

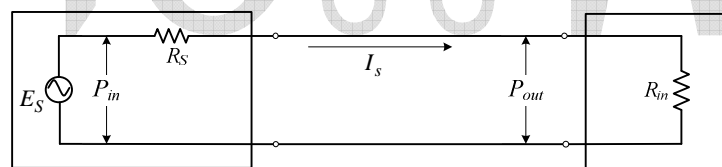
บทที่ 6 วงจรแมตช์และฟิลเตอร์

การนำวงจรหนึ่งซึ่งด้านเข้าของวงจรต่อกับแหล่งกำเนิดสัญญาณ และด้านออกของวงจรต่อกับโหลด จะต้องปฏิบัติตามคู่มือของวงจรมัน ๆ หรือการนำวงจรสองวงจรมาต่อเรียงกัน (Cascade) ซึ่งอิมพีแดนซ์ด้านออก และด้านเข้าของสองวงจรไม่เท่ากัน จำเป็นจะต้องทำการแมตช์เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด ดังนั้นการแมตช์จะต้องมีการเพิ่มวงจรเข้าไประหว่างสองวงจร และจะต้องกำจัดคาร์แอคแตนซ์ให้หมดไปด้วย

6.1 การแมตช์

การแมตช์ (Matching) หมายถึง การทำให้วงจรสองวงจรเชื่อมต่อกัน มีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด จะต้องมีการกำจัดคาร์แอคแตนซ์ทิ้งด้วย

6.1.1 การแมตช์ของวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานอย่างเดียว



วงจรแหล่งกำเนิดสัญญาณด้านเข้า

วงจรด้านเข้าของวงจรขยายสัญญาณ

รูปที่ 6.1 แสดงการแมตช์ที่ประกอบด้วยตัวต้านทานอย่างเดียว

จากรูปที่ 6.1 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- เป็นการแมตช์ระหว่าง E_S กับวงจรด้านเข้าของวงจรขยายสัญญาณ
- E_S เป็นแหล่งกำเนิดแรงดันกระแสสลับ
- R_S ค่าความต้านทานด้านออกของ E_S
- R_m ค่าความต้านทานด้านเข้าของวงจรขยายสัญญาณ
- P_{in} ค่ากำลังด้านเข้า ที่ E_S จ่ายออก
- P_{out} ค่ากำลังด้านออก ที่ R_m ได้รับ

เมื่อ R_m เปลี่ยนแปลงค่าจะทำให้ค่า $P_G = \frac{P_{out}}{P_{in}}$ เปลี่ยนแปลงด้วย จะได้สมการ

$$E_S = I_S R_S + I_S R_{in}$$

$$I_S = \frac{E_S}{(R_S + R_{in})}$$

$$P_{in} = E_S I_S = \frac{(E_S)^2}{(R_S + R_{in})} \quad (6.1)$$

$$P_{out} = (I_S)^2 R_{in} = \frac{(E_S)^2 R_{in}}{(R_S + R_{in})^2} \quad (6.2)$$

$$P_G = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{(E_S)^2 R_{in}}{(R_S + R_{in})^2} \times \frac{(R_S + R_{in})}{(E_S)^2}$$

ดังนั้น

$$P_G = \frac{R_{in}}{(R_S + R_{in})} \quad (6.3)$$

ตัวอย่างที่ 6.1 จากรูปที่ 6.1 จงประมาณค่า P_G เมื่อกำหนดความสัมพันธ์ของ R_{in} กับ R_S

วิธีทำ จากสมการ (6.3) $P_G = \frac{R_{in}}{(R_S + R_{in})}$

โดยที่ P_G คือ อัตราขยายกำลัง

R_{in} คือ ค่าความต้านทานด้านเข้าของวงจร

R_S คือ ค่าความต้านทานภายในของ E_S

ในสภาวะ $R_{in} = \frac{1}{4} R_S$ $P_G = \frac{R_{in}}{(R_S + R_{in})} = \frac{R_S}{(4R_S + R_S)} = \frac{R_S}{5R_S} = \frac{1}{5}$

ในสภาวะ $R_{in} = \frac{1}{3} R_S$ $P_G = \frac{R_{in}}{(R_S + R_{in})} = \frac{R_S}{(3R_S + R_S)} = \frac{R_S}{4R_S} = \frac{1}{4}$

ในสภาวะ $R_{in} = \frac{1}{2} R_S$ $P_G = \frac{R_{in}}{(R_S + R_{in})} = \frac{R_S}{(2R_S + R_S)} = \frac{R_S}{3R_S} = \frac{1}{3}$

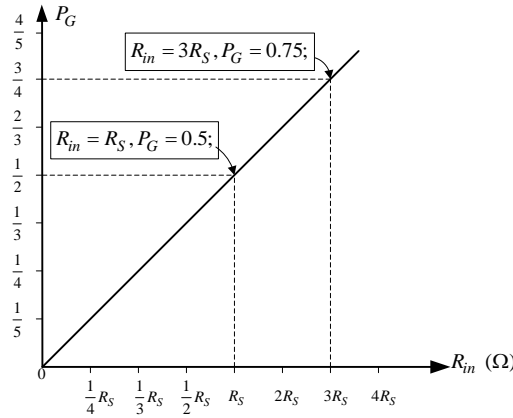
ในสภาวะ $R_{in} = R_S$ $P_G = \frac{R_{in}}{(R_S + R_{in})} = \frac{R_S}{(R_S + R_S)} = \frac{R_S}{2R_S} = \frac{1}{2}$

ในสภาวะ $R_{in} = 2R_S$ $P_G = \frac{R_{in}}{(R_S + R_{in})} = \frac{2R_S}{(R_S + 2R_S)} = \frac{2R_S}{3R_S} = \frac{2}{3}$

ในสภาวะ $R_{in} = 3R_S$ $P_G = \frac{R_{in}}{(R_S + R_{in})} = \frac{3R_S}{(R_S + 3R_S)} = \frac{3R_S}{4R_S} = \frac{3}{4}$

ในสภาวะ $R_{in} = 4R_S$ $P_G = \frac{R_{in}}{(R_S + R_{in})} = \frac{4R_S}{(R_S + 4R_S)} = \frac{4R_S}{5R_S} = \frac{4}{5}$

นำข้อมูล P_G ในแต่ละสถานะมาเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 6.2

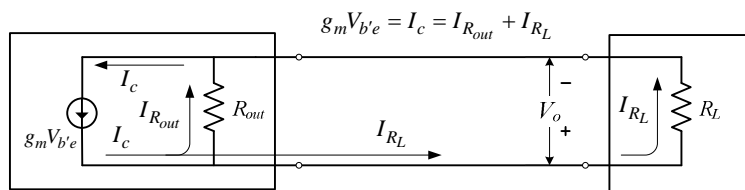


รูปที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P_G กับ R_{in}

จากรูปที่ 6.2 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- เมื่อ R_{in} มีค่าเท่ากับ R_s P_G มีค่า 0.5
- เมื่อ R_{in} มีค่าเท่ากับ $3R_s$ P_G มีค่าเท่ากับ 0.75
- อีกนัยหนึ่งเมื่อ R_{in} มีค่าสูงกว่า R_s จะทำให้การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าให้แก่ R_{in} มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นการออกแบบวงจรขยายสัญญาณ จะต้องทำให้ค่าความต้านทานด้านเข้า มีค่าสูงสุดเท่าที่จะทำได้



วงจรด้านออกของทรานซิสเตอร์ของวงจรขยายสัญญาณ

ตัวต้านทานโหลด

รูปที่ 6.3 แสดงการแมตช์ที่ประกอบด้วยตัวต้านทานอย่างเดียว

จากรูปที่ 6.3 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- เป็นการแมตช์ระหว่างวงจรด้านออกของทรานซิสเตอร์ กับตัวต้านทานโหลด
- $g_m V_{b'e}$ เป็นแหล่งกำเนิดกระแสคอลเล็กเตอร์ ที่ถูกควบคุมโดยแรงดัน $V_{b'e}$
- R_{out} ค่าความต้านทานด้านออกของทรานซิสเตอร์
- R_L ค่าความต้านทานของโหลด

