L_{12})} = \frac{1}{2\pi C_{CT(ab)} R_{L(ab)}}$$

$$\text{จากสมการ (3.15)} \quad C_{CT(ab)} = \frac{C_{CT} N_{22}^2}{N_{12}^2}$$

$$\text{จากสมการ (3.16)} \quad R_{L(ab)} = \frac{R_L N_{12}^2}{N_{32}^2}$$

ตัวอย่างที่ 3.20 จงประมาณค่า  $B_{W(L_{11})}$  และ  $B_{W(L_{12})}$

วิธีทำ จากสมการ (1.10)  $r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{120}{397.937 \times 10^{-3}} = 301.555 \Omega$

$$r_{b'ep} = \frac{r_{b'e} N_{11}^2}{N_{21}^2} = \frac{301.555 (1)^2}{(1)^2} = 301.555 \Omega$$

จากสมการ (3.25)  $C_{b'ep} = \frac{C_{b'e} N_{21}^2}{N_{11}^2} = \frac{209.919 \times 10^{-12} (1)^2}{(1)^2} = 209.919 \text{ pF}$

จากสมการ  $R = \frac{R_g r_{b'ep}}{R_g + r_{b'ep}} = \frac{75 \times 301.555}{(75 + 301.555)} = 60.061 \Omega$

จากสมการ (3.27a)  $B_{W(L_{11})} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 60.061) (52.6 \times 10^{-9} + 209.919 \times 10^{-12})}$

$$B_{W(L_{11})} = 50.203 \text{ kHz}$$

จากสมการ (3.15)  $C_{CT(ab)} = \frac{C_{CT} N_{22}^2}{N_{12}^2} = \frac{429 \times 10^{-12} (10)^2}{(5)^2} = 1.716 \text{ nF}$

จากสมการ (3.16)  $R_{L(ab)} = \frac{R_L N_{12}^2}{N_{32}^2} = \frac{75 (5)^2}{(1)^2} = 1.875 \text{ k}\Omega$

จากสมการ (3.18)  $B_{W(L_{12})} = \frac{1}{2\pi C_{CT(ab)} R_{L(ab)}} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 1.716 \times 10^{-9} \times 1.875 \times 10^3)}$

$$B_{W(L_{12})} = 49.490 \text{ kHz}$$

**ตอบ**  $B_{W(L_{11})} = 50.203 \text{ kHz}$ ,  $B_{W(L_{12})} = 49.490 \text{ kHz}$ ; แบนด์วิดท์ของวงจร ประมาณ **50 kHz**

### 3.6.12 การประมาณค่า $F_{R(L_{11})}$ และ $F_{R(L_{12})}$

โดย  $F_{R(L_{11})}$  และ  $F_{R(L_{12})}$  เป็นค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ตำแหน่ง  $L_{11}$  และ  $L_{12}$  ตามลำดับ

จากสมการ (3.25)  $C_{b'ep} = \frac{C_{b'e} N_{21}^2}{N_{11}^2}$

จากสมการ (3.15)  $C_{CT(ab)} = \frac{C_{CT} N_{22}^2}{N_{12}^2}$

จากสมการ (3.13)  $F_{R(L_{21})} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{21} (C_{BT} + C_{b'e})}}$

โดยที่  $F_{R(L_{21})} = F_{R(L_{11})}$ ,  $L_{21} = L_{11}$ ,  $(C_{BT} + C_{b'e}) = (C_{BT} + C_{b'ep})$ ;

ดังนั้น

$$F_{R(L_{11})} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{11} (C_{BT} + C_{b'ep})}} \quad (3.28)$$

3. วงจรขยายจูน

จากสมการ (3.14) 
$$F_{R(L_2)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_{CT(ab)}}}$$

ตัวอย่างที่ 3.21 จงประมาณค่า  $F_{R(L_{11})}$  และ  $F_{R(L_{12})}$

วิธีทำ จากสมการ (3.25) 
$$C_{b'ep} = \frac{C_{b'e} N_{21}^2}{N_{11}^2} = 209.919 \text{ pF}$$

