การวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์เมื่อป้อนสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal (AC) Analysis)

จุดประสงค์ของการเรียนการสอน

1. บอกวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรสมมูลของทรานซิสเตอร์ได้
2. เขียนวงจรสมมูลของวงจรขยายแบบต่าง ๆ ได้
3. คำนวณหาค่าอินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรขยายแบบต่าง ๆ ได้

จุดประสงค์ของการเรียนการสอน

4. คำนวณหาอัตราการขยายทางด้านแรงดัน และกระแสในวงจรขยายแบบต่าง ๆ ได้
5. ใช้ h - Parameter วิเคราะห์วงจรขยายสัญญาณแบบต่าง ๆ ได้

- การวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์เมื่อป้อนสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal (AC) Analysis)

บทนำ

การวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะที่ป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในวงจรขยายสัญญาณความถี่ต่ำ

วิธีการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์เมื่อป้อนสัญญาณขนาดเล็ก

จะใช้วิธีการวิเคราะห์วงจรอยู่ 2 วิธี คือ

1. r_e Model

2. h Parameter Equivalent Circuit

การวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์เมื่อป้อนสัญญาณขนาดเล็ก

ในส่วนการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์แบบ re Model จะมีระดับความไว (Sensitive) ต่อการทำงานของวงจรขยายแบบดีซี ซึ่งค่ารีซิสแตนซ์ทางด้านอินพุตจะมีการเปลี่ยนแปลงตามจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์แบบดีซี (DC Operating Point)

การวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์เมื่อป้อนสัญญาณขนาดเล็ก

สำหรับ Hybrid Equivalent Model ค่าพารา มิเตอร์จะถูกกำหนดที่จุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ (Operating Point) เป็นสภาวะการทำงานของวงจรขยายที่แท้จริง เมื่อมีการป้อนสัญญาณขนาดเล็กเข้าไปในวงจรขยาย ส่วนรายละเอียดเนื้อหาเราจะได้ศึกษาต่อไป

7.1 Hybrid Parameter

Equivalent Circuit

หรือ h Parameter

Equivalent Circuit

7.1 Hybrid Parameter Equivalent Circuit หรือ h Parameter Equivalent Circuit

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในคู่มือทรานซิสเตอร์ทางบริษัทผู้ผลิตทรานซิสเตอร์ จะกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของทรานซิสเตอร์เฉพาะวงจรขยายแบบคอมมอนอีมิตเตอร์เท่านั้น เช่น กำหนดค่า h_{ie} , h_{re} , h_{fe} , h_{oe}

7.1 Hybrid Parameter Equivalent Circuit หรือ h Parameter Equivalent Circuit

ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะหาได้จากค่าเฉลี่ยของค่าแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นที่จุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 แสดงคุณลักษณะเฉพาะของทรานซิสเตอร์ในคู่มือทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N4401

		Min	Max	
DC Current Gain ($I_C = 0.1$ mAdc, $V_{CE} = 1.0$ Vdc)	h_{FE}	20	-	-
Input Impedance ($I_C = 1.0$ mAdc, $V_{CE} = 10$ Vdc, f = 1kHz	h_{ie}	1.0	15	kΩ
Voltage Feedback Ratio ($I_C = 1.0$ mAdc, $V_{CE} = 10$ Vdc, f = 1.0 kHz)	h_{re}	0.1	8.0	X10^{-4}
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0$ mAdc, $V_{CE} = 10$ Vdc, f = 1.0 kHz)	h_{fe}	40	500	_
Output Admittance ($I_C = 1.0$ mAdc, $V_{CE} = 10$ Vdc, f = 1.0 kHz)	h_{oe}	1.0	30	1μS

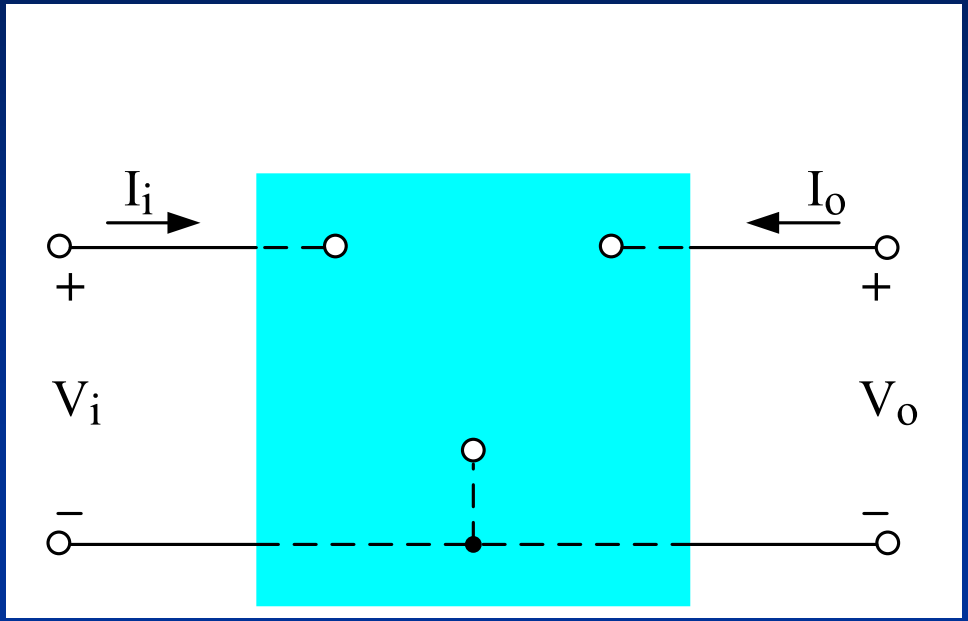
ค่า hie , hre , hfe และ hoe ดังแสดงในรูปที่ 7.1 เรียกว่า Hybrid Parameters

7.1.1 วิธีการหาค่า h Parameter โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Two – Port System

7.1.1 วิธีการหาค่า h Parameter โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Two – Port System

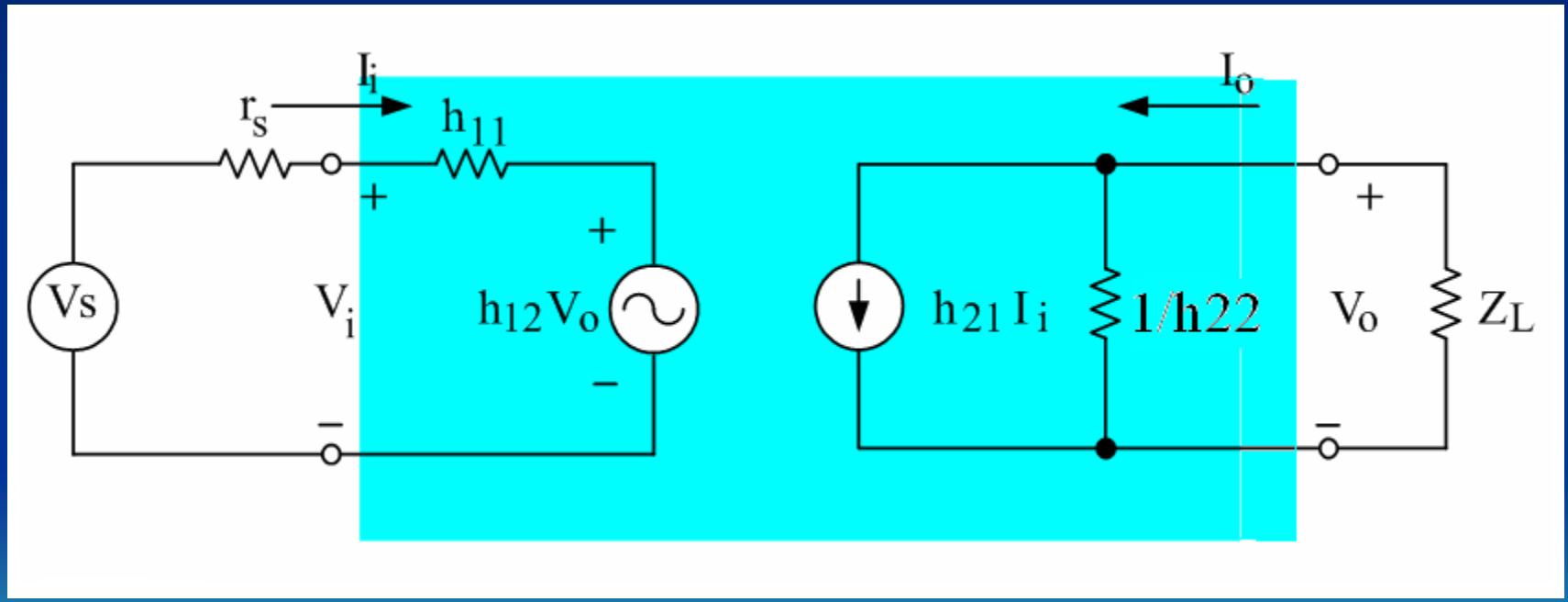
ซึ่งความเป็นมาของ Hybrid Equivalent Model จะมีวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ต่างโดยการใช้หลักการของ Two Port System มาพิจารณาหาค่าแรงดันที่อินพุต (Vi) และหาค่ากระแสที่เอาต์พุต (I_o) เพื่อที่จะหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อไป ส่วนวิธีการจะได้ศึกษาต่อไป

7.1.1 วิธีการหาค่า h Parameter โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Two Port System

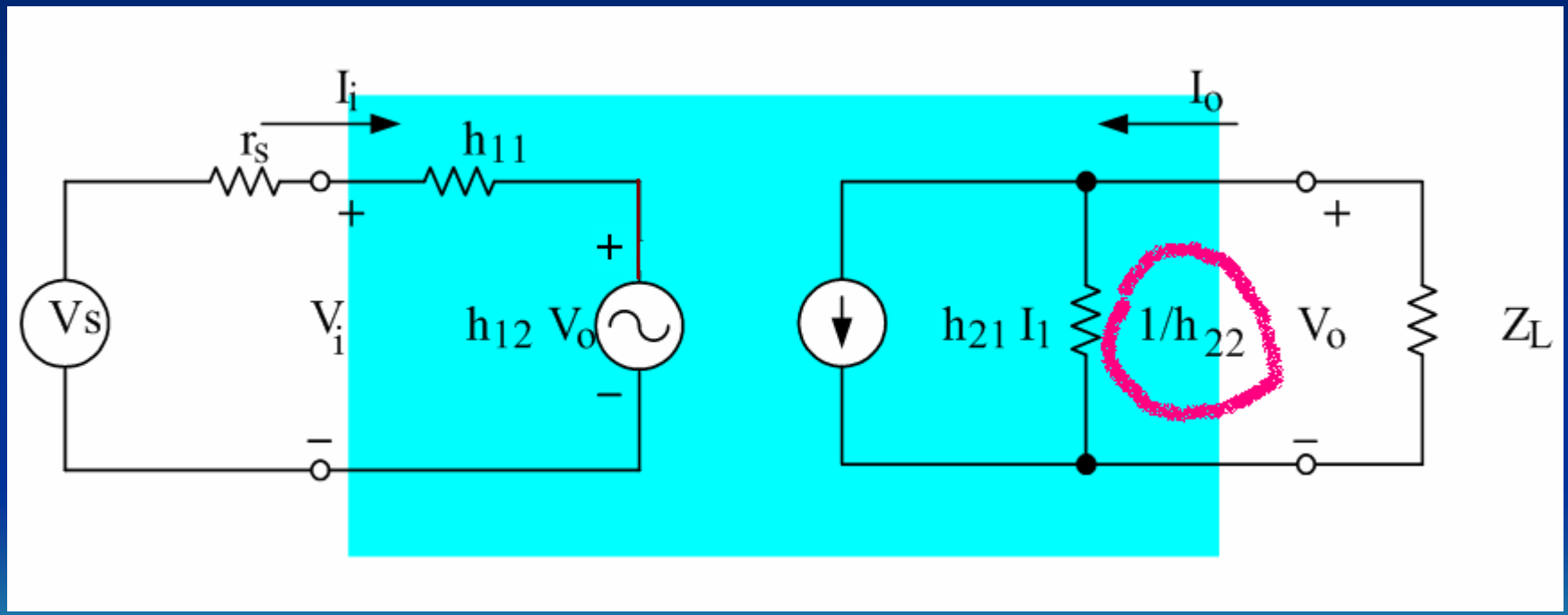


โดยใช้วิธีการหาค่าแรงดันที่อินพุต (V_i) และหาค่ากระแสที่เอาต์พุตของวงจร (I_o)