จากรูปที่ 6.3 จะได้สมการ

$$V_o = g_m V_{b'e} (R_{out} \parallel R_L)$$

เนื่องจาก $g_m V_{b'e} = I_c$

$$V_o = I_c (R_{out} \parallel R_L)$$

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

$$V_o = \frac{I_c R_{out} R_L}{(R_{out} + R_L)} \quad (6.4)$$

$$P_{in} = I_c V_o = \frac{(I_c)^2 R_{out} R_L}{(R_{out} + R_L)} \quad (6.5)$$

$$P_{out} = \frac{(V_o)^2}{R_L} = \frac{(I_c R_{out} R_L)^2}{(R_{out} + R_L)^2 R_L} \quad (6.6)$$

จากสมการ (6.5) และ (6.6)

$$P_G = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{(I_c)^2 (R_{out} R_L)^2}{(R_{out} + R_L)^2 R_L} \times \frac{(R_{out} + R_L)}{(I_c)^2 R_{out} R_L}$$

ดังนั้น

$$P_G = \frac{R_{out}}{(R_{out} + R_L)} \quad (6.7)$$

ตัวอย่างที่ 6.2 จากรูปที่ 6.3 จงประมาณค่า P_G เมื่อกำหนดความสัมพันธ์ของ R_{out} กับ R_L

วิธีทำ จากสมการ (6.7)

$$P_G = \frac{R_{out}}{(R_{out} + R_L)}$$

ในสภาวะ $R_{out} = \frac{1}{4} R_L$

$$P_G = \frac{R_L}{(R_L + 4R_L)} = \frac{R_L}{5R_L} = \frac{1}{5}$$

ในสภาวะ $R_{out} = \frac{1}{3} R_L$

$$P_G = \frac{R_L}{(R_L + 3R_L)} = \frac{1}{4}$$

ในสภาวะ $R_{out} = \frac{1}{2} R_L$

$$P_G = \frac{R_L}{(R_L + 2R_L)} = \frac{1}{3}$$

ในสภาวะ $R_{out} = R_L$

$$P_G = \frac{R_L}{(R_L + R_L)} = \frac{1}{2}$$

ในสภาวะ $R_{out} = 2R_L$

$$P_G = \frac{2R_L}{(2R_L + R_L)} = \frac{2}{3}$$

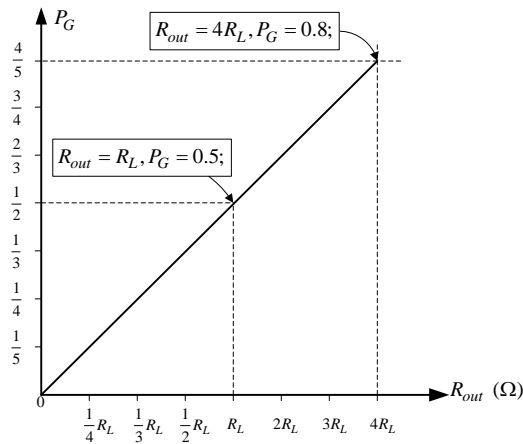
ในสภาวะ $R_{out} = 3R_L$

$$P_G = \frac{3R_L}{(3R_L + R_L)} = \frac{3}{4}$$

ในสภาวะ $R_{out} = 4R_L$

$$P_G = \frac{4R_L}{(4R_L + R_L)} = \frac{4}{5}$$

นำข้อมูล P_G ในแต่ละสถานะมาเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P_G กับ R_{out}

จากรูปที่ 6.4 เมื่อ R_{out} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานด้านออกของทรานซิสเตอร์ หรือเฟต มีค่าสูงกว่า R_L จะทำให้การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าให้แก่ R_L เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการออกแบบจะต้องทำให้ค่าความต้านทานด้านออกของทรานซิสเตอร์ หรือเฟตมีค่าสูงประมาณ $3R_L$ ขึ้นไป

ในความเป็นจริงค่าความต้านทานด้านเข้า และด้านออกของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ย่านความถี่สูง จะไม่เป็นค่าความต้านทานอย่างเดียวนั้น ส่วนมากจะอยู่ในรูปอิมพีแดนซ์ ซึ่งประกอบด้วยค่าความต้านทาน และค่ารีแอคแตนซ์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้ จะต้องเป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดกับตัวต้านทานเท่านั้น ดังนั้นการแมตซ์ที่ดีจำเป็น จะต้องกำจัดค่ารีแอคแตนซ์ด้านเข้า และด้านออกของวงจรให้หมดสิ้น เหลือเพียงความต้านทานเท่านั้น

6.1.2 การแมตซ์ด้วยวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

อิมพีแดนซ์ด้านเข้า และด้านออกของทรานซิสเตอร์ และเฟต จะประกอบด้วย ความต้านทาน และค่ารีแอคแตนซ์ต่อขนานกัน จึงเหมาะสม กับการใช้วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ในการแมตซ์วงจร

6.1.2.1 การวิเคราะห์และออกแบบวงจร

จากรูปที่ 6.5 ก. สามารถเขียนสมการของ Z_{in} ได้

$$Z_{in} = \left[R_{BB} \parallel \left\{ r_{bb'} + \left(r_{b'e} \parallel -jX_{C_T} \right) \right\} \right]$$

เนื่องจาก R_{BB} มีค่าความต้านทานสูง เมื่อต่อขนานกับค่าความต้านทานต่ำ สามารถละทิ้ง R_{BB} ได้

$$Z_{in} = r_{bb'} + \left(r_{b'e} \parallel -jX_{C_T} \right) = r_{bb'} + \frac{-jX_{C_T} r_{b'e}}{\left(r_{b'e} - jX_{C_T} \right)}$$

6. วงจรแมตซ์และฟิลเตอร์

$$Z_{in} = \frac{r_{bb'}(r_{b'e} - jX_{C_T}) - jX_{C_T}r_{b'e}}{(r_{b'e} - jX_{C_T})} = \frac{r_{bb'}r_{b'e} - jX_{C_T}r_{bb'} - jX_{C_T}r_{b'e}}{(r_{b'e} - jX_{C_T})}$$

$$Z_{in} = \frac{r_{bb'}r_{b'e} - jX_{C_T}(r_{bb'} + r_{b'e})}{(r_{b'e} - jX_{C_T})}$$

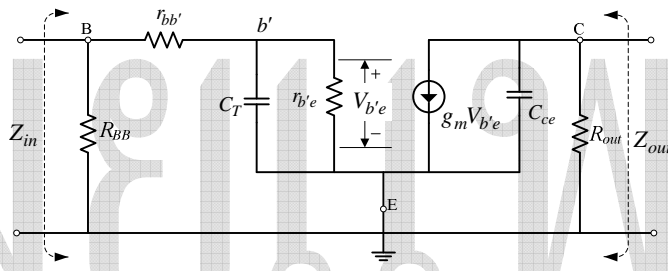
เนื่องจาก $-jX_{C_T} = \frac{1}{j\omega C_T}$

$$Z_{in} = \frac{j\omega C_T r_{bb'}r_{b'e} + (r_{bb'} + r_{b'e})}{j\omega C_T} \times \frac{j\omega C_T}{j\omega C_T r_{b'e} + 1}$$

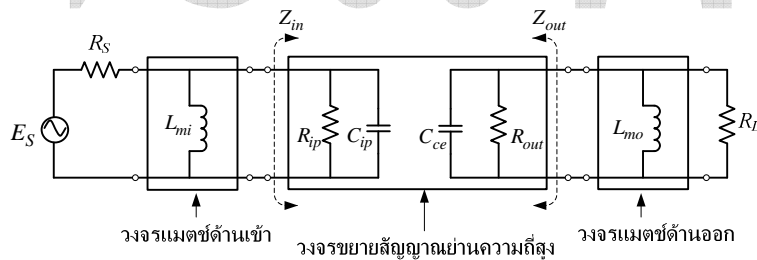
$$Z_{in} = \frac{j\omega C_T r_{bb'}r_{b'e} + (r_{bb'} + r_{b'e})}{j\omega C_T r_{b'e} + 1}$$

ดังนั้น

$$Z_{in} = \frac{(r_{bb'} + r_{b'e}) + j\omega C_T r_{bb'}r_{b'e}}{1 + j\omega C_T r_{b'e}} \tag{6.8}$$



ก. แสดงวงจรสมมูลของวงจรขยายสัญญาณย่านความถี่สูง



ข. แสดงการแมตซ์ด้านเข้าและออก

รูปที่ 6.5 แสดงการแมตซ์ด้านเข้าและออกของวงจรขยายย่านความถี่สูง

การเปลี่ยน Z_{in} จากรูปแบบแกนมุมฉากให้เป็นแบบเชิงขั้ว

$$Z_{in} = r \angle \theta$$

$$r = \sqrt{\frac{(r_{bb'} + r_{b'e})^2 + (\omega C_T r_{bb'}r_{b'e})^2}{1 + (\omega C_T r_{b'e})^2}}$$

$$\theta = \left\{ \tan^{-1} \frac{(\omega C_T r_{bb'}r_{b'e})}{(r_{bb'} + r_{b'e})} \right\} - \left\{ \tan^{-1} \omega C_T r_{b'e} \right\}$$