จากสมการ (3.28) 
$$F_{R(L_{11})} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{11} (C_{BT} + C_{b'ep})}}$$
  

$$F_{R(L_{11})} = \frac{1}{(2 \times 3.14) \sqrt{1.90 \times 10^{-6} (52.6 \times 10^{-9} + 209.919 \times 10^{-12})}}$$
  

$$F_{R(L_{11})} = 502.696 \text{ kHz}$$

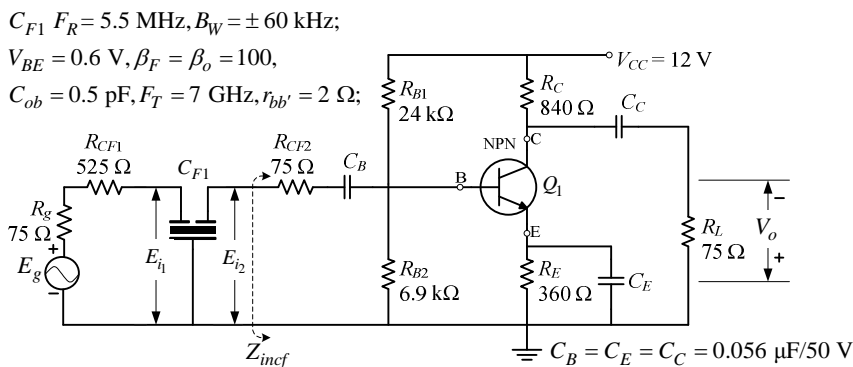
จากสมการ (3.15) 
$$C_{CT(ab)} = \frac{C_{CT} N_{22}^2}{N_{12}^2} = 1.716 \text{ nF}$$

จากสมการ (3.14) 
$$F_{R(L_{12})} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{12} C_{CT(ab)}}}$$
  

$$F_{R(L_{12})} = \frac{1}{(2 \times 3.14) \sqrt{59.50 \times 10^{-6} \times 1.716 \times 10^{-9}}} = 498.337 \text{ kHz}$$

**ตอบ** ค่าความถี่  $F_{R(L_{11})}$  และ  $F_{R(L_{12})}$  ใกล้เคียง **500 kHz** และสามารถปรับแต่งค่าความถี่ดังกล่าวโดยการปรับแกนของ  $T_1$  และ  $T_2$

3.7 วงจรขยายจูนโดยใช้ฟิโชนาไมกฟิลเตอร์



รูปที่ 3.17 แสดงวงจรขยายจูนโดยใช้ฟิโชนาไมกฟิลเตอร์

จากรูปที่ 3.17 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- $C_{F1}$  ฟิโชนาไมกฟิลเตอร์ 5.5 MHz เป็นอุปกรณ์ประเภทฟิโชนาไมกฟิลเตอร์ ทำหน้าที่ กรอง

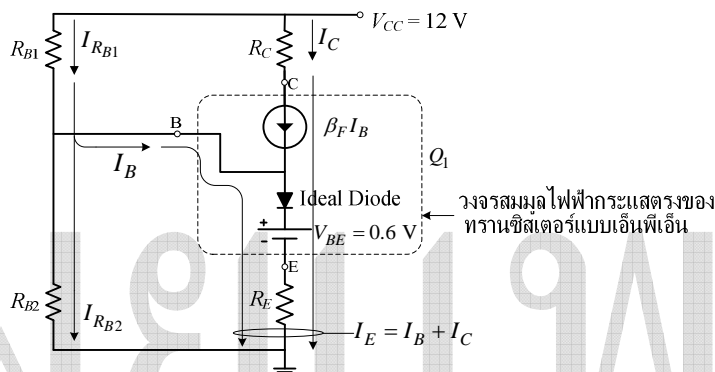
3. วงจรขยายจูน

สัญญาณความถี่ 5.5 MHz ผ่านเท่านั้น เพื่อให้ได้แบนด์วิดท์ประมาณ  $\pm 60$  kHz จะต้องกำหนดให้  $(R_g + R_{CF1})$  ประมาณ 600  $\Omega$  และ  $Z_{inCF}$  ประมาณ 600  $\Omega$  มีรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ข.

-  $Q_1$  ทรานซิสเตอร์ ขยายแรงดันไฟฟ้าให้แรงขึ้น โดยจัดจุดทำงานชั้นเอ ต้องเลือกเบอร์ ที่มีค่า  $H_{FE} > 80$ ,  $C_{ob} < 1$  pF และ  $F_T > 800$  MHz

3.7.1 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 3.17 สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของวงจรไฟฟ้ากระแสตรงได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดย  $C_{F1}$  นั้นไม่ยอมให้ไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านจึงถูกตัดออกวงจร



รูปที่ 3.18 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของวงจรรูปที่ 3.17

การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสตรงของรูปที่ 3.18 เพื่อประมาณค่าจุดทำงานของ  $Q_1$   $I_B$ ,  $I_C$  และ  $V_{CE}$  ซึ่งสามารถนำสมการต่อไปนี้ใช้ได้ทันที