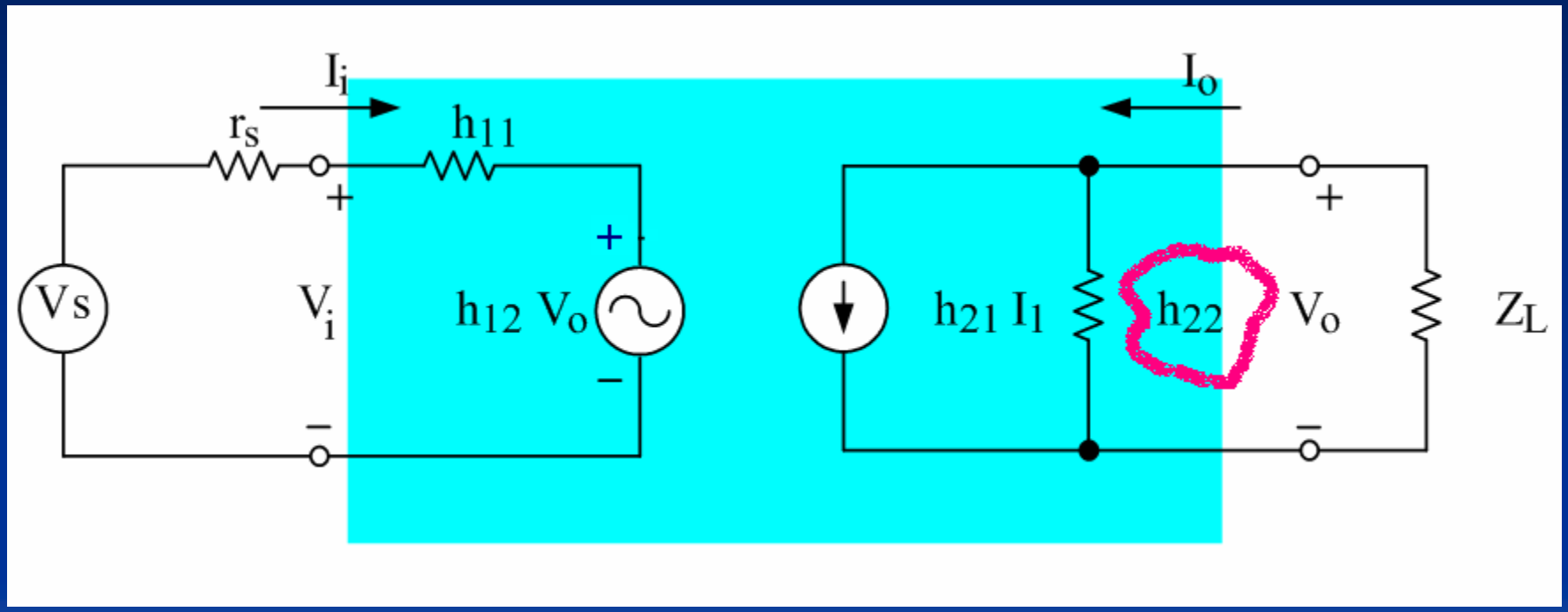
การนำวงจรสมมูลของทรานซิสเตอร์มาแทนลงในกล่อง Black Box



เมื่อพิจารณาที่เอาต์พุตอิมพิแดนซ์ของทรานซิสเตอร์



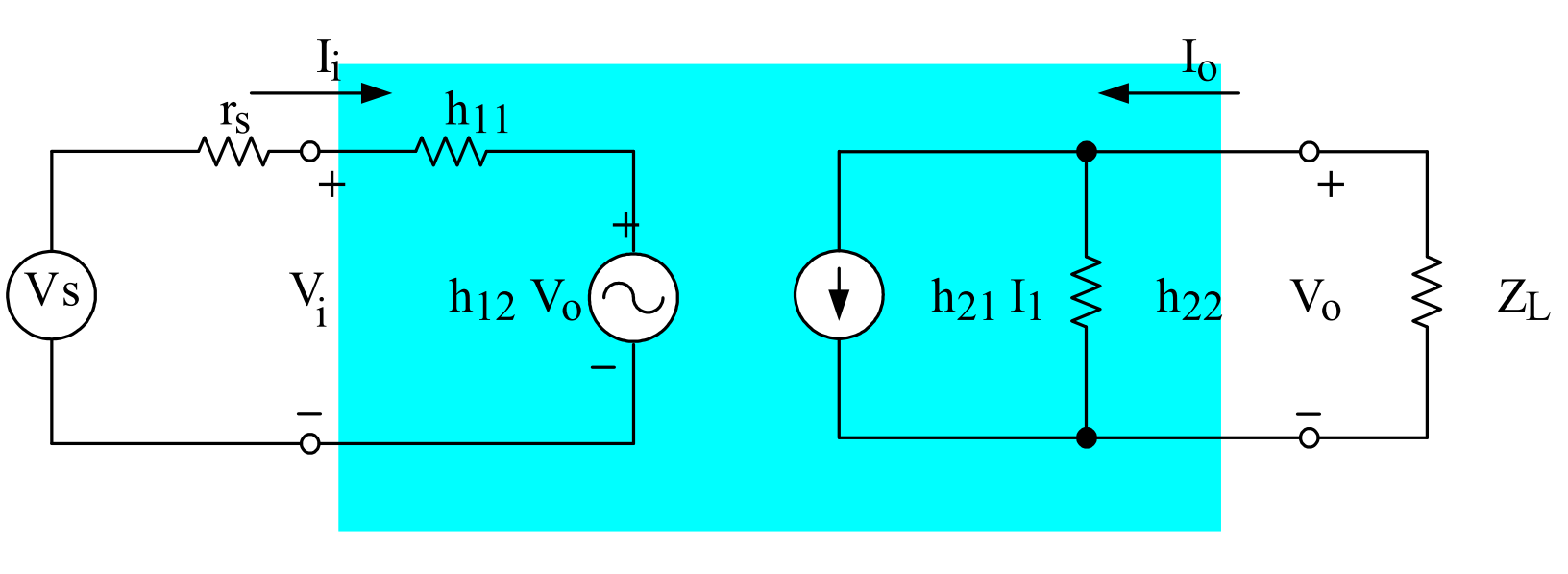
วิธีการหาค่า h Parameter โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Two – Port System



ในวงจรสมมูลของทรานซิสเตอร์ที่เอาพุตจะพิจารณาเฉพาะค่าความรีซิสแตนซ์ที่เอาต์พุตทรานซิสหรือ h_{22}

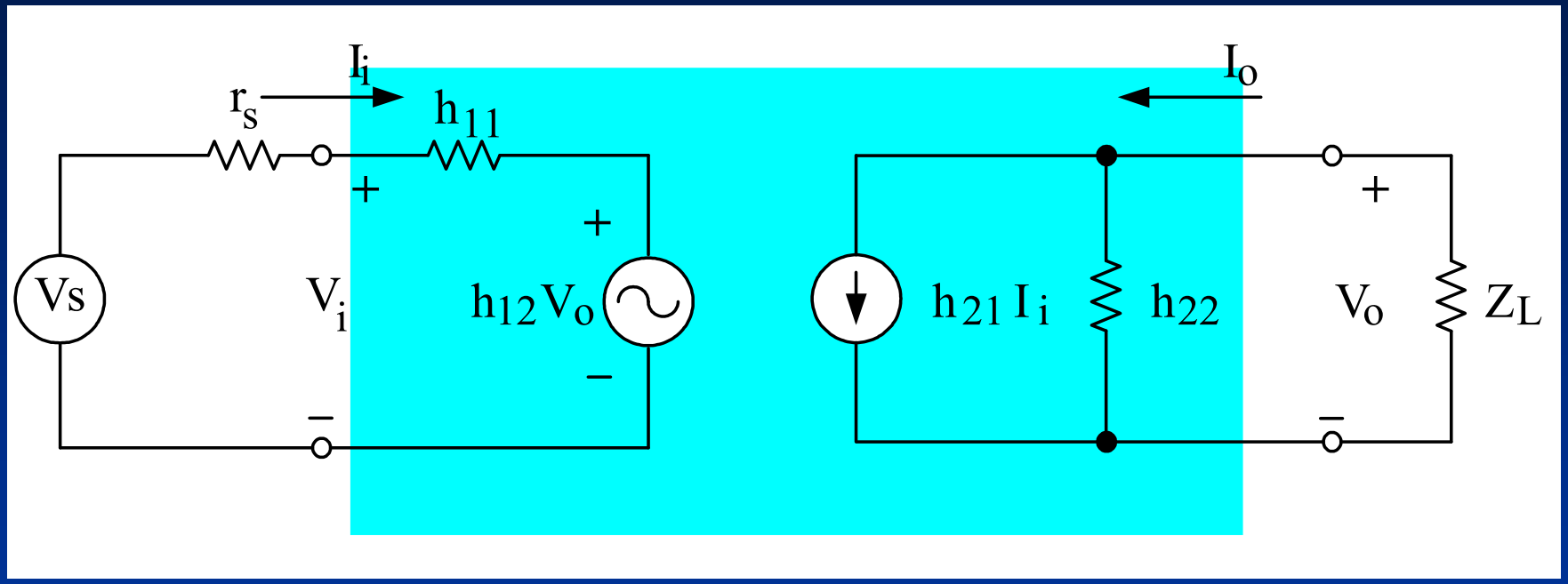
การหาค่าแรงดันอินพุต (Vi) และ หาค่ากระแสเอาต์พุต (Io)

1. หาค่าแรงดันอินพุต (Vi) ใช้หลักการของ Kircchoff Voltage Law จะได้สมการดังต่อไปนี้



$$V_i - I_i h_{11} - h_{12} V_O = 0$$

การหาค่าแรงดันอินพุต (Vi) และ หาค่ากระแสเอาต์พุต (Io)



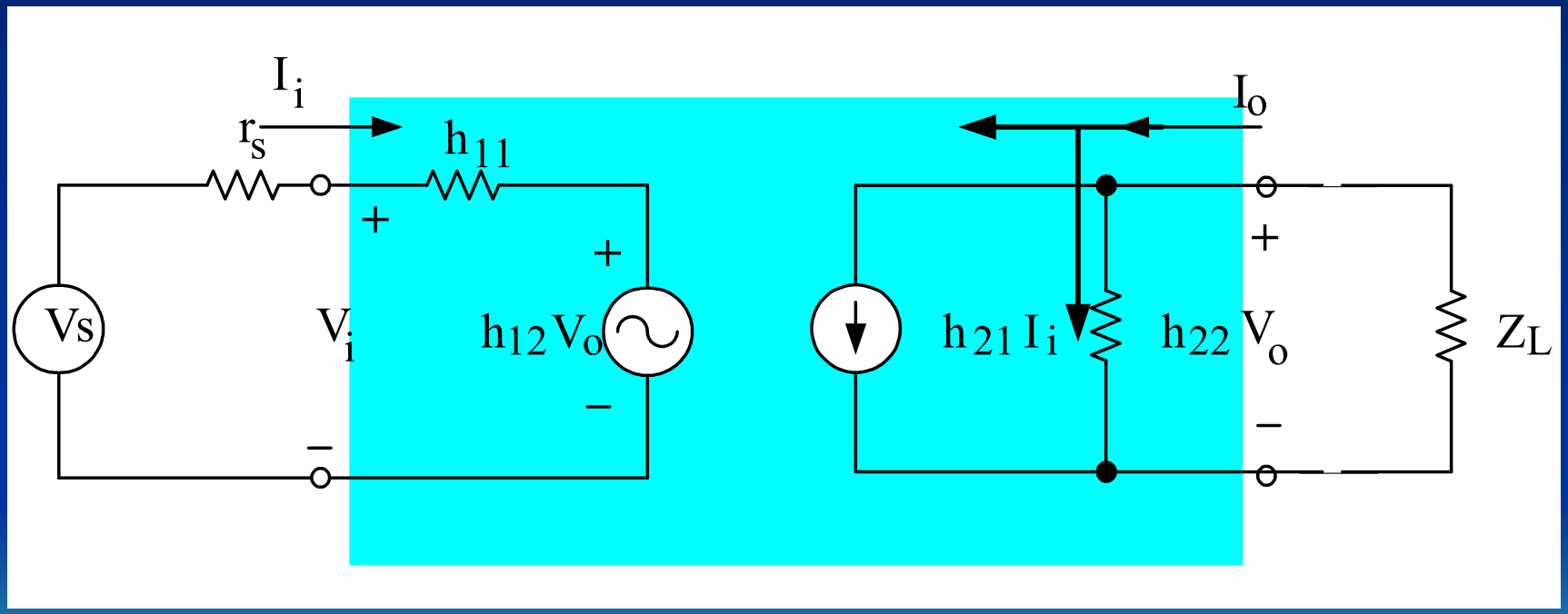
$$V_i - I_i h_{11} - h_{12} V_O = 0$$

จะได้

$$V_i = I_i h_{11} + h_{12} V_O \qquad (1)$$

หาค่าแรงดันอินพุต (Vi) และ หาค่ากระแสเอาต์พุต (Io)