ต้องการให้ค่าความต้านทาน และรีแอกแตนซ์ของ Z_{in} อยู่ในรูปวงจรมานาน หรือวงจรมานานโดยใช้สมการ ต่อไปนี้

$$\boxed{R_{ip} = \frac{r}{\cos \theta}, X_{ip} = \frac{r}{\sin \theta};} \text{ เมื่อ } (-X_{ip} = X_{C_{ip}}) \quad (6.9a)$$

$$\boxed{R_{is} = r \cos \theta, X_{is} = r \sin \theta;} \text{ เมื่อ } (-X_{is} = X_{C_{is}}) \quad (6.9b)$$

โดยที่ R_{ip} คือ ค่าความต้านทานด้านเข้าแบบขนานของวงจร

X_{ip} คือ ค่ารีแอกแตนซ์ด้านเข้าแบบขนานของวงจร

R_{is} คือ ค่าความต้านทานด้านเข้าแบบอนุกรมของวงจร

X_{is} คือ ค่ารีแอกแตนซ์ด้านเข้าแบบอนุกรมของวงจร

$$r = \sqrt{\frac{(r_{bb'} + r_{b'e})^2 + (\omega C_T r_{bb'} r_{b'e})^2}{1^2 + (\omega C_T r_{b'e})^2}}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{\omega C_T r_{bb'} r_{b'e}}{r_{bb'} + r_{b'e}} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} (\omega C_T r_{b'e})$$

$$\theta = \theta_1 - \theta_2$$

สมการ Z_{in} แบบขนาน $Z_{in} = \{ R_{ip} \parallel (-jX_{C_{ip}}) \}$

สมการ Z_{in} แบบอนุกรม $Z_{in} = R_{is} - jX_{C_{is}}$

จากรูปที่ 6.5 ก. สามารถเขียนสมการของ Z_{out} ได้

$$Z_{out} = (R_{out} \parallel -jX_{C_{ce}}) = \left(R_{out} \parallel \frac{1}{j\omega C_{ce}} \right)$$

$g_m V_{b'e}$ ถือว่ามีความต้านทานภายในสูงมากสามารถละทิ้งได้

จากรูปที่ 6.5 ข. เฉพาะการแมตซ์ด้านเข้าของวงจร Z_{in} ประกอบด้วย R_{ip} และ C_{ip} ซึ่งต่อแบบขนาน เมื่อต้องการกำจัด C_{ip} จำเป็นต้องใช้ L_{mi} มาต่อขนาน เมื่อเกิดการเรโซแนนซ์ค่ารีแอกแตนซ์ก็จะหักล้างกันหมด Z_{in} จะเหลือเพียง R_{ip} อย่างเดียว สามารถเขียนสมการได้

$$\omega L_{mi} = \frac{1}{\omega C_{ip}}$$

$$\omega^2 L_{mi} C_{ip} = 1$$

$$\omega^2 = \frac{1}{L_{mi} C_{ip}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L_{mi} C_{ip}}} = \frac{1}{\sqrt{L_{mi} C_{ip}}}$$

เนื่องจาก $\omega = 2\pi F_R$

$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{mi}C_{ip}}} \quad (6.10)$$

$$L_{mi} = \frac{1}{(2\pi F_R)^2 C_{ip}} \quad (6.11)$$

จากรูปที่ 6.5 ข. เฉพาะการแมตซ์ด้านออกของวงจร Z_{out} ประกอบด้วย C_{ce} และ R_L ต่อขนานกัน เมื่อต้องการกำจัดค่า C_{ce} จะต้องใช้ L_{mo} มาต่อขนานกับ C_{ce} เมื่อวงจรเกิดการเรโซแนนซ์คาร์รีแอกแตนซ์ ก็จะหักล้างกันหมด Z_{out} จะเหลือเพียง R_{out} อย่างเดียว เขียนสมการได้

$$\omega L_{mo} = \frac{1}{\omega C_{ce}}$$

$$\omega^2 L_{mo} C_{ce} = 1$$

$$\omega^2 = \frac{1}{L_{mo} C_{ce}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L_{mo} C_{ce}}} = \frac{1}{\sqrt{L_{mo} C_{ce}}}$$

เนื่องจาก $\omega = 2\pi F_R$

$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{mo}C_{ce}}} \quad (6.12)$$

$$L_{mo} = \frac{1}{(2\pi F_R)^2 C_{ce}} \quad (6.13)$$

6.1.2.2 การประมาณค่า B_{Win}

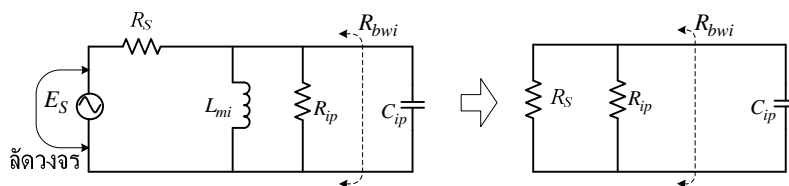
B_{Win} คือ ค่าแบนด์วิดท์ของวงจรด้านเข้า จากรูปที่ 6.6 การประมาณค่า R_{bwi} ซึ่งเป็นความต้านทานที่เสนอต่อ C_{ip} โดยละทิ้ง L_{mi} จะได้สมการ

$$R_{bwi} = (R_{ip} \parallel R_S) = \frac{R_{ip}R_S}{(R_{ip} + R_S)} \quad (6.14)$$

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

โดยที่ $R = R_{bwi}, C = C_{ip};$

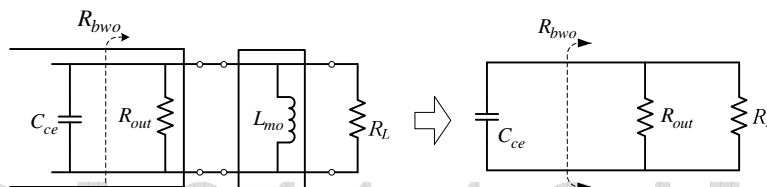
ดังนั้น
$$B_{Win} = \frac{1}{2\pi R_{bwi}C_{ip}} \quad (6.15)$$



รูปที่ 6.6 แสดงการประมาณค่า R_{bwi} ที่เสนอต่อ C_{ip} โดยละทิ้ง L_{mi}

6.1.2.3 การประมาณค่า B_{Wout}

B_{Wout} คือ ค่าแบนด์วิดท์ของวงจรด้านออก จากรูปที่ 6.7 การประมาณค่า R_{bwo} ซึ่งเป็นความต้านทานที่เสนอต่อ C_{ce} โดยละทิ้ง L_{mo}



รูปที่ 6.7 แสดงการประมาณค่า R_{bwo} ที่เสนอต่อ C_{ce} โดยละทิ้ง L_{mo}

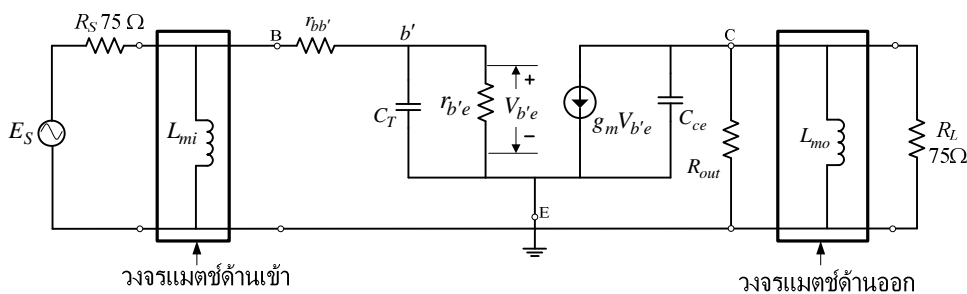
$$R_{bwo} = (R_{out} \parallel R_L) = \frac{R_{out} R_L}{(R_{out} + R_L)} \tag{6.16}$$

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

เนื่องจาก $R = R_{bwo}$ และ $C = C_{ce}$

ดังนั้น
$$B_{Wout} = \frac{1}{2\pi R_{bwo} C_{ce}} \tag{6.17}$$

*หมายเหตุ แบนด์วิดท์ของวงจร จะถูกเลือกจากค่าของ B_{Win} หรือ B_{Wout} ที่มีค่าต่ำสุด