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

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

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

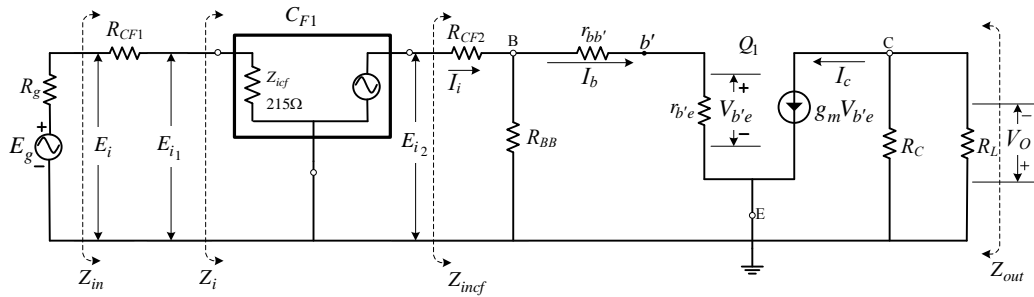
จากสมการ (2.4) 
$$I_C = \beta_F I_B$$

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

3.7.2 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่เรโซแนนซ์

จากรูปที่ 3.19  $C_{F1}$  ขณะเรโซแนนซ์ที่ 5.5 MHz มีค่าความต้านทานด้านเข้า ( $Z_{icf}$ ) ประมาณ 215  $\Omega$  จะได้สมการต่อไปนี้

3. วงจรขยายจูน



รูปที่ 3.19 แสดงวงจรไฟฟ้ากระแสลัดกับความถี่เรโซแนนซ์ 5.5 MHz

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

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

$$\boxed{Z_{in} = R_{CF1} + Z_{icf}} \tag{3.29}$$

โดยที่  $Z_{in}$  คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์

$$Z_{incf} = R_{CF2} + \{R_{BB} \parallel (r_{bb'} + r_{b'e})\}$$

ดังนั้น 
$$\boxed{Z_{incf} = R_{CF2} + \frac{R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}} \tag{3.30}$$

โดยที่  $Z_{incf}$  คือ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์ของ  $Q_1$

เนื่องจาก  $C_{F1}$  มีค่าอินเซอร์ชันลอส ประมาณ 6 dB ต้องการประมาณค่า  $E_{i2}$  จะได้

สมการ

$$20 \log_{10} \frac{E_{i1}}{E_{i2}} = 6 \text{ dB}$$

$$\log_{10} \frac{E_{i1}}{E_{i2}} = \frac{6}{20} = 0.3$$

$$10^{0.3} = 1.995 \approx 2$$

$$\frac{E_{i1}}{E_{i2}} = 2$$

$$E_{i2} = \frac{E_{i1}}{2} \approx 0.5 E_{i1}$$

ดังนั้น

$$E_{i2} = 0.5 E_{i1}$$



จากสมการ (2.9)

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

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

$$E_{i_2} = I_i Z_{inCF} = I_i \left\{ R_{CF2} + \frac{R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})} \right\}$$

$$E_{i_2} = I_i \left\{ \frac{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})} \right\}$$

$$I_i = \frac{E_{i_2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$I_b = \frac{I_i R_{BB}}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})} = \frac{E_{i_2} R_{BB}}{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$V_{b'e} = I_b r_{b'e}$$

$$V_{b'e} = \frac{E_{i_2} R_{BB} r_{b'e}}{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}$$

เนื่องจาก  $E_{i_2} = 0.5 E_{i_1}$

$$V_{b'e} = \frac{(0.5) E_{i_1} R_{BB} r_{b'e}}{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$A_{V(F_R)} = -\frac{V_o}{E_{i_1}} = -\frac{(0.5) g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})} \quad (3.31)$$

โดยที่  $A_{V(F_R)}$  คือ อัตราขยายแรงดันความถี่เรโซแนนซ์

### 3.7.3 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านสูง

การประมาณค่าความถี่ตัดด้านสูง ( $F_H$ ) โดย  $F_H$  คือค่าความถี่ตัดด้านสูงที่ทำให้  $X_{C_T}$  มีค่าเท่ากับค่าความต้านทานที่เสนอต่อ  $X_{C_T}$  และมีผลทำให้  $A_{V(F_H)}$  มีค่าเท่ากับ  $0.707 A_{V(F_R)}$  เป็นการตรวจสอบความสามารถของทรานซิสเตอร์ ในการขยายแรงดันของสัญญาณ ในย่านความถี่สูง ว่าได้สูงสุดที่ความถี่ใด แต่  $F_H$  จะต้องสูงกว่า  $F_R$  การออกแบบจะได้ค่าที่เป็นจริง