2. หาค่ากระแสที่เอาต์พุตของวงจรสมมูล (I_O) โดยใช้หลักการของ Kircchoff Current Law จะได้สมการดังต่อไปนี้



$$I_O = h_{21}I_i + h_{22}V_O \qquad (2)$$

จากสมการที่ (1) ถ้ากำหนดให้ค่าของ Vo = 0 (ลัดวงจรที่ขั้วทางด้านเอาต์พุต) และ หาค่า h_{11} ได้ดังนี้

$$Vi = I_i h_{11} + h_{12} V_O \quad (0)$$

(1)

∴ จะได้ $$h_{11} = \left.\frac{Vi}{Ii}\right|_{Vo=0}$$ โอห์ม

Short-Circuit Input Impedance Parameter

จากสมการที่ (1) ถ้ากำหนดให้ค่าของ $I_i = 0$ ซึ่งจะได้ค่าของ h_{12} จะได้

$$Vi = I_i h_{11} + h_{12} V_O \quad (1)$$

($I_i \rightarrow 0$)

∴ จะได้

$$h_{12} = \left.\frac{Vi}{Vo}\right|_{Ii=0}$$

Open-Circuit Reverse Transfer Voltage Ratio Parameter

จากสมการที่ (2) ถ้าเรากำหนดให้ Vo = 0 (ลัดวงจรที่ขั้วทางด้านเอาต์พุต) และ ซึ่งจะได้ค่าของ h_{21} ได้ดังนี้

$$I_O = h_{21} I_i + h_{22} V_O \quad \text{(2)}$$

($V_O = 0$)

∴ จะได้

$$h_{21} = \left. \frac{I_o}{I_i} \right|_{Vo=0}$$

Short-Circuit Forward Transfer Current Ratio Parameter

จากสมการที่ (2) ถ้าเรากำหนดให้ I_i หรือ Open Circuit ที่อินพุต และหาค่า h_{22} ได้ดังนี้

$$I_O = h_{21} I_i + h_{22} V_O \quad \xrightarrow{0}$$

(2)

∴ จะได้ $$h_{22} = \left.\frac{Io}{Vo}\right|_{Ii=0}$$ Siemens

Open-Circuit Output Admittance Parameter

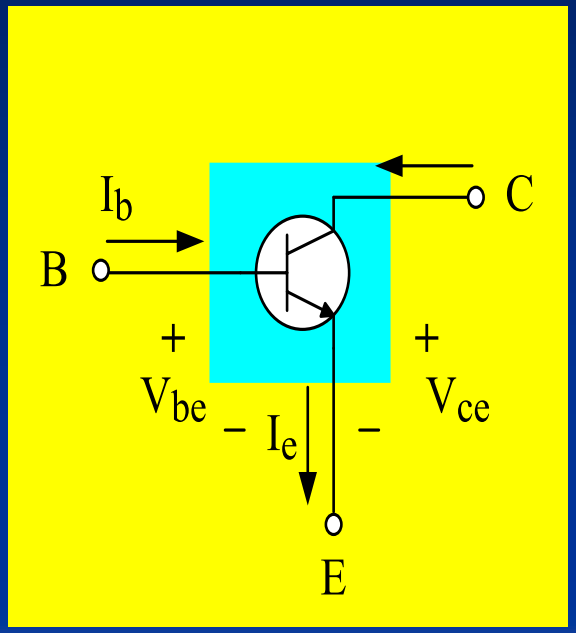
ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์

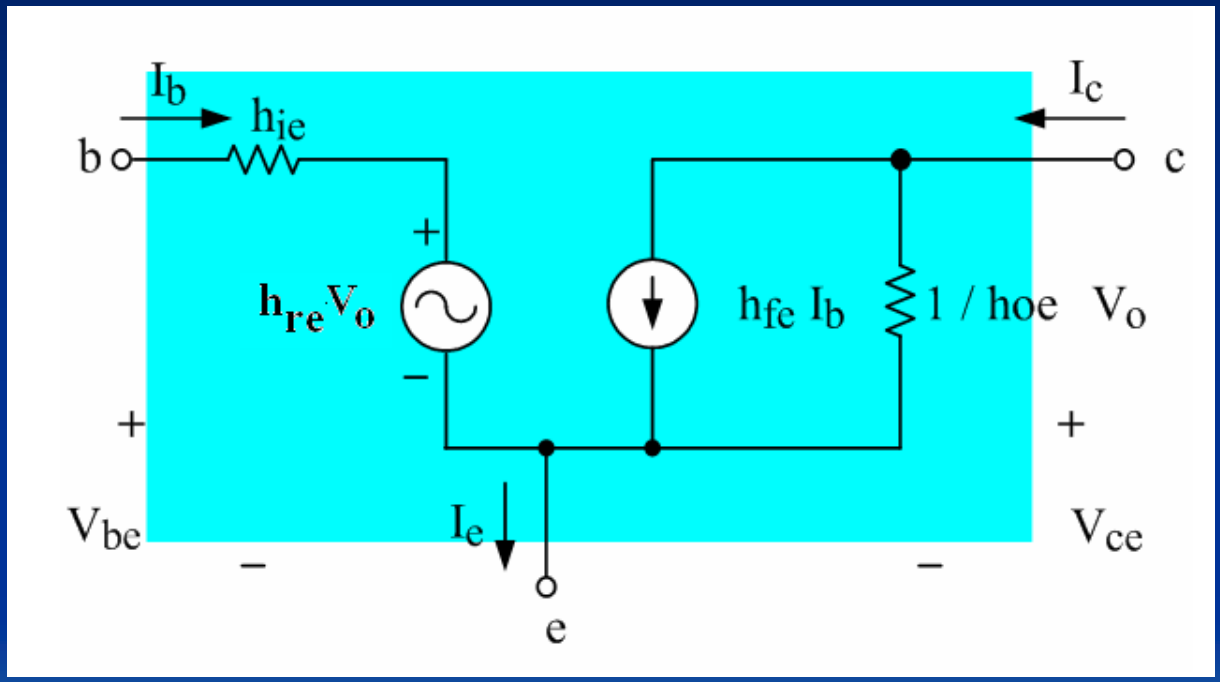
- h11 = Input Resistance = hi
- h12 = Reverse Transfer Voltage = hr
- h21 = Forward Transfer Current Ratio = hf
- h22 = Output Conductance = ho