รูปที่ 6.8 แสดงรายละเอียดของการแมตซ์วงจรขยายสัญญาณย่านความถี่สูง

ตัวอย่างที่ 6.3 วงจรสมมูลของทรานซิสเตอร์ขยายแรงดัน มีรายละเอียด $r_{bb'} = 2 \Omega$, $r_{b'e} = 1.5 \text{ k}\Omega$,
 $C_T = 1.5 \text{ pF}$, $C_{ce} = 0.5 \text{ pF}$, $R_{out} = 1 \text{ k}\Omega$; ความถี่เรโซแนนซ์ 700 MHz ให้ทำการแมตซ์
ตามรูปที่ 6.8 จงประมาณค่า C_{ip} , R_{ip} , L_{mi} , L_{mo} , B_{Win} , B_{Wout} และ B_W ของวงจร

วิธีทำ จากสมการ (6.9a) $R_{ip} = \frac{r}{\cos \theta}$, $X_{ip} = \frac{r}{\sin \theta}$;

โดยที่ $r = \sqrt{\frac{(r_{bb'} + r_{b'e})^2 + (\omega C_T r_{bb'} r_{b'e})^2}{1^2 + (\omega C_T r_{b'e})^2}}$

$$r = \sqrt{\frac{(2 + 1.5 \times 10^3)^2 + (2 \times 3.14 \times 700 \times 10^6 \times 1.5 \times 10^{-12} \times 2 \times 1.5 \times 10^3)^2}{1^2 + (2 \times 3.14 \times 700 \times 10^6 \times 1.5 \times 10^{-12} \times 1.5 \times 10^3)^2}}$$

$$r = \sqrt{\frac{2.256 \times 10^6 + 391.327}{1 + 97.831}} = 151.098 \Omega$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{\omega C_T r_{bb'} r_{b'e}}{r_{bb'} + r_{b'e}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{6.28 \times 700 \times 10^6 \times 1.5 \times 10^{-12} \times 2 \times 1.5 \times 10^3}{2 + 1.5 \times 10^3} \right)$$

$$\theta_1 = (\tan^{-1} 0.01317)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} (\omega C_T r_{b'e}) = \tan^{-1} (6.28 \times 700 \times 10^6 \times 1.5 \times 10^{-12} \times 1.5 \times 10^3)$$

$$\theta_2 = (\tan^{-1} 9.891)$$

$$\theta = \theta_1 - \theta_2 = (\tan^{-1} 0.01317) - (\tan^{-1} 9.891) = -83.472$$

$$R_{ip} = \frac{r}{\cos \theta} = \frac{151.098}{\cos(-83.472)} = 1.329 \text{ k}\Omega$$

$$X_{ip} = \frac{r}{\sin \theta} = \frac{151.098}{\sin -83.472} = -152.084 \Omega \quad (-X_{ip} = X_{C_{ip}})$$

$$C_{ip} = \frac{1}{\omega X_{C_{ip}}} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 700 \times 10^6 \times 152.084)} = 1.495 \text{ pF}$$

จากสมการ (6.11) $L_{mi} = \frac{1}{(2\pi F_R)^2 C_{ip}} = \frac{1}{1.495 \times 10^{-12} (2 \times 3.14 \times 700 \times 10^6)^2}$

$$L_{mi} = 34.613 \text{ nH}$$

จากสมการ (6.13) $L_{mo} = \frac{1}{(2\pi F_R)^2 C_{ce}} = \frac{1}{0.5 \times 10^{-12} (2 \times 3.14 \times 700 \times 10^6)^2}$

$$L_{mo} = 103.493 \text{ nH}$$

จากสมการ (6.14) $R_{bwi} = \frac{R_{ip} R_S}{(R_{ip} + R_S)} = \frac{1.329 \times 10^3 \times 75}{(1.329 \times 10^3 + 75)} = 70.993 \Omega$

$$\text{จากสมการ (6.15)} \quad B_{Win} = \frac{1}{2\pi R_{bwi} C_{ip}} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 70.993 \times 1.495 \times 10^{-12})} = 1.5 \text{ GHz}$$

$$\text{จากสมการ (6.16)} \quad R_{bwo} = \frac{R_{out} R_L}{(R_{out} + R_L)} = \frac{1 \times 10^3 \times 75}{(1 \times 10^3 + 75)} = 69.767 \ \Omega$$

$$\text{จากสมการ (6.17)} \quad B_{Wout} = \frac{1}{2\pi R_{bwo} C_{ce}} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 69.767 \times 0.5 \times 10^{-12})} = 4.564 \text{ GHz}$$

ตอบ $R_{ip} = 1.329 \text{ k}\Omega$, $C_{ip} = 1.495 \text{ pF}$, $L_{mi} = 34.613 \text{ nH}$, $L_{mo} = 103.493 \text{ nH}$, $B_{Win} = 1.5 \text{ GHz}$,
 $B_{Wout} = 4.564 \text{ GHz}$ และ แบนด์วิดท์ของวงจรมีค่าเท่ากับ $B_{Win} = 1.5 \text{ GHz}$

การใช้งานของ L_{mi} และ L_{mo} จะต่อกับด้านเข้า และด้านออกของวงจรขยาย ย่านความถี่สูง โดยผ่านตัวเก็บประจุเชื่อมต่อของวงจร

6.1.2.4 การทำให้ค่าแบนด์วิดท์ของวงจรลดลง

โดยนำ C_{ipp} ต่อขนานกับ C_{ip} และเปลี่ยนค่า L_{mi} เป็น L'_{mi} แสดงในรูปที่ 6.9

$$\text{จากสมการ (6.14)} \quad R_{bwi} = (R_{ip} \parallel R_S) = \frac{R_{ip} R_S}{(R_{ip} + R_S)}$$

$$\text{จากสมการ (6.15)} \quad B_{Win} = \frac{1}{2\pi R_{bwi} C_{ip}}$$

เนื่องจาก $C_{ip} = C_{ipx}$

$$B_{Win} = \frac{1}{2\pi R_{bwi} C_{ipx}}$$

ต้องการหาค่า C_{ipx}

$$\text{ดังนั้น} \quad C_{ipx} = \frac{1}{2\pi R_{bwi} (B_{Win})} \quad (6.18)$$

ดังนั้นตัวเก็บประจุที่จะต่อขนานกับ C_{ip} จะถูกประมาณค่าใหม่

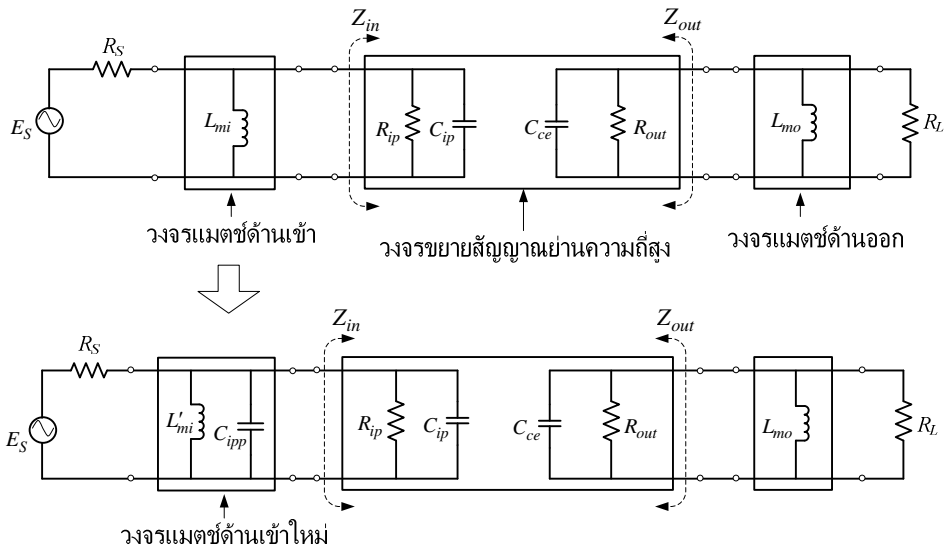
$$C_{ipp} = C_{ipx} - C_{ip} \quad (6.19)$$