จากรูปที่ 3.20 เป็นการแสดงการหาสมการของ  $R_{FH}$  ที่เสนอต่อ  $X_{C_T}$

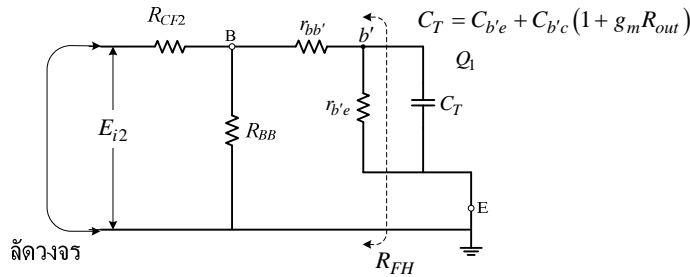
$$R_{FH} = \left[ \{ (R_{CF2} \parallel R_{BB}) + r_{bb'} \} \parallel r_{b'e} \right]$$

$$R_{FH} = \left[ \left\{ \frac{R_{CF2} R_{BB} + r_{bb'} (R_{CF2} + R_{BB})}{(R_{CF2} + R_{BB})} \right\} \parallel r_{b'e} \right]$$

$$R_{FH} = \frac{\{ R_{CF2} R_{BB} + r_{bb'} (R_{CF2} + R_{BB}) \} r_{b'e}}{\{ R_{CF2} R_{BB} + r_{bb'} (R_{CF2} + R_{BB}) \} + (R_{CF2} + R_{BB}) r_{b'e}}$$

3. วงจรขยายจูน

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



$$R_{FH} = \frac{\{R_{CF2}R_{BB} + r_{bb'}(R_{CF2} + R_{BB})\} r_{b'e}}{\{R_{CF2}R_{BB} + r_{bb'}(R_{CF2} + R_{BB})\} + (R_{CF2} + R_{BB}) r_{b'e}}$$

รูปที่ 3.20 แสดงการประมาณค่า  $R_{FH}$

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

เนื่องจาก  $A_{V(F_{Mid})} = A_{V(F_R)}$

$$A_{V(F_H)} = -\frac{V_o}{E_{i1}} = (0.707) A_{V(F_R)} \angle -45^\circ \tag{3.32}$$

ตัวอย่างที่ 3.22 จากรูปที่ 3.17 จงประมาณค่า  $I_B, I_C, V_{CE}, F_R, B_W, A_{V(F_R)}, F_H$  และ  $T_A = 25^\circ\text{C}$

วิธีทำ จากสมการ (2.1) 
$$V_{TH} = \frac{V_{CC} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{12 \times 6.9 \times 10^3}{(24 \times 10^3 + 6.9 \times 10^3)} = 2.679 \text{ V}$$

จากสมการ (2.2) 
$$R_{TH} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{24 \times 10^3 \times 6.9 \times 10^3}{(24 \times 10^3 + 6.9 \times 10^3)} = 5.359 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (2.3) 
$$I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta_F + 1) R_E} = \frac{(2.679 - 0.6)}{5.359 \times 10^3 + (101 \times 360)} = 49.833 \text{ }\mu\text{A}$$

จากสมการ (2.4) 
$$I_C = \beta_F I_B = 100 \times 49.833 \times 10^{-6} = 4.983 \text{ mA}$$

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

$$V_{CE} = 12 - \{(4.983 \times 10^{-3} \times 840) + (101 \times 49.833 \times 10^{-6} \times 360)\}$$
  

$$V_{CE} = 6 \text{ V}$$

จากสมการ (1.9) 
$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T/q)} = \frac{4.983 \times 10^{-3} \times 1.60 \times 10^{-19}}{1.38 \times 10^{-23} (273 + 25)} = 193.872 \text{ mS}$$

จากสมการ (1.10) 
$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{100}{193.872 \times 10^{-3}} = 515.804 \text{ }\Omega$$

## 3. วงจรขยายจูน

จากสมการ (2.9)  $Z_{out} = R_{out} = (R_C \parallel R_L) = \frac{R_C R_L}{(R_C + R_L)} = \frac{840 \times 75}{840 + 75} = 68.852 \Omega$

จากสมการ (3.30)  $Z_{inCF} = R_{CF2} + \frac{R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}{(R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e})}$

$$R_{BB} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{24 \times 10^3 \times 6.9 \times 10^3}{(24 \times 10^3 + 6.9 \times 10^3)} = 5.359 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ (3.31)  $A_{V(F_R)} = -\frac{V_o}{E_{i1}} = -\frac{(0.5) g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}$