7.1.2 วงจรสมมูลของทรานซิสเตอร์ h Parameter Equivalent Circuit

7.1.2 วงจรสมมูลของทรานซิสเตอร์

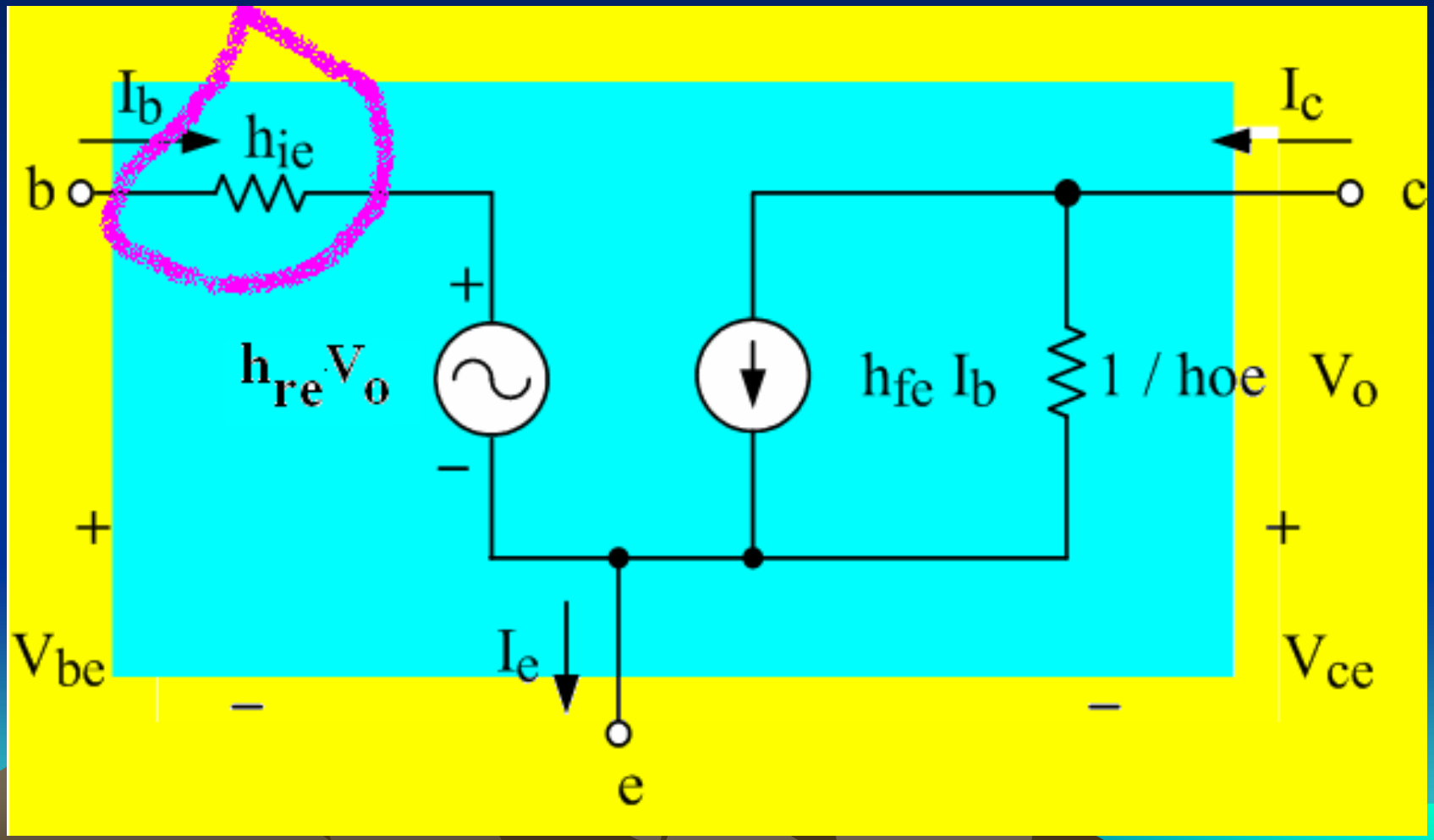
h Parameter Equivalent Circuit



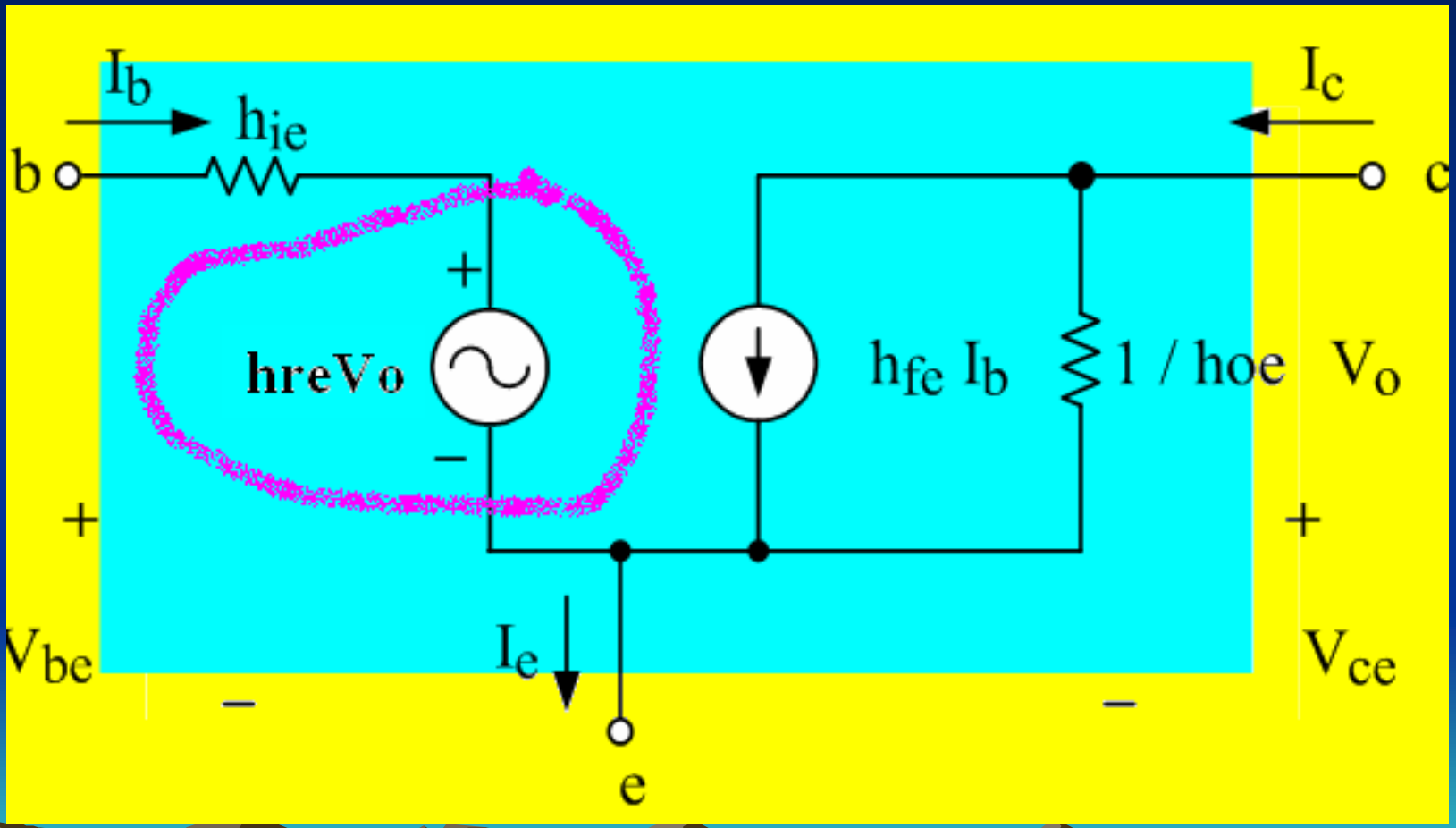


Three – terminal two – port System

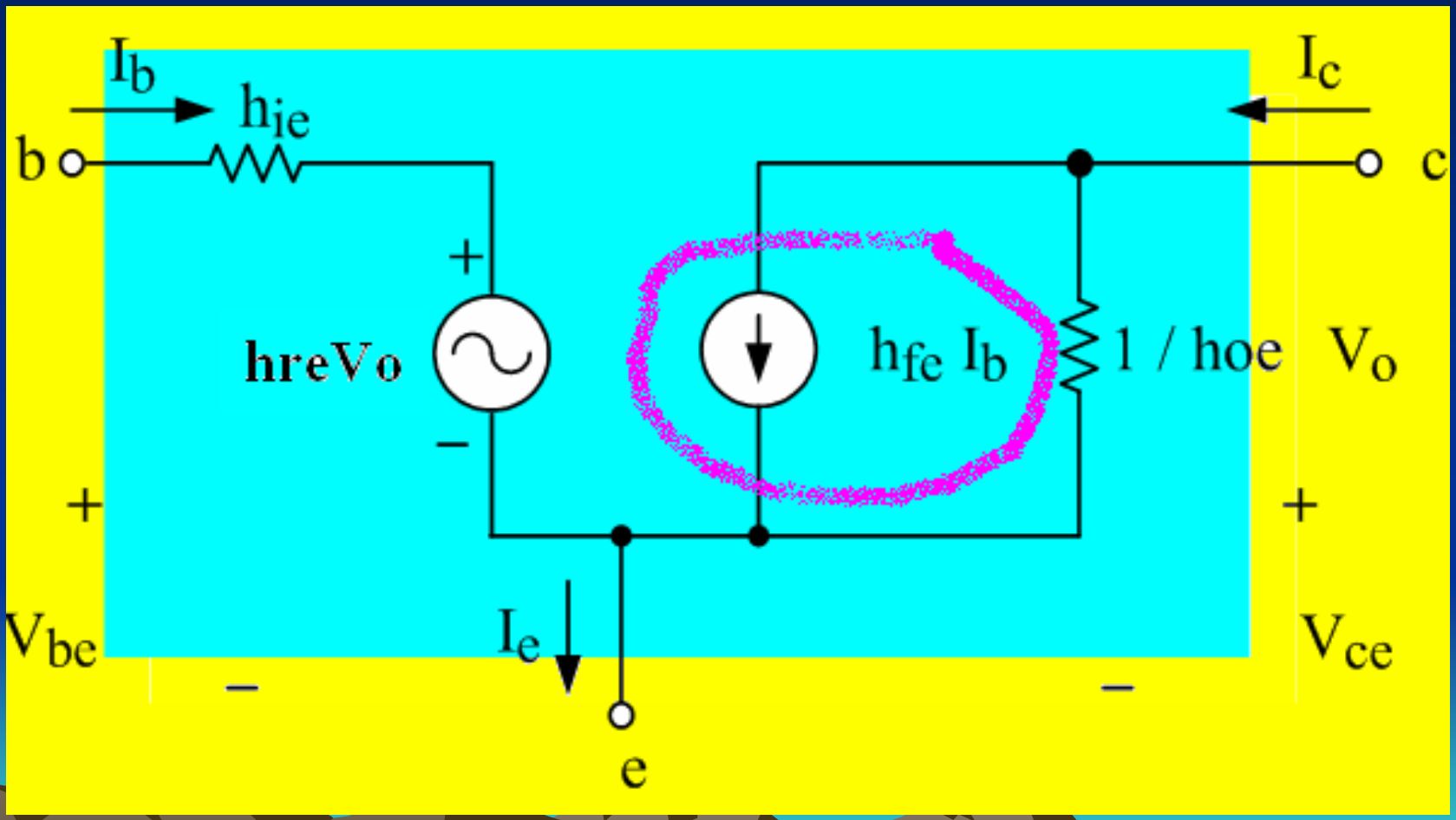
Input Resistance (h_{ie})



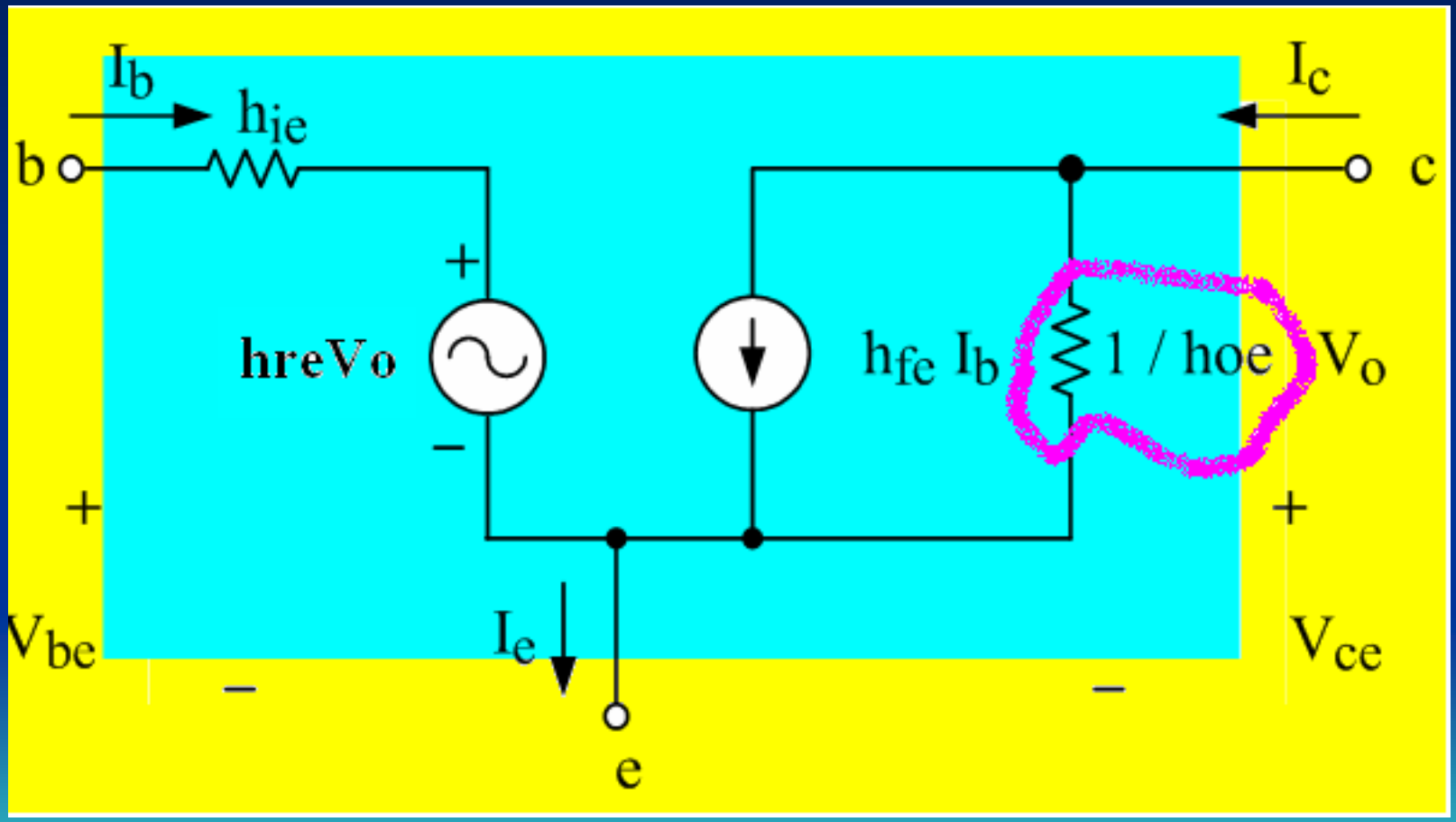
Reverse Voltage Transfer Ratio (h_{re})



Forward Current Transfer Ratio (h_{fe})



Output Resistance (r_o)



กำหนดค่าพารามิเตอร์ในคู่มือของทรานซิสเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดในคู่มือทรานซิสเตอร์จะกำหนดเฉพาะค่าพารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์เท่านั้น ถ้าเราต้องการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรขยายแบบอื่นจะต้องเทียบค่าในตารางที่ 7.1