เมื่อ $(C_{ipp} \parallel C_{ip})$ จูเนอ โชนแนซจะเปลี่ยนจึงต้องประมาณค่า L_{mi} ใหม่

$$\text{จากสมการ (6.11)} \quad L_{mi} = \frac{1}{(2\pi F_R)^2 C_{ip}} \text{ โดยที่ } C_{ip} \text{ จะถูกเปลี่ยนเป็น } (C_{ipp} \parallel C_{ip})$$

$$\text{ดังนั้น} \quad L'_{mi} = \frac{1}{(2\pi F_R)^2 (C_{ip} + C_{ipp})} \quad (6.20)$$

6. วงจรแมตซ์และฟิลเตอร์



รูปที่ 6.9 แสดงการลดค่าแบนด์วิดท์โดยใช้ L'_{mi} และ C_{ipp}

ตัวอย่างที่ 6.4 จากตัวอย่างที่ 6.3 ต้องการลดแบนด์วิดท์ด้านเข้า B_{Win} จาก 1.5 GHz ให้เหลือเพียง 50 MHz โดยความถี่เรโซแนนซ์คงเดิม

วิธีทำ การทำให้ค่าแบนด์วิดท์ลดลงโดยนำ C_{ipx} ต่อขนานกับ C_{ip}

จากสมการ (6.14)
$$R_{bwi} = \frac{R_{ip} R_S}{(R_{ip} + R_S)} = \frac{1.329 \times 10^3 \times 75}{(1.329 \times 10^3 + 75)} = 70.993 \Omega$$

จากสมการ (6.18)
$$C_{ipx} = \frac{1}{2\pi R_{bwi} (B_{Win})}$$

โดยที่ C_{ipx} คือ ค่าความจุภายนอกตัวใหม่แทนที่ C_{ip}

$B_{Win} = 50 \text{ MHz}$

$$C_{ipx} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 70.993 \times 50 \times 10^6} = 44.859 \text{ pF}$$

ดังนั้นตัวเก็บประจุที่จะต่อขนานกับ C_{ip} จะถูกประมาณค่าใหม่

จากสมการ (6.19)
$$C_{ipp} = C_{ipx} - C_{ip}$$

โดยที่ C_{ipp} คือ ค่าความจุที่จะต่อขนานกับ C_{ip}

$$C_{ipp} = (44.859 \times 10^{-12} - 1.495 \times 10^{-12}) = 43.364 \text{ pF}$$

จากสมการ (6.20)
$$L'_{mi} = \frac{1}{(2\pi F_R)^2 (C_{ip} + C_{ipp})}$$

โดยที่ L'_{mi} คือ ค่าความเหนี่ยวนำใหม่ที่ต่อขนานกับ C_{ipp}

$$L'_{mi} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 700 \times 10^6)^2 (1.495 \times 10^{-12} + 43.364 \times 10^{-12})}$$

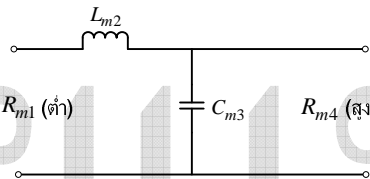
$$L'_{mi} = 1.153 \text{ nH}$$

ตอบ วงจรแมตซ์ด้านเข้าประกอบด้วย $L'_{mi} = 1.153 \text{ nH}$ และ $C_{ipp} = 43.364 \text{ pF}$

6.1.3 การแมตซ์โดยใช้วงจรรวมกลุ่ม

วงจรรวมกลุ่ม (Lump Circuits) เป็นวงจรสำเร็จรูปที่มีสมการในการประมาณค่าของ R, L และ C สามารถกำหนดค่าความถี่เรโซแนนซ์ และค่าแบนด์วิดท์ของวงจรได้ด้วย วงจรรวมกลุ่มมี 4 แบบ

6.1.3.1 วงจรรวมกลุ่มแบบที่ 1



รูปที่ 6.10 แสดงวงจรรวมกลุ่มแบบที่ 1

$$Q_m = \sqrt{\left(\frac{R_{m4} - R_{m1}}{R_{m1}}\right)}, Q_m = \frac{F_R}{B_W}; \quad (6.21a)$$

$$L_{m2} = \frac{Q_m R_{m1}}{\omega} \quad (6.21b)$$

$$C_{m3} = \frac{L_{m2}}{R_{m1}^2 + (\omega L_{m2})^2} \quad (6.21c)$$

ข้อกำหนด $R_{m4} > R_{m1}$

โดยที่ Q_m คือ ค่าตัวประกอบคุณภาพของวงจรรวมกลุ่ม

ω คือ ค่าความถี่เชิงมุม ($2\pi F_R$)

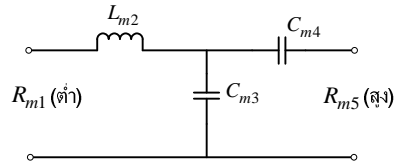
F_R คือ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรรวมกลุ่ม

B_W คือ ค่าแบนด์วิดท์ของวงจรรวมกลุ่ม

6.1.3.2 วงจรรวมกลุ่มแบบที่ 2

ข้อกำหนด $R_{m5} > R_{m1}$

$$Q_m = \sqrt{a \left(\frac{R_{m5} - R_{m1}}{R_{m1}} \right)} \quad (6.22a)$$



รูปที่ 6.11 แสดงวงจรรวมกลุ่มแบบที่ 2

เนื่องจาก $a > 1$

$$L_{m2} = \frac{Q_m R_{m1}}{\omega} \quad (6.22b)$$

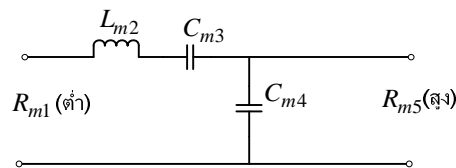
$$C_{m3} = \frac{1}{\omega R_{m1} (1 + Q_m^2)} \left(Q_m - \sqrt{\frac{R_{m1} (1 + Q_m^2)}{R_{m5}} + 1} \right) \quad (6.22c)$$

$$C_{m4} = \frac{\sqrt{R_{m5}}}{\omega R_{m5} \sqrt{R_{m1} (1 + Q_m^2) - R_{m5}}} \quad (6.22d)$$

6.1.3.3 วงจรรวมกลุ่มแบบที่ 3

ข้อกำหนด

$$R_{m5} > R_{m1}$$



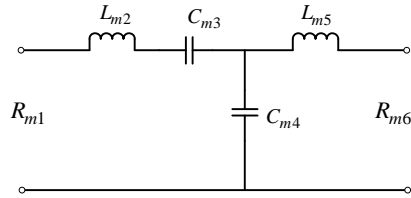
รูปที่ 6.12 แสดงวงจรรวมกลุ่มแบบที่ 3

$$C_{m3} = \frac{1}{\omega Q_m R_{m1}} \quad (6.23a)$$

$$C_{m4} = \frac{1}{\omega R_{m5} \sqrt{\left(\frac{R_{m1}}{R_{m5} - R_{m1}} \right)}} \quad (6.23b)$$

$$L_{m2} = \frac{1}{\omega^2 C_{m3}} + R_{m1} R_{m5} C_{m4} \quad (6.23c)$$

6.1.3.4 วงจรรวมกลุ่มแบบที่ 4



รูปที่ 6.13 แสดงวงจรรวมกลุ่มแบบที่ 4

ข้อกำหนด

 Q_{m1} ควรมามีค่าเท่ากับ Q_{m2}

$$L_{m5} = \frac{Q_{m2} R_{m6}}{\omega} \quad (6.24a)$$

$$C_{m3} = \frac{1}{\omega Q_{m1} R_{m1}} \quad (6.24b)$$

$$C_{m4} = \frac{Q_{m2}}{\omega (1 + Q_{m2}^2)} \left(\frac{R_{m6} + R_{m1}}{R_{m6} R_{m1}} \right) \quad (6.24c)$$

$$L_{m2} = \frac{1 + (\omega C_{m3} R_{m1} Q_{m2})}{\omega^2 C_{m3}} \quad (6.24d)$$

วงจรรวมกลุ่ม ทำหน้าที่ เชื่อมต่อวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน เพื่อการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุด และกำจัดคาร์แอคแตนซ์ให้หมดไป การประมาณค่า L_m และ C_m จะกระทำเมื่อค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าและออก เป็นค่าความต้านทานอย่างเดียว แต่เวลาใช้งานจริงค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าและออก จะมีคาร์แอคแตนซ์อยู่จึงจำเป็นต้องกำจัดทิ้ง โดยการเปลี่ยนแปลงค่า L_m หรือ C_m ในวงจรรวมกลุ่ม