โดยที่  $C_{b'e} = C_{ob} = 0.5 \text{ pF}$

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{ob} = \frac{193.872 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 7 \times 10^9} - 0.5 \times 10^{-12} = 3.910 \text{ pF}$$

$$C_T = C_{b'e} + C_{b'e} (1 + g_m R_{out}) = 3.910 \times 10^{-12} + 0.5 \times 10^{-12} \left\{ 1 + (193.872 \times 10^{-3} \times 68.852) \right\}$$

$$C_T = 11.084 \text{ pF}$$

$$R_{BB} = 5.359 \text{ k}\Omega$$

$$A_{V(F_R)} = -\frac{V_o}{E_{i1}} = -\frac{(0.5) g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}$$

$$A_{V(F_R)} = -\frac{0.5 \times 193.872 \times 10^{-3} \times 68.852 \times 515.804 \times 5.359 \times 10^3}{75 (5.359 \times 10^3 + 2 + 515.804) + 5.359 \times 10^3 (2 + 515.804)}$$

$$A_{V(F_R)} = -5.737$$

จากสมการ (3.32)  $F_H = \frac{1}{2\pi R_{FH} C_T}$

โดยที่  $R_{FH} = \frac{r_{b'e} \{ R_{CF2} R_{BB} + r_{bb'} (R_{CF2} + R_{BB}) \}}{\{ R_{CF2} R_{BB} + r_{bb'} (R_{CF2} + R_{BB}) \} + r_{b'e} (R_{CF2} + R_{BB})}$

$$R_{FH} = \frac{515.804 \left\{ (75 \times 5.359 \times 10^3) + 2 (75 + 5.359 \times 10^3) \right\}}{\left\{ (75 \times 5.359 \times 10^3) + 2 (75 + 5.359 \times 10^3) \right\} + 515.804 (75 + 5.359 \times 10^3)}$$

$$R_{FH} = \frac{212.920 \times 10^6}{(412.793 \times 10^3 + 2.802 \times 10^6)} = 66.231 \Omega$$

$$C_T = 11.084 \text{ pF}$$

$$F_H = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 66.231 \times 11.084 \times 10^{-12}} = 216.911 \text{ MHz}$$

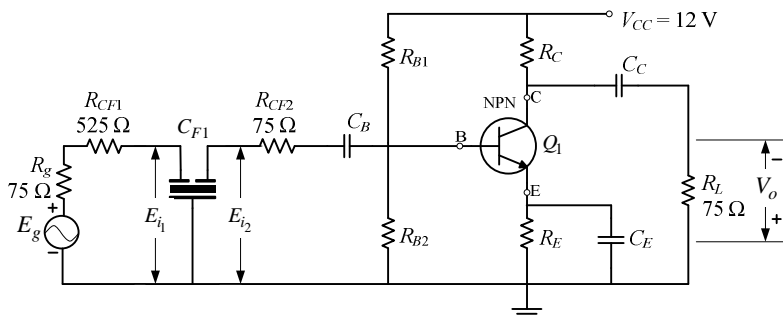
$$F_R = 5.5 \text{ MHz}, B_W = \pm 60 \text{ kHz} (-3 \text{ dB});$$

**ตอบ**  $I_B = 49.833 \mu\text{A}, I_C = 4.983 \text{ mA}, V_{CE} = 6 \text{ V}, F_R = 5.5 \text{ MHz}, B_W = \pm 60 \text{ kHz}$ ,

$$A_{V(F_R)} = -5.737, F_H = 216.911 \text{ MHz};$$

3.7.4 การออกแบบวงจรขยายจูนโดยใช้พีโซเซรามิกฟิลเตอร์

ข้อกำหนดในการออกแบบ  $V_{CC} = 12\text{ V}$ ,  $R_g = 75\ \Omega$ ,  $R_L = 75\ \Omega$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ;



$C_{F1} F_R = 5.5\text{ MHz}$ ,  $B_W = \pm 60\text{ kHz}$ ,  $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ ,  $\beta_F = \beta_o = 85$ ,  $C_{ob} = 1\text{ pF}$ ,  $F_T = 2\text{ GHz}$ ,  $r_{bb'} = 2\ \Omega$ ;

รูปที่ 3.21 แสดงวงจรขยายจูนโดยใช้พีโซเซรามิกฟิลเตอร์ใช้ออกแบบ

3.7.4.1 การกำหนดค่า  $I_C$

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

กำหนดให้  $F_H = 5.5\text{ MHz}$ ,  $R_{FH} = R_{CF2}$ ,  $R_{out} = R_L$ ,  $C_{b'c} = C_{ob}$ ;

จากสมการ (3.30) 
$$Z_{in cf} = R_{CF2} + \{R_{BB} \parallel (r_{bb'} + r_{b'e})\}$$

เนื่องจาก  $R_{BB}$  มีค่าสูงสามารถละทิ้งได้

$$Z_{in cf} = (R_{CF2} + r_{bb'} + r_{b'e})$$

เนื่องจาก  $C_{F1}$  ต้องการค่าความต้านทานด้านออกประมาณ  $600\ \Omega$  ดังนั้น  $Z_{in cf}$  จะต้องมามีค่า  $600\ \Omega$

$$r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m}$$

เนื่องจาก  $g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T}$  จะได้

$$r_{b'e} = \frac{\beta_o V_T}{I_{C(dc)}}$$

แทนค่า  $r_{b'e} = \frac{\beta_o V_T}{I_{C(dc)}}$  ในสมการ  $Z_{in cf}$  จะได้

$$Z_{in cf} = R_{CF2} + r_{bb'} + \frac{\beta_o V_T}{I_{C(dc)}}$$

$$\frac{\beta_o V_T}{I_{C(dc)}} = Z_{in cf} - (R_{CF2} + r_{bb'})$$

ดังนั้น 
$$I_{C(dc)} = \frac{\beta_o V_T}{(Z_{infc} - R_{CF2} + r_{bb'})} \quad (3.33)$$