ตารางเทียบค่าพารามิเตอร์(1) (Parameter)

Common Emitter to Common Collector	Common Emitter to Common Base	Common Emitter h - Parameter r -Parameter
hic = hie	$h_{ib} \approx \frac{h_{ie}}{(1+h_{fe})}$	$\alpha \approx \frac{h_{fe}}{(1+h_{fe})}$

ตารางเทียบค่าพารามิเตอร์(2) (Parameter)

Common Emitter to Common Collector	Common Emitter to Common Base	Common Emitter h -Parameterto r -Parameter
hrc = 1 - hre	$h_{rb} \approx \frac{h_{ie}h_{oe}}{1+h_{fe}} - h_{re}$	$r_c = \frac{1+h_{fe}}{h_{oe}}$

ตารางเทียบค่าพารามิเตอร์(3) (Parameter)

Common Emitter to Common Collector	Common Emitter to Common Base	Common Emitter h – Parameter to r -Parameter
$h_{fe} = -(1 + h_{fe})$	$h_{fb} \approx -\frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}}$	$r_e = \frac{h_{re}}{h_{oe}}$

ตารางเทียบค่าพารามิเตอร์(4) (Parameter)

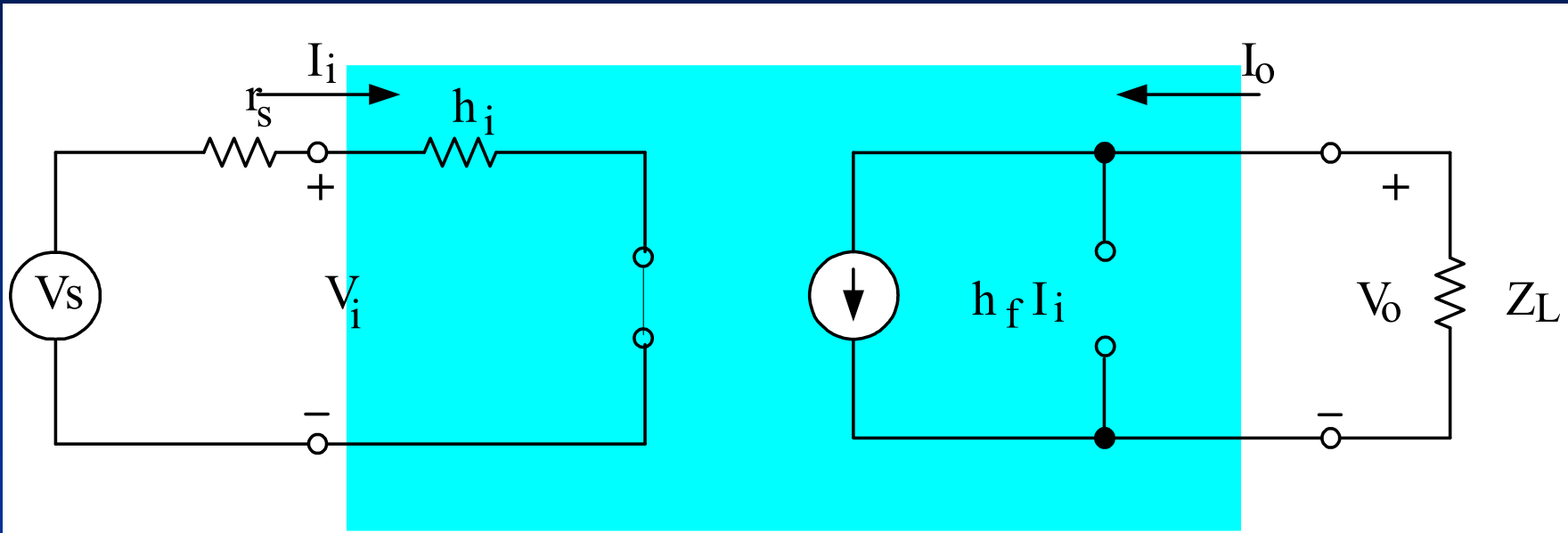
Common Emitter to Common Collector	Common Emitter to Common Base	Common Emitter h - Parameterto r - Parameter
$h_{oc} = h_{oe}$	$h_{ob} \approx \frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}}$	$r_b = h_{ie} - \frac{h_{re}(1 + h_{fe})}{h_{oe}}$

7.1.3 การแปลงรูปวงจร Hybrid Equivalent Model ไปเป็น re Model

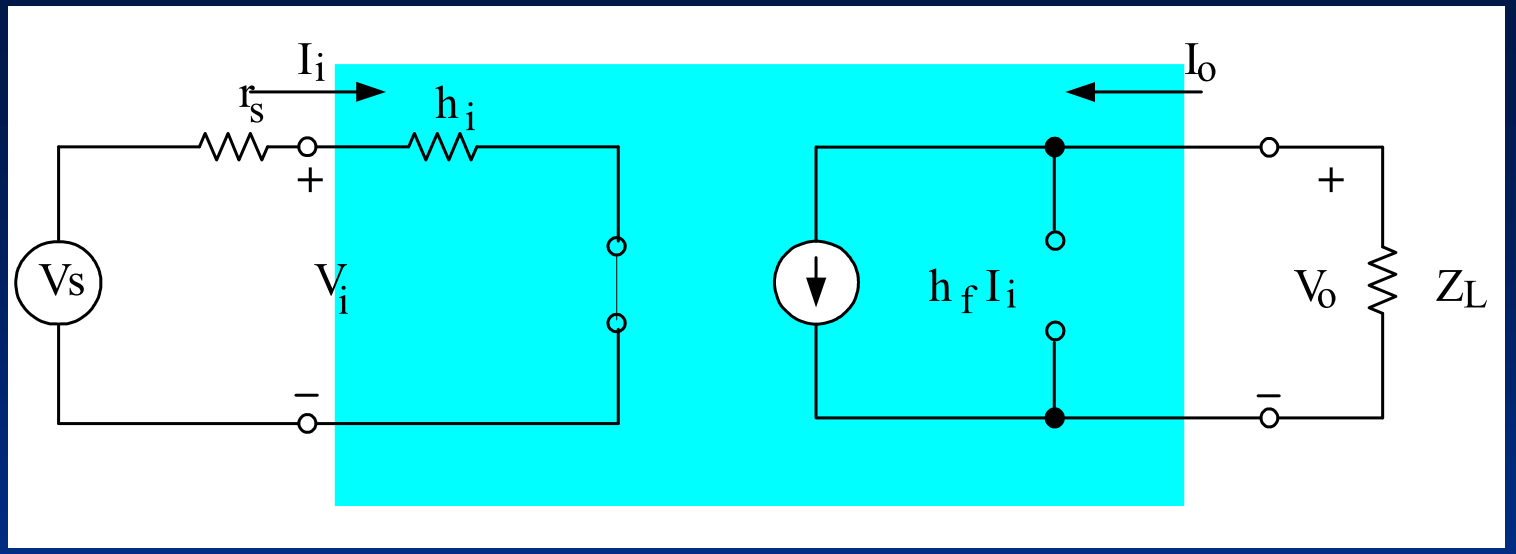
7.1.3 การแปลงรูปวงจร Hybrid Equivalent Model ไปเป็น r_e Model

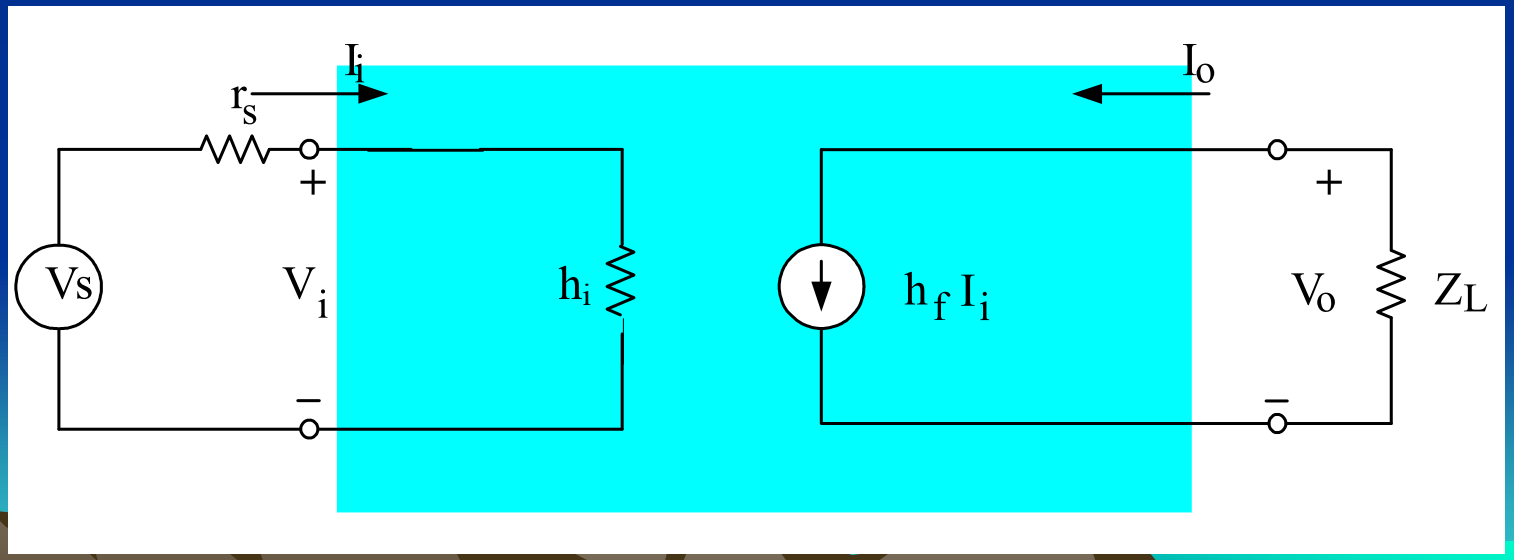
สำหรับวงจรคอมมอนอีมิตเตอร์และคอมมอนเบสค่าของ h_r และ h_O จะเป็นส่วนสำคัญในการหาค่า อินพุตอมพีแดนซ์ (Z_i) , เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_O) , อัตราการขยายทางด้านแรงดัน (A_V) และอัตราการขยายทางด้านกระแส (A_i) แต่การพิจารณาในส่วนของ r_e Model จะไม่นำ h_r และ h_O มาคิด ดังนั้นจึงกำหนดให้ $h_{re} = 0$ และ $h_{re}V_o = 0$

การแปลงค่า Hybrid Equivalent Model ไปเป็น r_e Model

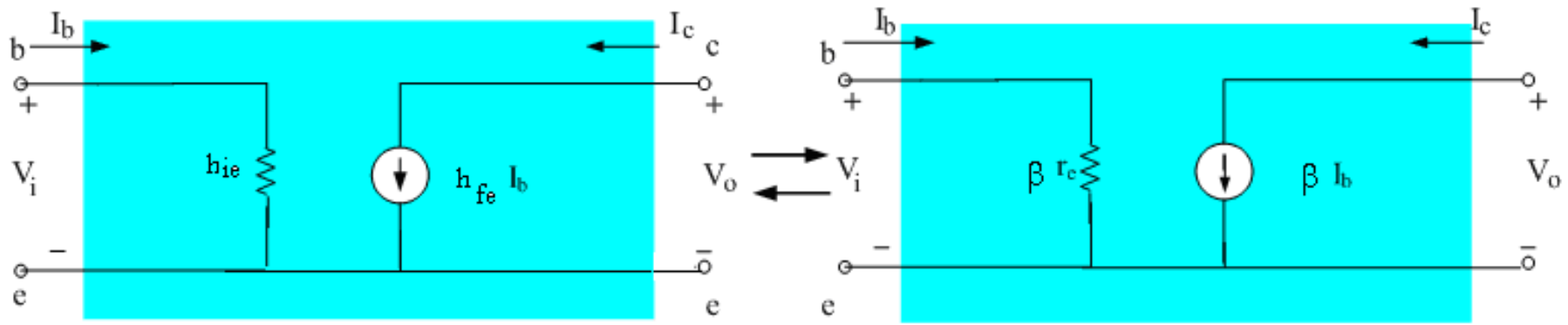


กำหนดให้ $h_{re} = 0$ จะได้ $h_{re} V_o = 0$ และกำหนดให้ค่า $1/h_{oe}$ มีค่าสูงมากเปรียบเสมือนวงจรอยู่ในสภาวะ Open Circuit