สมการที่ใช้ในการประมาณค่า L และ C ของวงจรรวมกลุ่ม

$$C_m \text{ ขนาน } C_x \quad \text{จะได้ } C_{m(new)} = C_m - C_x \quad (6.25a)$$

$$C_m \text{ ขนาน } L_x \quad \text{จะได้ } C_{m(new)} = \frac{(\omega^2 C_m L_x + 1)}{\omega^2 L_x} \quad (6.25b)$$

$$L_m \text{ อนุกรม } L_x \quad \text{จะได้ } L_{m(new)} = L_m - L_x \quad (6.25c)$$

$$L_m \text{ อนุกรม } C_x \quad \text{จะได้ } L_{m(new)} = \frac{\omega^2 L_m C_x + 1}{\omega^2 C_x} \quad (6.25d)$$

$$C_m \text{ อนุกรม } C_x \quad \text{จะได้ } C_{m(new)} = C_m - C_x \quad (6.25e)$$

$$C_m \text{ อนุกรม } L_x \text{ จะได้ } C_{m(new)} = \frac{C_m}{1 + \omega^2 C_m L_x} \quad (6.25f)$$

โดยที่ L_m, C_m คือ ค่าความเหนี่ยวนำ, ค่าความจุของอุปกรณ์ในวงจรรวมกลุ่ม

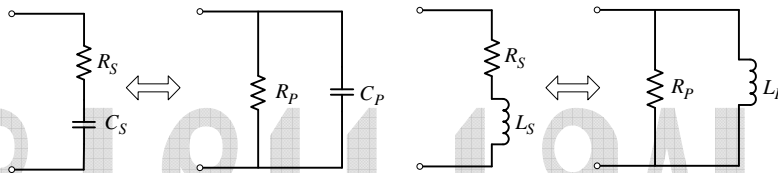
$L_{m(new)}, C_{m(new)}$ คือ ค่าความเหนี่ยวนำ, ค่าความจุของอุปกรณ์ในวงจรรวมกลุ่มใหม่ที่กำจัด

ค่ารีแอคแตนซ์แล้ว

C_x, L_x คือ ค่าความจุและค่าความเหนี่ยวนำของอิมพีแดนซ์ด้านเข้าและออกที่ต่อเข้ากับ

วงจรรวมกลุ่ม

ในบางครั้ง จำเป็นต้องเปลี่ยนรูปแบบอิมพีแดนซ์ ของวงจรที่มาต่อเชื่อม กับด้านเข้า และออกของวงจรรวมกลุ่ม จากรูปแบบขนานกลายเป็นรูปแบบอนุกรม



รูปที่ 6.14 แสดงรูปแบบของอิมพีแดนซ์ของวงจร

R_S อนุกรม C_S และ R_P ขนาน C_P

$$R_S = \frac{R_P}{1 + (\omega C_P R_P)^2}, C_S = \frac{1 + (\omega C_P R_P)^2}{(\omega R_P)^2 C_P}; \quad (6.26a)$$

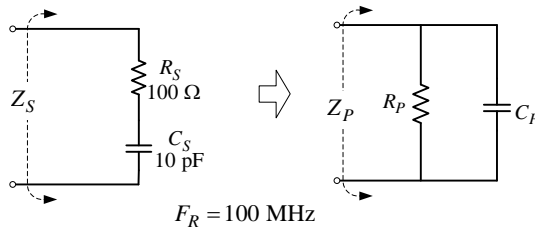
$$R_P = \frac{1 + (\omega C_S R_S)^2}{R_S (\omega C_S)^2}, C_P = \frac{C_S}{1 + (\omega C_S R_S)^2}; \quad (6.26b)$$

R_S อนุกรม L_S และ R_P ขนาน L_P

$$R_S = \frac{R_P (\omega L_P)^2}{R_P^2 + (\omega L_P)^2}, L_S = \frac{R_P^2 L_P}{R_P^2 + (\omega L_P)^2}; \quad (6.27a)$$

$$R_P = \frac{R_S^2 (\omega L_S)^2}{R_S^2}, L_P = \frac{R_S^2 + (\omega L_S)^2}{\omega^2 L_S}; \quad (6.27b)$$

ตัวอย่างที่ 6.5 จงเปลี่ยนจาก R_S อนุกรม C_S เป็น R_P ขนาน C_P และหาค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองแบบ



รูปที่ 6.15 แสดงรูปแบบ R_S อนุกรม C_S เป็น R_P ขนาน C_P

วิธีทำ

$$\omega = 2\pi F_R = 2 \times 3.14 \times 100 \times 10^6 = 628 \times 10^6 \text{ Rad/s}$$

จากสมการ (6.26b)

$$R_P = \frac{1 + (\omega C_S R_S)^2}{R_S (\omega C_S)^2} = \frac{1 + (628 \times 10^6 \times 10 \times 10^{-12} \times 100)^2}{100 (628 \times 10^6 \times 10 \times 10^{-12})^2}$$

$$R_P = 353.559 \text{ } \Omega$$

$$C_P = \frac{C_S}{1 + (\omega C_S R_S)^2} = \frac{10 \times 10^{-12}}{1 + (628 \times 10^6 \times 10 \times 10^{-12} \times 100)^2} = 7.171 \text{ pF}$$

$$Z_P = \frac{R_P}{1 + j(\omega C_P R_P)} = \frac{353.559}{1 + j(628 \times 10^6 \times 7.171 \times 10^{-12} \times 353.559)}$$

$$Z_P = 188.043 \angle -57.868^\circ \text{ } \Omega$$

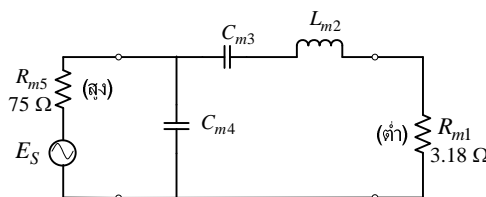
$$Z_S = R_S + \frac{1}{j\omega C_S} = 100 + \frac{1}{j(628 \times 10^6 \times 10 \times 10^{-12})}$$

$$Z_S = 188.031 \angle -57.871^\circ \text{ } \Omega$$

ตอบ $R_P = 353.559 \text{ } \Omega$, $C_P = 7.171 \text{ pF}$, $Z_P = 188.043 \angle -57.868^\circ \text{ } \Omega$,

$Z_S = 188.031 \angle -57.871^\circ \text{ } \Omega$;

ตัวอย่างที่ 6.6 จงแมตซ์แหล่งกำเนิดแรงดัน ที่มีอิมพีแดนซ์ด้านออก $75 \text{ } \Omega$ ต่อเข้ากับด้านเข้าของทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งที่มีอิมพีแดนซ์ $(3.18 - j3.10) \text{ } \Omega$ ที่ความถี่ 150 MHz มีแบนด์วิดท์ 2 MHz โดยใช้วงจรรวมกลุ่มแบบที่ 3



รูปที่ 6.16 แสดงการใช้งานวงจรรวมกลุ่มแบบที่ 3

วิธีทำ ข้อกำหนด $R_{m5} > R_{m1}$

กำหนดให้ $R_{m5} = 75 \Omega$, $R_{m1} = 3.18 \Omega$;

จากสมการ $Q_m = \frac{F_R}{B_W}$

โดยที่ $F_R = 150 \text{ MHz}$, $B_W = 2 \text{ MHz}$;

$$Q_m = \frac{F_R}{B_W} = \frac{150 \times 10^6}{2 \times 10^6} = 75$$

จากสมการ (6.23a) $C_{m3} = \frac{1}{\omega Q_m R_{m1}}$

โดยที่ $\omega = 2\pi F_R = 2 \times 3.14 \times 150 \times 10^6 = 942 \times 10^6 \text{ Rad/s}$

$$R_{m1} = 3.18 \Omega$$

$$C_{m3} = \frac{1}{942 \times 10^6 \times 75 \times 3.18} = 4.451 \text{ pF}$$

จากสมการ (6.23b)

$$C_{m4} = \frac{1}{\omega R_{m5} \sqrt{\left(\frac{R_{m1}}{R_{m5} - R_{m1}}\right)}}$$

โดยที่ $R_{m1} = 3.18 \Omega$, $R_{m5} = 75 \Omega$;

$$C_{m4} = \frac{1}{(942 \times 10^6 \times 75) \sqrt{\left(\frac{3.18}{75 - 3.18}\right)}} = 67.401 \text{ pF}$$