ค่าที่ได้จากสมการ (3.33) จะต้องมีค่าต่ำกว่าค่า  $I_{C(dc)}$  ของสมการ (2.20)

### 3.7.4.2 การกำหนดค่า $R_C$ , $R_E$ , $R_{B1}$ และ $R_{B2}$

จากสมการ (2.21), (2.22) และ (2.23)

$$V_{CE} = 0.5V_{CC}, V_{RC} = 0.35V_{CC}, V_{RE} = 0.15V_{CC};$$

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

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

จากสมการ (2.26) 
$$R_{TH} = 15R_E$$

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

จากสมการ (2.28) 
$$R_{B1} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{V_{TH}}$$
  

$$R_{B2} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{(V_{CC} - V_{TH})}$$

### 3.7.4.3 การตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

กระทำหลังจากเปลี่ยนเป็นค่ามาตรฐาน

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

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

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

จากสมการ (2.4) 
$$I_C = \beta_F I_B$$

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

ค่า  $V_{CE}$  จะต้องผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 0.5$  V

### 3.7.4.4 การกำหนดค่า $C_B$ , $C_E$ และ $C_C$

กำหนดให้  $X_{C_B} = X_{C_E} = X_{C_C} = 0.5 \Omega$  และ  $F_{L(C_B)} = F_{L(C_E)} = F_{L(C_C)} =$  ค่าความถี่ของ  $C_{F1}$

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

## 3. วงจรขยายจูน

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

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

3.7.4.5 การตรวจสอบค่า  $F_H$  ของวงจร

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

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

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

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

$$\text{จากสมการ (3.29)} \quad R_{FH} = \frac{\{R_{CF2} R_{BB} + r_{bb'} (R_{CF2} + R_{BB})\} r_{b'e}}{\{R_{CF2} R_{BB} + r_{bb'} (R_{CF2} + R_{BB})\} + (R_{CF2} + R_{BB}) r_{b'e}}$$

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

3.7.4.6 การตรวจสอบ  $A_{V(F_R)}$ 

$$\text{จากสมการ (3.31)} \quad A_{V(F_R)} = \frac{V_o}{E_{i1}} = \frac{(0.5) g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})}$$

**ตัวอย่างที่ 3.23** จากรูปที่ 3.21 จงออกแบบวงจรขยายจูนโดยใช้พีโซเซรามิกฟิลเตอร์

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

กำหนดให้  $F_H = 5.5 \text{ MHz}$ ,  $R_{FH} = R_{CF2} = 75 \ \Omega$ ,  $R_{out} = R_L = 75 \ \Omega$ ;

$$C_{b'c} = C_{ob} = 1 \text{ pF}, F_T = 2 \text{ GHz}, T_A = 25^\circ;$$

$$I_{C(dc)} = \frac{2 \times 10^9 \times 25.7 \times 10^{-3}}{75 \times 5.5 \times 10^6 \left\{ (2 \times 3.14 \times 2 \times 10^9 \times 1 \times 10^{-12} \times 75) + 1 \right\}}$$

$$I_{C(dc)} = 64.163 \text{ mA}$$

$$\text{จากสมการ (3.33)} \quad I_{C(dc)} = \frac{\beta_o V_T}{(Z_{infc} - R_{CF2} + r_{bb'})}$$

กำหนดให้  $R_{CF2} = 75 \ \Omega$ ,  $Z_{infc} = 600 \ \Omega$ ,  $r_{bb'} = 2 \ \Omega$ ,  $V_T = 25.7 \text{ mV}$ ;

$$I_{C(dc)} = \frac{85 \times 25.7 \times 10^{-3}}{(600 - 75 + 2)} = 4.15 \text{ mA}$$

## 3. วงจรขยายจูน

ค่าที่ได้จากสมการ (3.33) จะต้องมีค่าต่ำกว่าค่า  $I_{C(dc)}$  ของสมการ (2.20)