Ii
rs
hi
Io
+
Vs
Vi
hf Ii
Vo
ZL
−


Ii
rs
Io
+
Vs
Vi
hi
hf Ii
Vo
ZL
−

การแปลงรูปวงจรคอมมอนอีมิตเตอร์ใน h Parameter Model ไปเป็นวงจรคอมมอนอีมิตเตอร์ใน re Model



$$h_{ie} = \beta \ r_e$$

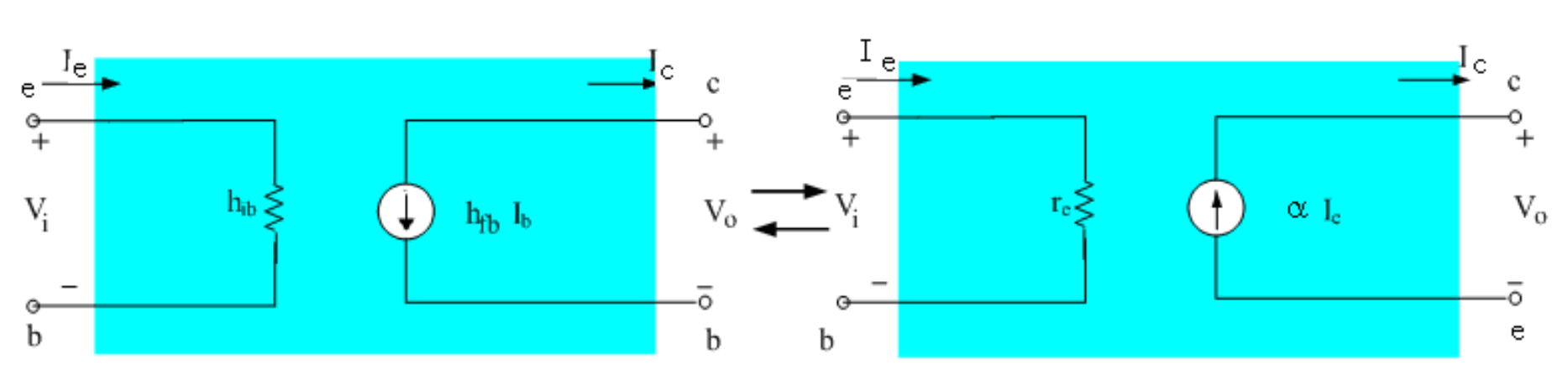
$$h_{fe} = \beta_{ac}$$

แปลงรูปวงจรจากวงจรคอมมอนเบสใน h parameter Model ไปเป็นวงจรคอมมอนเบสใน re Model

และมีข้อกำหนดในการหาค่า r_e ดังต่อไปนี้

$$r_e = \frac{26\ mV}{I_E}$$

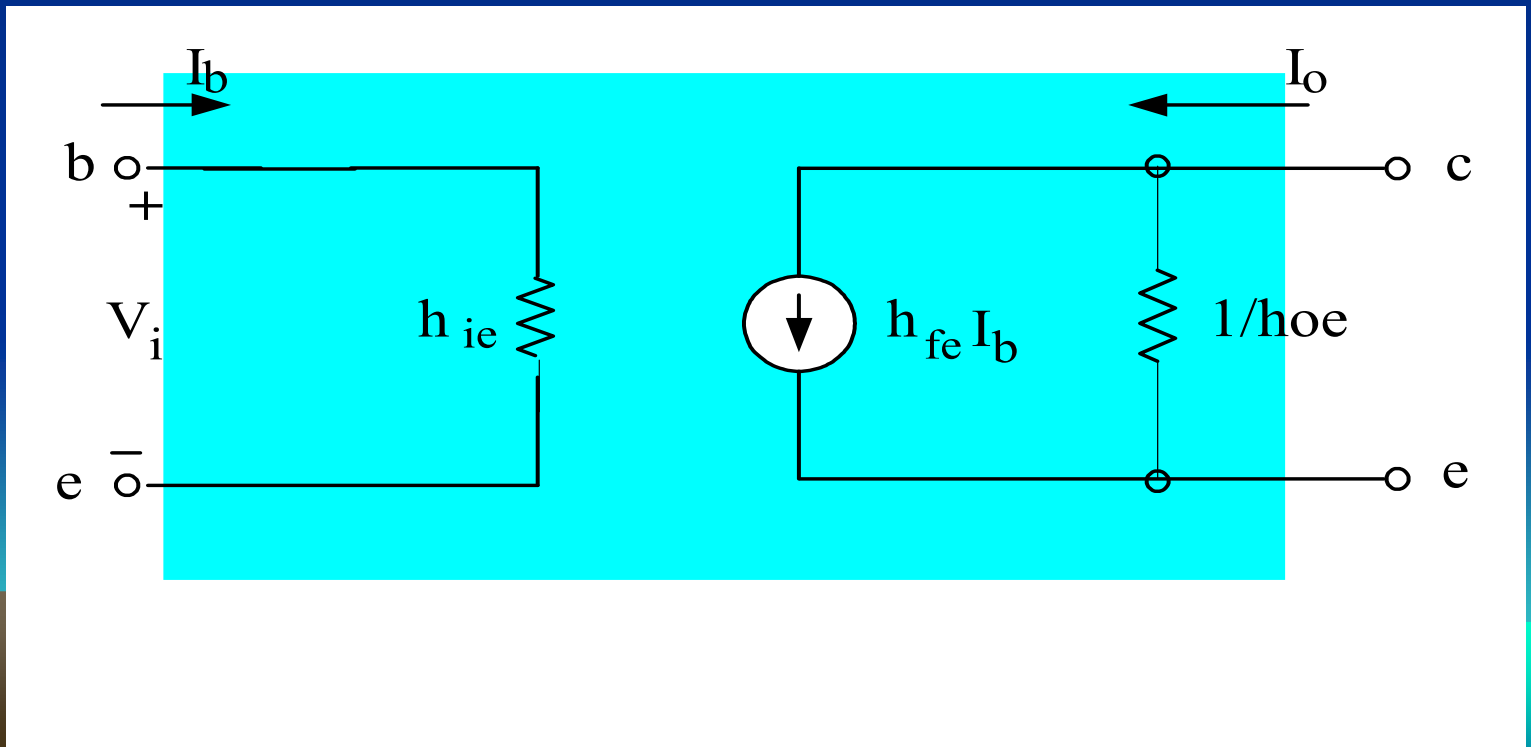
การแปลงรูปวงจรจากวงจรคอมมอนเบสใน h parameter Model ไปเป็นวงจรคอมมอนเบสใน re Model



$$h_{ib} = r_e$$

$$h_{f_b} = -\alpha \cong -1$$

ตัวอย่างที่ 7.1 กำหนดให้ I_E =2.5 mA , h_{fe} =100 mA h_{oe} = 30μS , และ h_{ob} = 0.5 μS ให้หาค่าวงจรสมมูลของวงจร Common Emitter Hybrid Equivalent Circuit ดังวงจรดังรูป



วิธีทำ จากข้อกำหนดในการหาค่า re ได้จากสมการต่อไปนี้

$$r_e = \frac{26\ mV}{I_E} = \frac{26\ mV}{2.5\ mA} = 10\ k\Omega$$

หาค่า h_{ie} ได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_{ie} = \beta\ r_e = 100 \times 10\ k\Omega = 1\ k\Omega$$

หาค่ารีซิสแตนซ์ที่เอาต์พุตของวงจร (r_o) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$r_o = \frac{1}{h_{oe}} = \frac{1}{25\mu S} = 40\ k\Omega$$

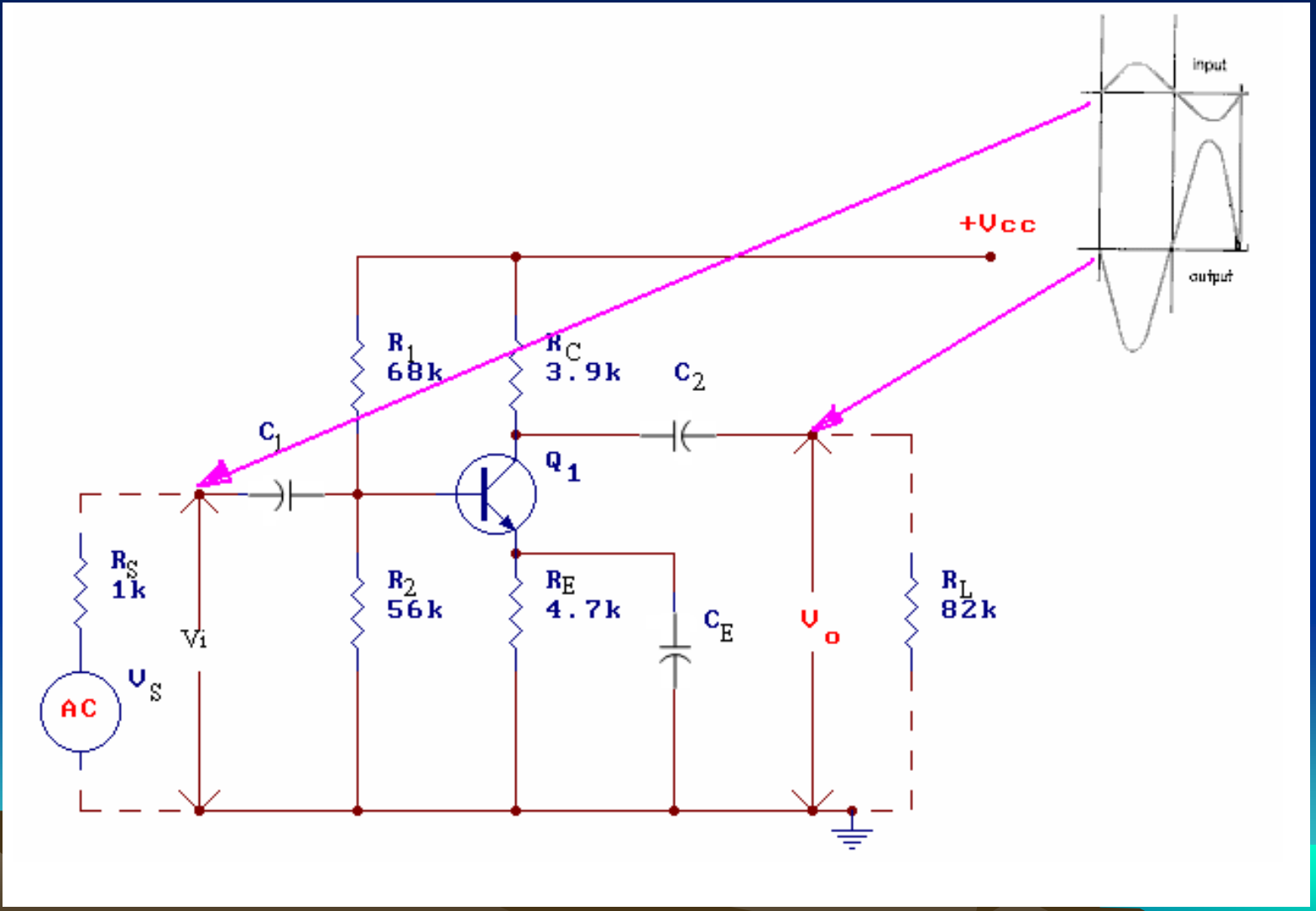
7.2 การใช้h Parameter

วิเคราะห์การทำงานของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์วงจร

วัตถุประสงค์ในการใช้ h-Parameter วิเคราะห์วงจร เพื่อหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์, เอาต์พุตอิมพีแดนซ์, Voltage Gain , Current Gain , Power Gain ซึ่งจะมีวิธีการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