จากสมการ (6.23c)

$$L_{m2} = \frac{1}{\omega^2 C_{m3}} + R_{m1} R_{m5} C_{m4}$$

$$L_{m2} = \frac{1}{4.451 \times 10^{-12} (942 \times 10^6)^2} + (3.18 \times 75 \times 67.401 \times 10^{-12})$$

$$L_{m2} = 269.261 \text{ nH}$$

จะได้ $R_{m1} = 3.18 \Omega$, $L_{m2} = 269.261 \text{ nH}$, $C_{m3} = 4.451 \text{ pF}$, $C_{m4} = 67.401 \text{ pF}$,

$R_{m5} = 75 \Omega$; เนื่องจากอิมพีแดนซ์ด้านเข้ามีค่า $(3.18 - j3.10) \Omega$ จำเป็นต้องกำจัด $(-j3.10) \Omega$ ที่

โดยกำหนด $X_{C_x} = 3.10 \Omega$

$$C_x = \frac{1}{\omega X_{C_x}} = \frac{1}{942 \times 10^6 \times 3.10} = 342.442 \text{ pF}$$

จากสมการ (6.25d) L_m อนุกรม C_x จะได้ $L_{m(new)} = \frac{\omega^2 L_m C_x + 1}{\omega^2 C_x}$

โดยที่ $L_{m(new)}$ คือ ค่าความเหนี่ยวนำใหม่ของ L_{m2} เมื่อกำจัดค่า C_x

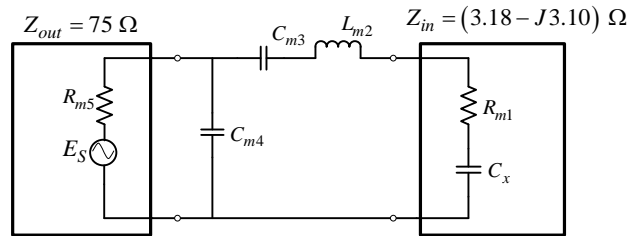
$$L_m = L_{m2} = 269.261 \text{ nH}, C_x = 342.442 \text{ pF};$$

$$L_{m(new)} = \frac{\left\{ (942 \times 10^6)^2 (269.261 \times 10^{-9} \times 342.442 \times 10^{-12}) \right\} + 1}{342.442 \times 10^{-12} (942 \times 10^6)^2}$$

$$L_{m(new)} = 272.551 \text{ nH}$$

$$L_{m2} = L_{m(new)} = 272.551 \text{ nH}$$

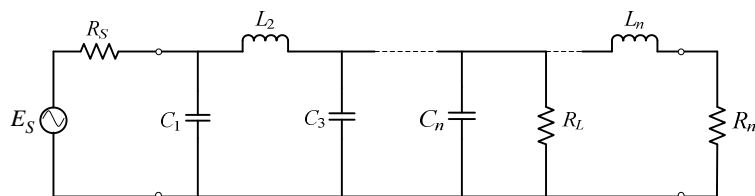
ตอบ $R_{m1} = 3.18 \ \Omega$, $L_{m2} = 272.551 \text{ nH}$, $C_{m3} = 4.451 \text{ pF}$, $C_{m4} = 67.401 \text{ pF}$, $R_{m5} = 75 \ \Omega$,
 $C_x = 342.442 \text{ pF}$;



รูปที่ 6.17 แสดงการแมตซ์โดยใช้วงจรรวมกลุ่มแบบที่ 3 อย่างสมบูรณ์

6.2 วงจรกรองแบบผ่านต่ำบัตเทอร์เวิร์ท

วงจรกรองแบบผ่านต่ำบัตเทอร์เวิร์ท (Butterworth Low-pass Filters) ทำหน้าที่ กรองสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ตัดด้านสูง (-3 dB) ผ่าน จากรูปที่ 6.18 โดยวงจรประกอบด้วย L และ C โดย C จะมีค่ารีแอกแตนซ์ต่ำต่อความถี่สูง ทำให้ความถี่สูงไหลลงกราวด์ได้สะดวก แต่ L จะมีค่ารีแอกแตนซ์ต่ำต่อความถี่ต่ำ ทำให้สัญญาณความถี่ต่ำไหลผ่าน L และ R_L ได้สัญญาณตกคร่อม R_L ค่าในตารางที่ 6.1 เป็นค่าเทียบหนึ่ง ค่าจริงจะต้องใช้สมการในการเปลี่ยนค่าอีกครั้ง



รูปที่ 6.18 แสดงวงจรกรองแบบผ่านต่ำบัตเทอร์เวิร์ทจัดอุปกรณ์แบบไฟ

$$L = \frac{R_L L_n}{2\pi F_H} \tag{6.28}$$

$$C = \frac{C_n}{2\pi F_H R_L} \tag{6.29}$$

6. วงจรแมตซ์และฟิลเตอร์

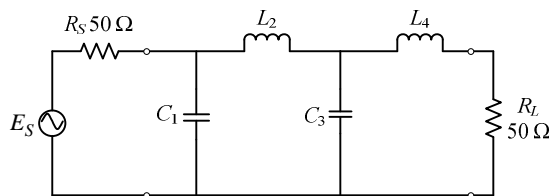
โดยที่ L, C คือ ค่าความเหนี่ยวนำจริง, ค่าความจุจริง
 L_n, C_n คือ ค่าเทียบหนึ่งของตัวเหนี่ยวนำ, ค่าเทียบหนึ่งของตัวเก็บประจุ
 F_H, F_L คือ ค่าความถี่ตัดด้านสูง, ค่าความถี่ตัดด้านต่ำ
 n คือ ลำดับ โดยมีความชันลำดับละ -3 dB ต่อ ออกเทพ

ตารางที่ 6.1 แสดง ค่าเทียบหนึ่ง (Normalize) ของวงจรกรองแบบผ่านต่ำบัตเทอร์เวิร์ท

วงจรกรองแบบผ่านต่ำบัตเทอร์เวิร์ท ($R_L = 1 \Omega$)									
π	R_S	C_{n1}	L_{n2}	C_{n3}	L_{n4}	C_{n5}	L_{n6}	C_{n7}	L_{n8}
$n=2$ (-90)	1	1.4142	1.4142	-	-	-	-	-	-
$n=3$	1	1.0	2.0	1.0	-	-	-	-	-
$n=4$ (-180)	1	0.7654	1.8478	1.8478	0.7654	-	-	-	-
$n=5$	1	0.6180	1.6180	2.0	1.6180	0.6180	-	-	-
$n=6$	1	0.5176	1.4142	1.9319	1.9319	1.4142	0.5176	-	-
$n=7$	1	0.4450	1.2470	1.8019	2.0	1.8019	1.2470	0.4450	-
$n=8$	1	0.3902	1.1111	1.6629	1.9616	1.9616	1.6629	1.1111	0.3902

* ค่าของ L_n และ C_n สำหรับ $R_L = 1 \Omega$ และค่าความถี่ตัด (-3 dB ต่อ ออกเทพ)

ตัวอย่างที่ 6.7 รูปที่ 6.19 จงออกแบบวงจรกรองแบบผ่านต่ำบัตเทอร์เวิร์ท จัดอุปกรณ์แบบไพอ์ โดยเลือก $n = 4, R_S = 50 \Omega, R_L = 50 \Omega$ และ $F_H = 8$ MHz



รูปที่ 6.19 แสดงวงจรกรองแบบผ่านต่ำบัตเทอร์เวิร์ท $n = 4$

วิธีทำ จากตารางที่ 6.1 เมื่อเลือก $n = 4$ จะได้ค่าตามตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 แสดงค่าต่าง ๆ เมื่อเลือก $n = 4$ จัดอุปกรณ์แบบไพอ์

π	R_S	C_{n1}	L_{n2}	C_{n3}	L_{n4}	C_{n5}	L_{n6}	C_{n7}	L_{n8}
$n = 4$ (-180)	1	0.7654	1.8478	1.8478	0.7654	-	-	-	-

จากตารางที่ 6.2 จะได้ว่าดังนี้

$$C_{n1} = 0.7654, L_{n2} = 1.8478, C_{n3} = 1.8478, L_{n4} = 0.7654;$$

ประมาณค่าจริง

จากสมการ (6.29)
$$C = \frac{C_n}{2\pi F_H R_L}$$

โดยกำหนด $C = C_1, C_n = C_{n1}, R_L = 50 \Omega, F_H = 8 \text{ MHz};$

$$C_1 = \frac{C_{n1}}{(2\pi F_H R_L)} = \frac{0.7654}{(2 \times 3.14 \times 8 \times 10^6 \times 50)} = 304.55 \text{ pF}$$

$$C_3 = \frac{C_{n3}}{2\pi F_H R_L} = \frac{1.8478}{2 \times 3.14 \times 8 \times 10^6 \times 50} = 735.23 \text{ pF}$$