โดยเลือก  $I_C = 4 \text{ mA}$

$$\text{จากสมการ (2.24)} \quad R_C = \frac{0.35V_{CC}}{I_C} = \frac{0.35 \times 12}{4 \times 10^{-3}} = 1,050 \Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = \frac{4 \times 10^{-3}}{85} = 47.058 \mu\text{A}$$

$$\text{จากสมการ (2.25)} \quad R_E = \frac{0.15V_{CC}}{(\beta_F + 1)I_B} = \frac{0.15 \times 12}{47.058 \times 10^{-6} (85 + 1)} = 444.775 \Omega$$

$$\text{จากสมการ (2.26)} \quad R_{TH} = 15R_E = 15 \times 444.775 = 6.671 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.27)} \quad V_{TH} &= I_B R_{TH} + V_{BE} + (\beta_F + 1) I_B R_E \\ V_{TH} &= (47.058 \times 10^{-6} \times 6.671 \times 10^3) + 0.6 \\ &\quad + (86 \times 47.058 \times 10^{-6} \times 444.775) \end{aligned}$$

$$V_{TH} = 2.692 \text{ V}$$

$$\text{จากสมการ (2.28)} \quad R_{B1} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{V_{TH}} = \frac{12 \times 6.671 \times 10^3}{2.692} = 29.736 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B2} = \frac{V_{CC} R_{TH}}{(V_{CC} - V_{TH})} = \frac{12 \times 6.671 \times 10^3}{(12 - 2.692)} = 8.6 \text{ k}\Omega$$

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

โดยที่  $R_{FLCB} = X_{C_B} = X_{C_E} = X_{C_C} = 0.5 \Omega$ ,  $F_{L(C_B)} = F_{L(C_E)} = F_{L(C_C)} = 5.5 \text{ MHz}$ ;

$$C_B = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 0.5 \times 5.5 \times 10^6} = 0.0579 \mu\text{F}$$

$$C_B = C_E = C_C = 0.0579 \mu\text{F}$$

**ตอบ** การเปลี่ยนค่า  $R$  และ  $C$  เป็นค่ามาตรฐานที่มีขายในท้องตลาด

$$R_C = 1,050 \Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_C = 1 \text{ k}\Omega \pm 5\% \quad \frac{1}{8} \text{ W}$$

$$R_E = 444.775 \Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_E = 430 \Omega \pm 5\% \quad \frac{1}{8} \text{ W}$$

$$R_{B1} = 29.736 \text{ k}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_{B1} = 30 \text{ k}\Omega \pm 5\% \quad \frac{1}{8} \text{ W}$$

$$R_{B2} = 8.6 \text{ k}\Omega \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } R_{B2} = 9.1 \text{ k}\Omega \pm 5\% \quad \frac{1}{8} \text{ W}$$

$$C_B = 0.0579 \mu\text{F} \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } C_B = 0.056 \mu\text{F} \quad 50 \text{ V}$$

$$C_E = 0.0579 \mu\text{F} \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } C_E = 0.056 \mu\text{F} \quad 50 \text{ V}$$

$$C_C = 0.0579 \mu\text{F} \text{ เป็นค่ามาตรฐาน } C_C = 0.056 \mu\text{F} \quad 50 \text{ V}$$

## การตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

$$\text{จากสมการ (2.1)} \quad V_{TH} = \frac{V_{CC}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{12 \times 9.1 \times 10^3}{(30 \times 10^3 + 9.1 \times 10^3)} = 2.792 \text{ V}$$

$$\text{จากสมการ (2.2)} \quad R_{TH} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{30 \times 10^3 \times 9.1 \times 10^3}{(30 \times 10^3 + 9.1 \times 10^3)} = 6.982 \text{ k}\Omega$$

$$\text{จากสมการ (2.3)} \quad I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta_F + 1)R_E} = \frac{(2.792 - 0.6)}{6.982 \times 10^3 + (86 \times 430)} = 49.861 \text{ }\mu\text{A}$$

$$\text{จากสมการ (2.4)} \quad I_C = \beta_F I_B = 85 \times 49.861 \times 10^{-6} = 4.238 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.5)} \quad V_{CE} &= V_{CC} - \{I_C R_C + (\beta_F + 1)I_B R_E\} \\ V_{CE} &= 12 - \left\{ (4.238 \times 10^{-3} \times 1,000) + (86 \times 49.861 \times 10^{-6} \times 430) \right\} \\ V_{CE} &= 5.918 \text{ V} \end{aligned}$$

**ตอบ** ตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์  $I_B = 49.861 \text{ }\mu\text{A}$ ,  $I_C = 4.238 \text{ mA}$  และ  $V_{CE} = 5.918 \text{ V}$