วงจรขยายแบบ Common Emitter

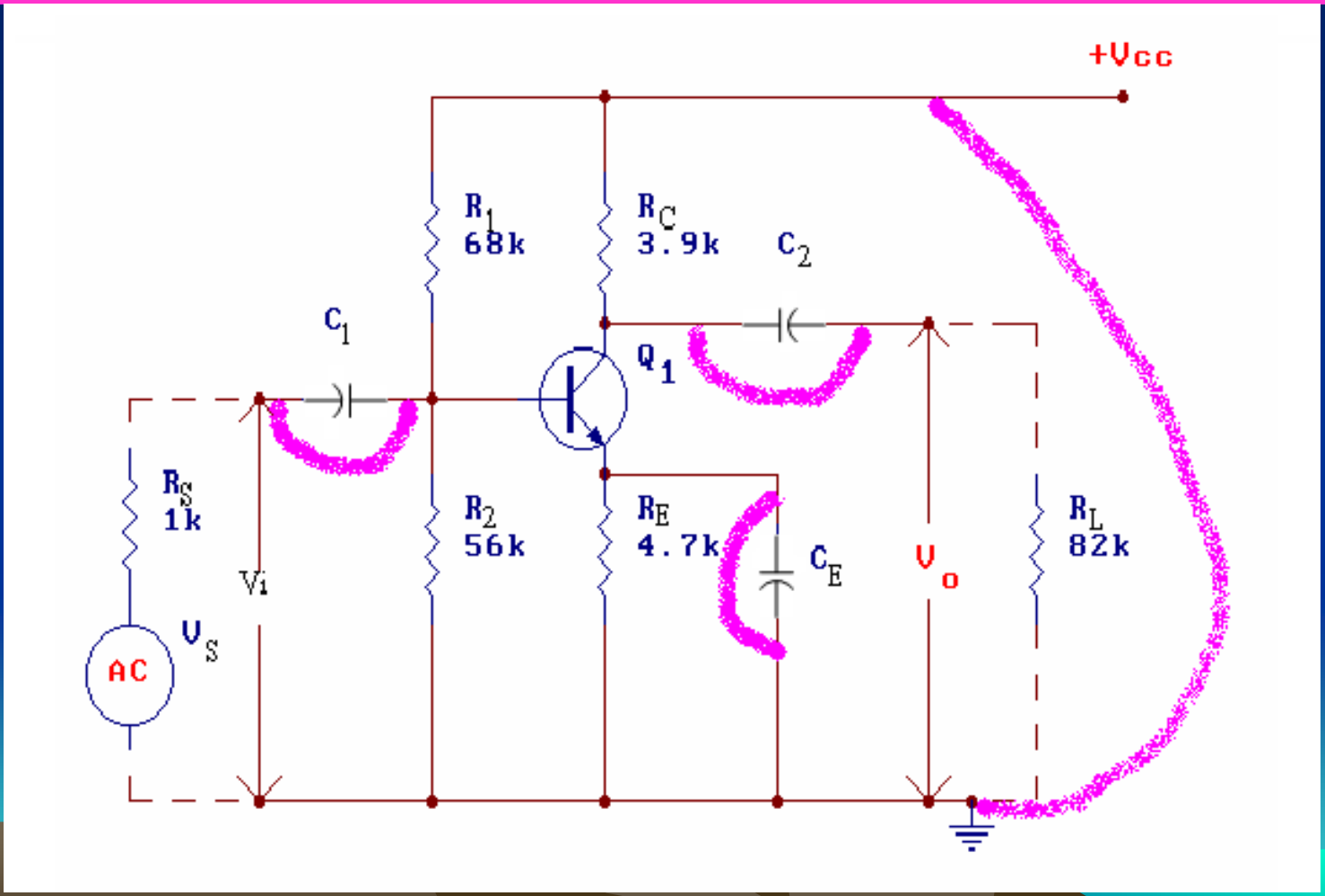


วงจรสมมูลของคอมมอนอิมิตเตอร์ (CE AC Equivalent Circuit)

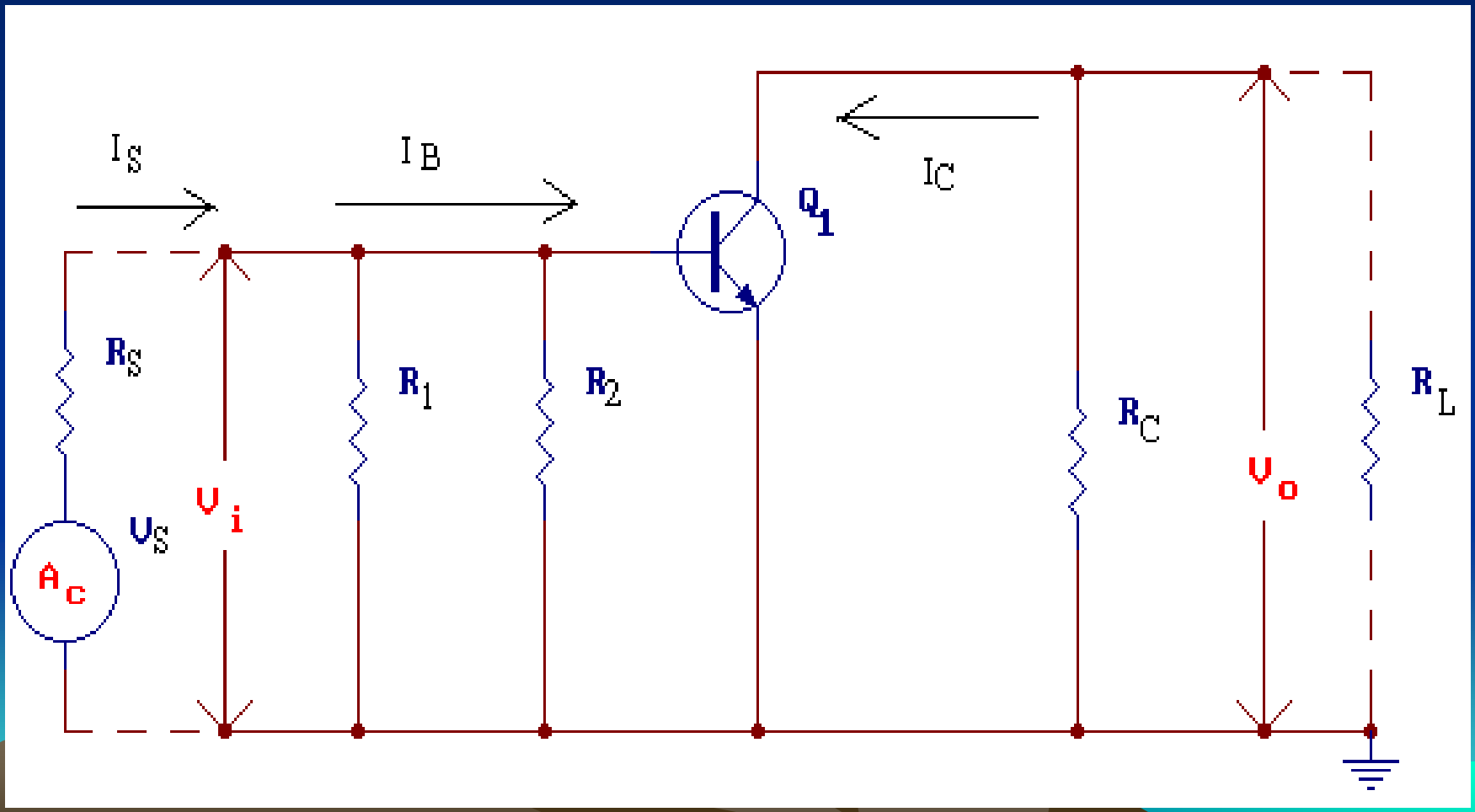
มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ลัดวงจรที่คาปาซิเตอร์ทุกตัว
- ลัดวงจรแหล่งจ่ายไฟ Vcc กับกราวด์
- ทำการเขียนวงจรสมมูลทางไฟฟ้ากระแสสลับ

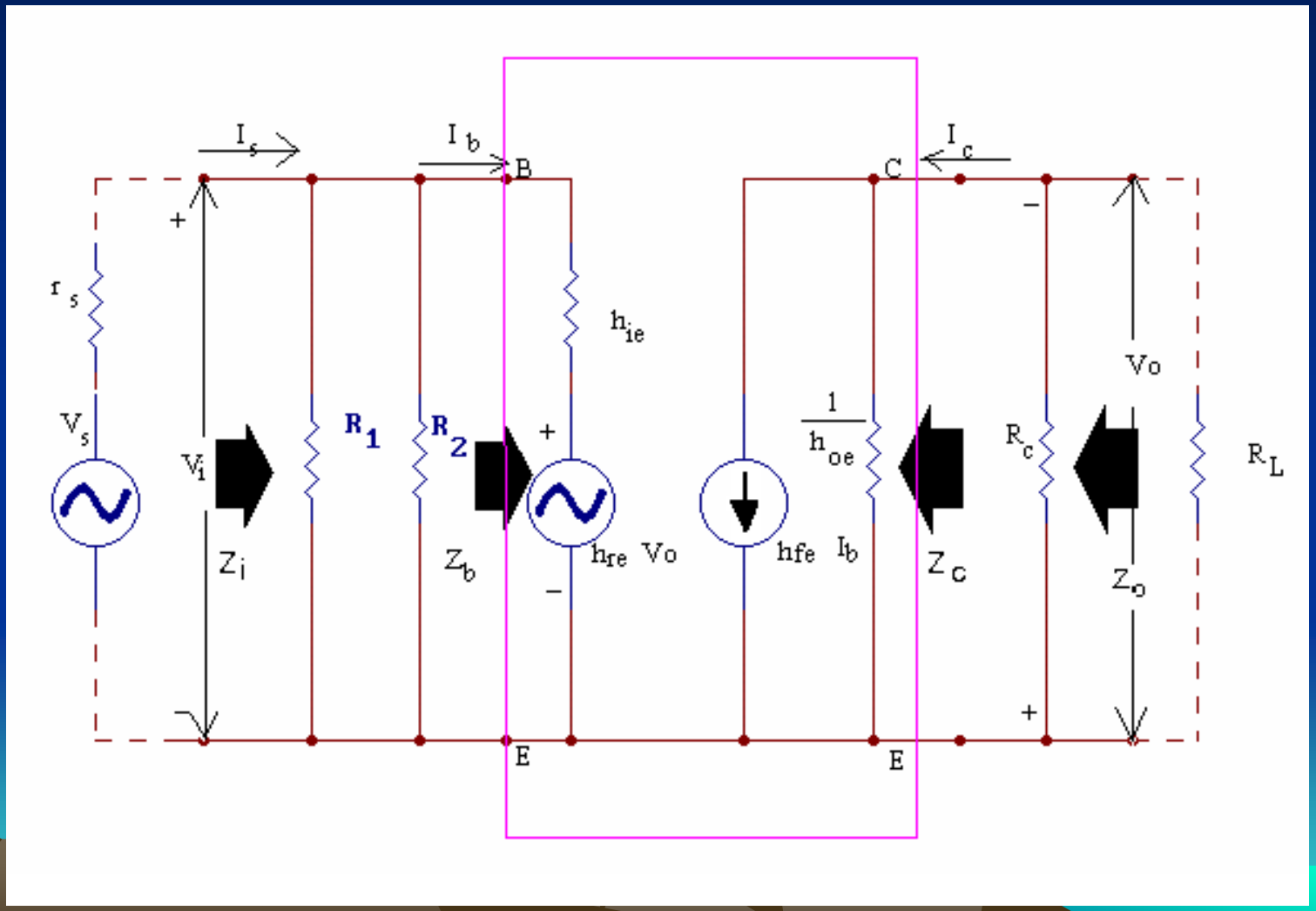
วงจรสมมูลของคอมมอนอิมิตเตอร์
(CE AC Equivalent Circuit)