จากสมการ (6.28)
$$L = \frac{R_L L_n}{2\pi F_H}$$

โดยกำหนด $L = L_2, L_n = L_{n2}, R_L = 50 \Omega, F_H = 8 \text{ MHz};$

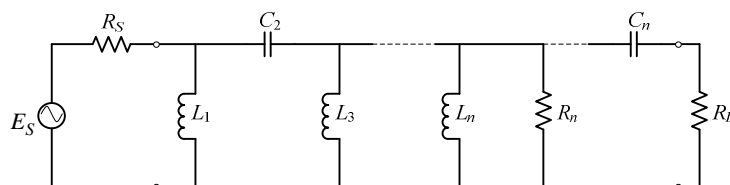
$$L_2 = \frac{R_L L_{n2}}{2\pi F_H} = \frac{50 \times 1.8478}{2 \times 3.14 \times 8 \times 10^6} = 1.83 \mu\text{H}$$

$$L_4 = \frac{R_L L_{n4}}{2\pi F_H} = \frac{50 \times 0.7654}{2 \times 3.14 \times 8 \times 10^6} = 0.76 \mu\text{H}$$

ตอบ $C_1 = 304.55 \text{ pF}, L_2 = 1.83 \mu\text{H}, C_3 = 735.23 \text{ pF}, L_4 = 0.76 \mu\text{H}, F_H = 8 \text{ MHz};$

6.3 วงจรกรองแบบผ่านสูงบัตเทอร์เวิร์ท

วงจรกรองแบบผ่านสูงบัตเทอร์เวิร์ท (Butterworth High-pass Filters) กรองสัญญาณ ที่มี ความถี่สูงกว่า ความถี่ตัดด้านต่ำผ่าน รูปที่ 6.20 วงจรประกอบด้วย L และ C โดย L จะมีค่ารีแอกแตนซ์ต่ำต่อความถี่ต่ำ ทำให้สัญญาณความถี่ต่ำไหลผ่าน L ลงกราวด์ได้สะดวก ส่วน C จะมีค่ารีแอกแตนซ์ต่ำต่อความถี่สูง ทำให้ความถี่สูงไหลผ่าน C และ R_L ได้สัญญาณความถี่สูงตกคร่อม R_L



รูปที่ 6.20 แสดงวงจรกรองแบบผ่านสูงบัตเทอร์เวิร์ทจัดอุปกรณ์ แบบไฟ

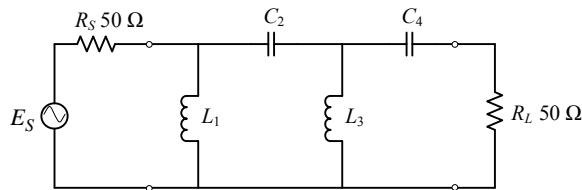
ตารางที่ 6.3 แสดงค่าเทียบหนึ่งของวงจรกรองแบบผ่านสูงบัตเทอร์เวิร์ท

วงจรกรองแบบผ่านสูงบัตเทอร์เวิร์ท ($R_L = 1 \Omega$)									
π	R_S	L_{n1}	C_{n2}	L_{n3}	C_{n4}	L_{n5}	C_{n6}	L_{n7}	C_{n8}
$n=2$ (-90)	1	0.7071	0.7071	-	-	-	-	-	-
$n=3$	1	1.0	0.5	1.0	-	-	-	-	-
$n=4$ (-180)	1	1.3065	0.5411	0.5411	1.3065	-	-	-	-
$n=5$	1	1.6181	0.6180	0.5	0.6180	1.6181	-	-	-
$n=6$	1	1.9319	0.7071	0.5176	0.5176	0.7071	1.9319	-	-
$n=7$	1	2.2471	0.8019	0.5549	0.5	0.5549	0.8019	2.2471	-
$n=8$	1	2.5627	0.9000	0.6013	0.5097	0.5097	0.6013	0.9000	2.5627

* ค่าของ L_n และ C_n สำหรับ $R_L = 1 \Omega$ และค่าความถี่ตัด (-3 dB ต่อ ออกเทฟ)

ตัวอย่างที่ 6.8 จากรูปที่ 6.21 จงออกแบบ วงจรกรองแบบผ่านสูงบัตเทอร์เวิร์ท จัดอุปกรณ์แบบไฟ โดยเลือก $n=4, R_S = 50 \Omega, R_L = 50 \Omega$ และ $F_L = 8 \text{ MHz}$

วิธีทำ จากตารางที่ 6.3 เมื่อเลือก $n=4$ จะได้ค่าตามตารางที่ 6.4



รูปที่ 6.21 แสดงวงจรกรองแบบผ่านสูงบัตเทอร์เวิร์ท $n=4$

ตารางที่ 6.4 แสดง ค่าต่าง ๆ เมื่อเลือก $n=4$ จัดอุปกรณ์แบบไฟ

π	R_S	L_{n1}	C_{n2}	L_{n3}	C_{n4}	L_{n5}	C_{n6}	L_{n7}	C_{n8}
$n=4$ (-180)	1	1.3065	0.5411	0.5411	1.3065	-	-	-	-

จากตารางที่ 6.3 หรือ 6.4 จะได้ค่า

$$L_{n1} = 1.3065, C_{n2} = 0.5411, L_{n3} = 0.5411, C_{n4} = 1.3065;$$

ประมาณค่าจริง

จากสมการ (6.28)
$$L = \frac{R_L L_n}{2\pi F_H}$$

โดยกำหนด $L = L_1, L_n = L_{n1}, R_L = 50 \Omega, F_H = F_L = 8 \text{ MHz};$

$$L_1 = \frac{R_L L_{n1}}{2\pi F_L} = \frac{50 \times 1.3065}{2 \times 3.14 \times 8 \times 10^6} = 1.30 \mu\text{H}$$

$$L_3 = \frac{R_L L_{n3}}{2\pi F_L} = \frac{50 \times 0.5411}{2 \times 3.14 \times 8 \times 10^6} = 0.538 \mu\text{H}$$

จากสมการ (6.29)
$$C = \frac{C_n}{2\pi F_H R_L}$$

โดยกำหนด $C = C_2, C_n = C_{n2}, R_L = 50 \Omega, F_H = F_L = 8 \text{ MHz};$

$$C_2 = \frac{C_{n2}}{2\pi F_L R_L} = \frac{0.5411}{2 \times 3.14 \times 8 \times 10^6 \times 50} = 215.406 \text{ pF}$$

$$C_4 = \frac{C_{n4}}{2\pi F_L R_L} = \frac{1.3065}{2 \times 3.14 \times 8 \times 10^6 \times 50} = 520.103 \text{ pF}$$

ตอบ $L_1 = 1.30 \mu\text{H}, C_2 = 215.406 \text{ pF}, L_3 = 0.538 \mu\text{H}, C_4 = 520.103 \text{ pF}, F_L = 8 \text{ MHz};$

สรุป

การแมตซ์ หมายถึง การทำให้วงจรสองวงจรต่อเชื่อมกัน เพื่อให้การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด และต้องกำจัดค่ารีแอคแตนซ์ด้านเข้า และด้านออกของวงจรให้หมดสิ้น ในการออกแบบ จะต้องออกแบบให้อิมพีแดนซ์ด้านเข้าและด้านออกของวงจรมีค่าสูง

วงจรแมตซ์แบบใช้เรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้อุปกรณ์เพียง C และ L ในการทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ เป็นวิธีการพื้นฐานในการเรียนรู้เบื้องต้น

วงจรแมตซ์แบบใช้วงจรรวมกลุ่ม จะมีการใช้ C และ L มากกว่า 2 ตัว จะทำให้มีการสูญเสียมาก จึงนิยมใช้ในวงจรขยายกำลังไฟฟ้า

วงจรฟิลเตอร์จะถูกใช้ในการกรองความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 ที่

วงจรกรองแบบผ่านต่ำบัตเทอร์เวิร์ท กรองสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า ความถี่ตัดด้านสูงผ่าน
วงจรกรองแบบผ่านสูงบัตเทอร์เวิร์ท กรองสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า ความถี่ตัดด้านต่ำผ่าน

เพียแแพร์ !