การตรวจสอบค่า  $F_H$ 

$$\text{จากสมการ (1.9)} \quad g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B/q)} = \frac{4.238 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 164.902 \text{ mS}$$

$$\text{จากสมการ (1.10)} \quad r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{85}{164.902 \times 10^{-3}} = 515.457 \text{ }\Omega$$

$$\text{จากสมการ (2.9)} \quad Z_{out} = R_{out} = \frac{R_C R_L}{(R_C + R_L)} = \frac{1,000 \times 75}{(1,000 + 75)} = 69.767 \text{ }\Omega$$

$$R_{BB} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = \frac{30 \times 10^3 \times 9.1 \times 10^3}{(30 \times 10^3 + 9.1 \times 10^3)} = 6.982 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (3.29)} \quad R_{FH} &= \frac{\{R_{CF2}R_{BB} + r_{bb'}(R_{CF2} + R_{BB})\} r_{b'e}}{\{R_{CF2}R_{BB} + r_{bb'}(R_{CF2} + R_{BB})\} + (R_{CF2} + R_{BB}) r_{b'e}} \\ R_{FH} &= \frac{\{75 \times 6.982 \times 10^3 + 2(75 + 6.982 \times 10^3)\} 515.457}{\{75 \times 6.982 \times 10^3 + 2(7.057 \times 10^3)\} + (7.057 \times 10^3) 515.457} \end{aligned}$$

$$R_{FH} = \frac{537.764 \times 10^3 \times 515.457}{(537.764 \times 10^3 + 3.637 \times 10^6)} = 66.397 \text{ }\Omega$$

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

$$\text{โดยที่ } C_{b'c} = C_{ob} = 1 \text{ pF}, C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{ob} = \frac{164.902 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 2 \times 10^9} - 1 \times 10^{-12} = 12.192 \text{ pF};$$

$$C_T = C_{b'e} + C_{b'c} (1 + g_m R_{out}) = 12.192 \times 10^{-12} + 1 \times 10^{-12} \left\{ 1 + (164.902 \times 10^{-3} \times 69.767) \right\}$$

$$C_T = 24.696 \text{ pF}$$



$$F_H = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 66.397 \times 24.696 \times 10^{-12}} = 97.11 \text{ MHz}$$

**ตอบ**  $F_H = 97.11 \text{ MHz}$  ซึ่งมีค่าสูงกว่า  $5.5 \text{ MHz}$  แสดงว่าทรานซิสเตอร์สามารถขยาย  $5.5 \text{ MHz}$  ได้ดี

**การตรวจสอบ  $A_{V(F_R)}$**

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (3.31)} \quad A_{V(F_R)} &= -\frac{V_o}{E_{i_1}} = -\frac{(0.5) g_m Z_{out} r_{b'e} R_{BB}}{R_{CF2} (R_{BB} + r_{bb'} + r_{b'e}) + R_{BB} (r_{bb'} + r_{b'e})} \\ A_{V(F_R)} &= -\frac{0.5 \times 164.902 \times 10^{-3} \times 69.767 \times 515.457 \times 6.982 \times 10^3}{75 (6.982 \times 10^3 + 2 + 515.457) + 6.982 \times 10^3 (2 + 515.457)} \\ A_{V(F_R)} &= -\frac{20.702 \times 10^6}{(562.459 \times 10^3 + 3.612 \times 10^6)} = -4.959 \end{aligned}$$

$$\text{ตอบ } A_{V(F_R)} = -\frac{V_o}{E_{i_1}} = -4.959$$

**สรุป**

วงจรถ่ายจูนโดยใช้ทรานซิสเตอร์ หรือเฟต จะทำการขยายสัญญาณเพียงความถี่เดียว ที่ได้รับการคัดเลือกเข้ามา  $C_{b'e}$  จะถูกวงจรถ่ายจูนด้านเข้ากำจัดทิ้ง จะเหลือเพียง  $r_{b'e}$  เท่านั้น และวงจรถ่ายจูนด้านออกจะกำจัด  $C_{ce}$  ทิ้งทำให้เหลือเพียง  $R_L$  ยังมีการใช้วงจรทำให้เป็นกลาง ซึ่งประกอบด้วย  $C_n$  และ  $R_n$  ทำให้  $C_{b'e}$  ไม่มีผลต่อการลดลงของอัตราขยายกระแส และแรงดันที่ความถี่สูง ทำให้สามารถใช้งานทรานซิสเตอร์ในย่านความถี่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วงจรถ่ายจูนโดยใช้พีโซเซรามิกฟิลเตอร์ จะใช้  $C_{F1}$  ทำหน้าที่ กรองสัญญาณ  $5.5 \text{ MHz}$  ผ่านเท่านั้น และใช้  $Q_1$  ทรานซิสเตอร์ขยายแรงดันให้สูงขึ้น โดยจัดจุดทำงานชั้นเอ มีกระแสคอลเล็กเตอร์ไหลตลอดเวลา สามารถเปลี่ยนความถี่ของพีโซเซรามิกฟิลเตอร์ตามต้องการ เป็นวงจรถ่ายจูน

เพ็ญแพรว!