วงจรสมมูลของคอมมอนอิมิตเตอร์
(CE AC Equivalent Circuit)

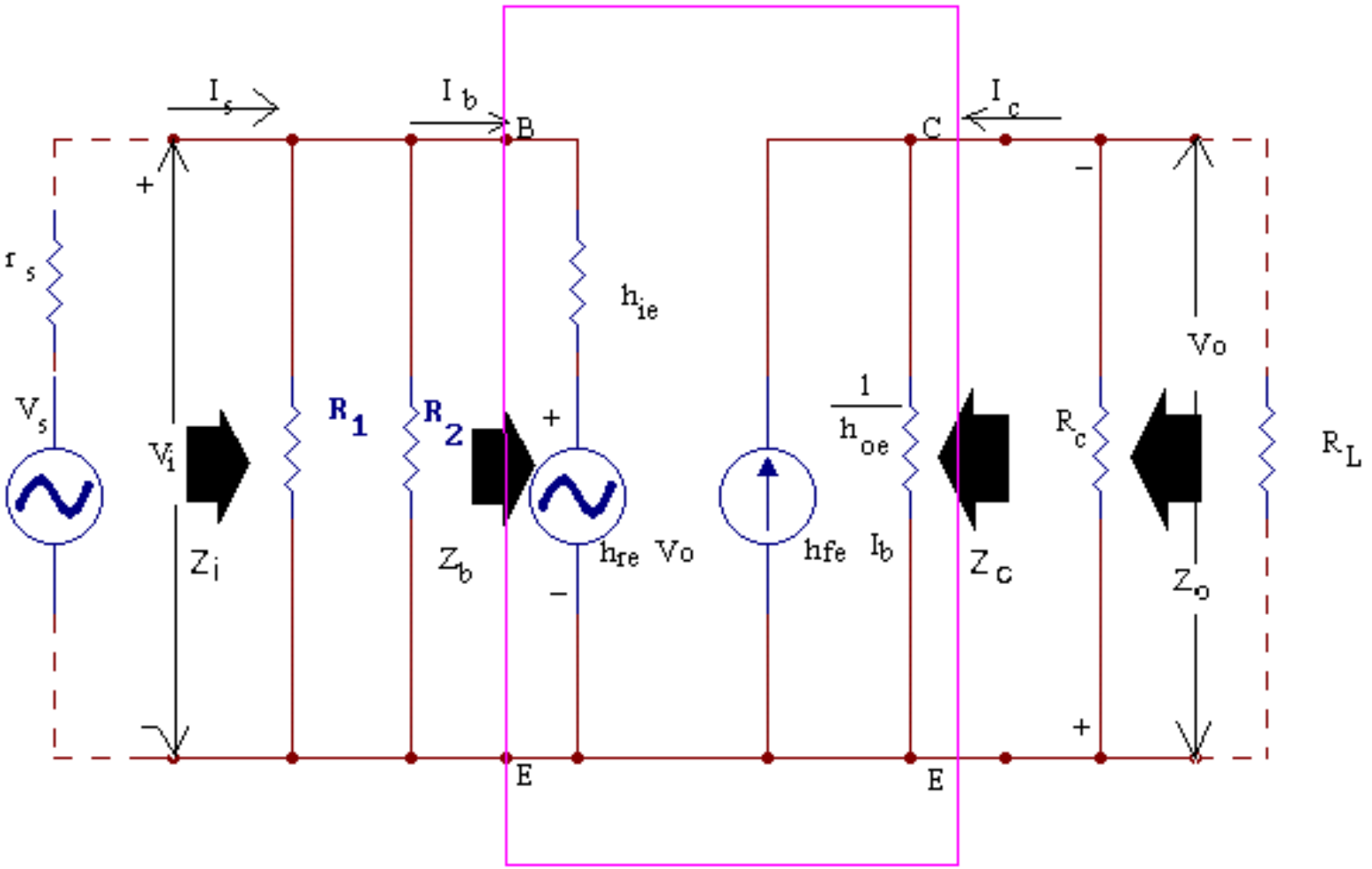


เขียน h Parameter Equivalent

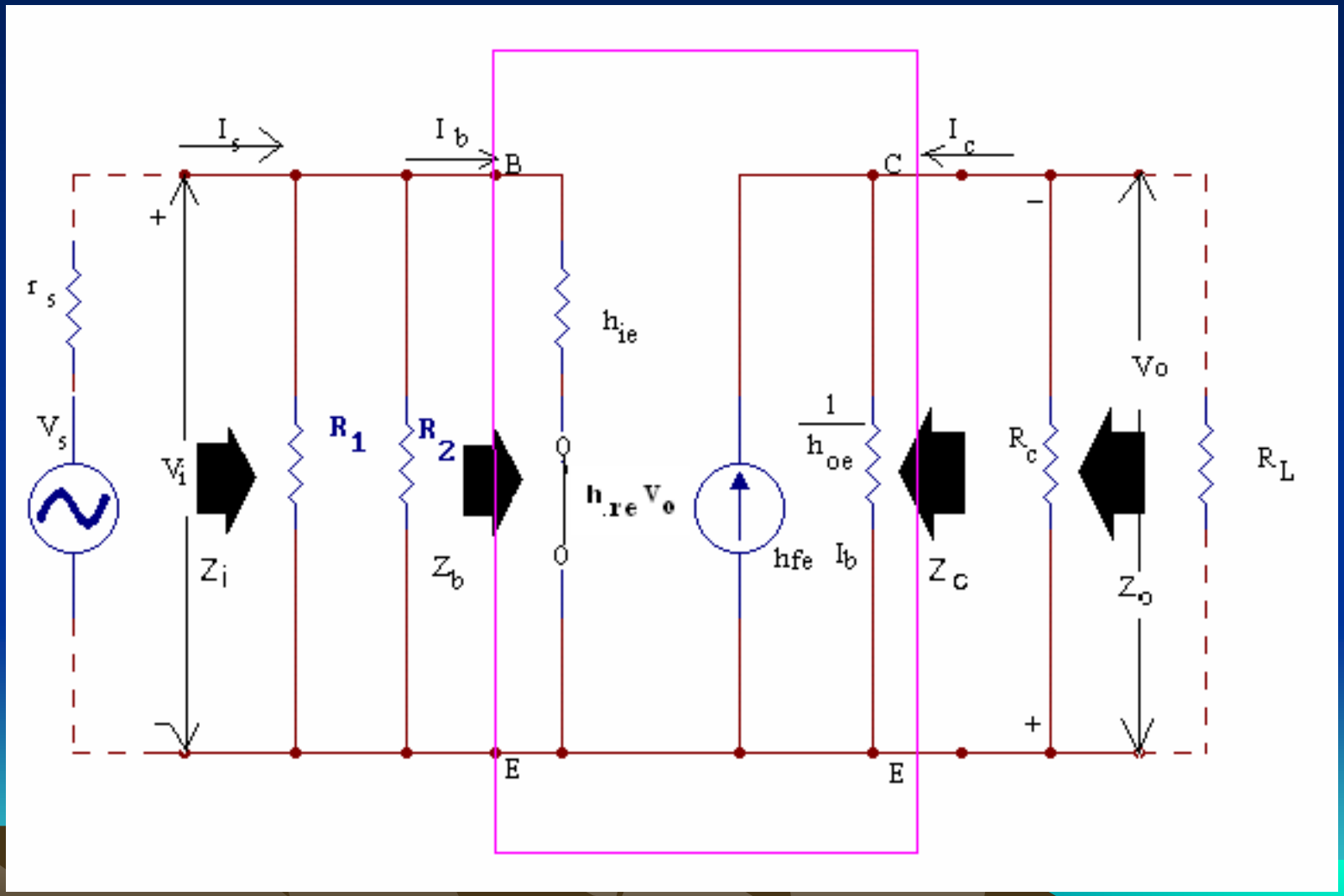


2.1 หาค่าอินพุต อิมพีแดนซ์หรือ Zi

2.1 หาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์หรือ Zi



เมื่อ hie >hreVo จึงไม่คิดค่า hreVo



2.1 หาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ขาเบสเทียบกราวด์

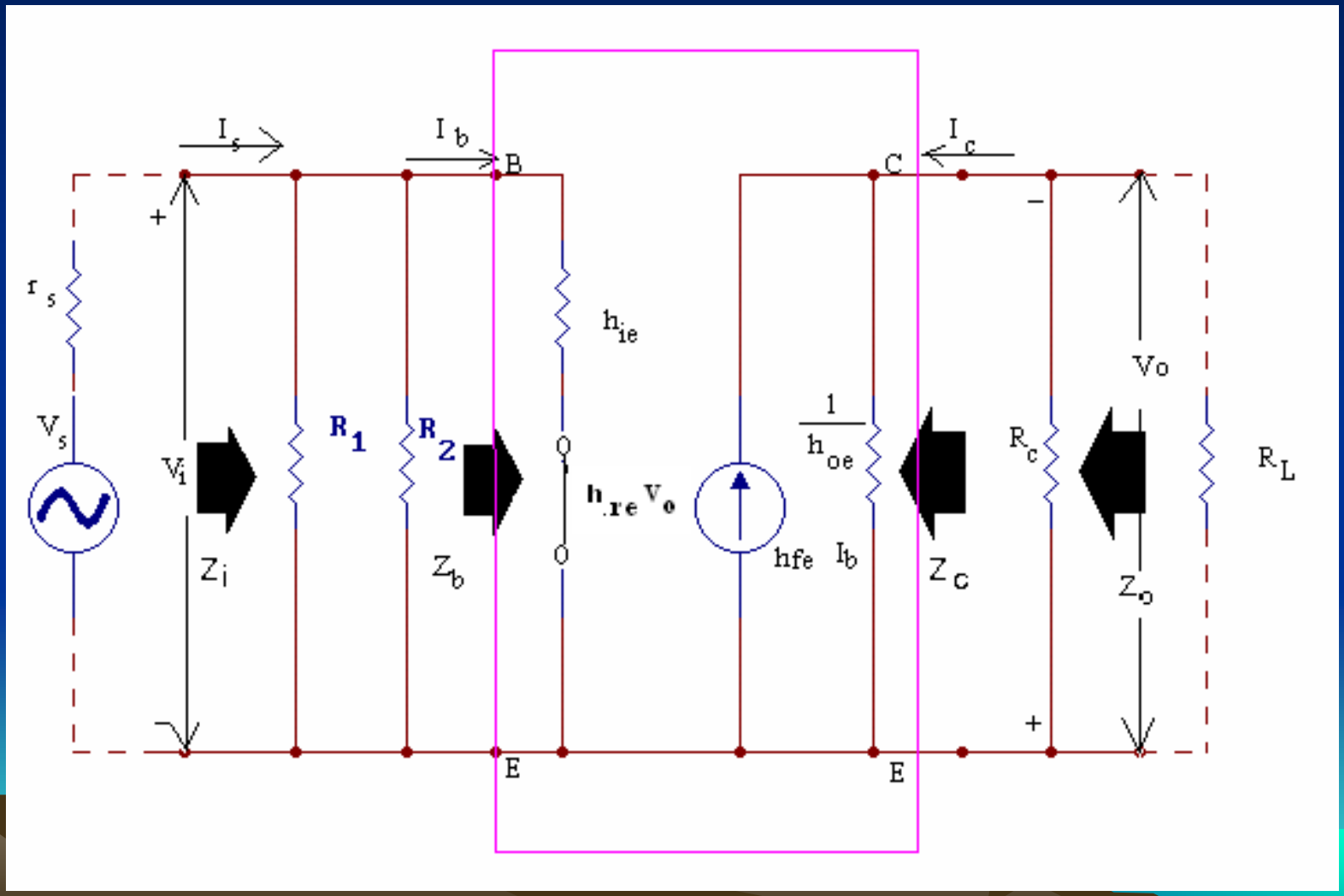
เมื่อ hie >hreVo

จะได้

$$Zb = hie$$

ปกติค่าของ hie = 1.5 kΩ

2.1 หาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์หรือ Zi



2.1 หาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์หรือ Zi

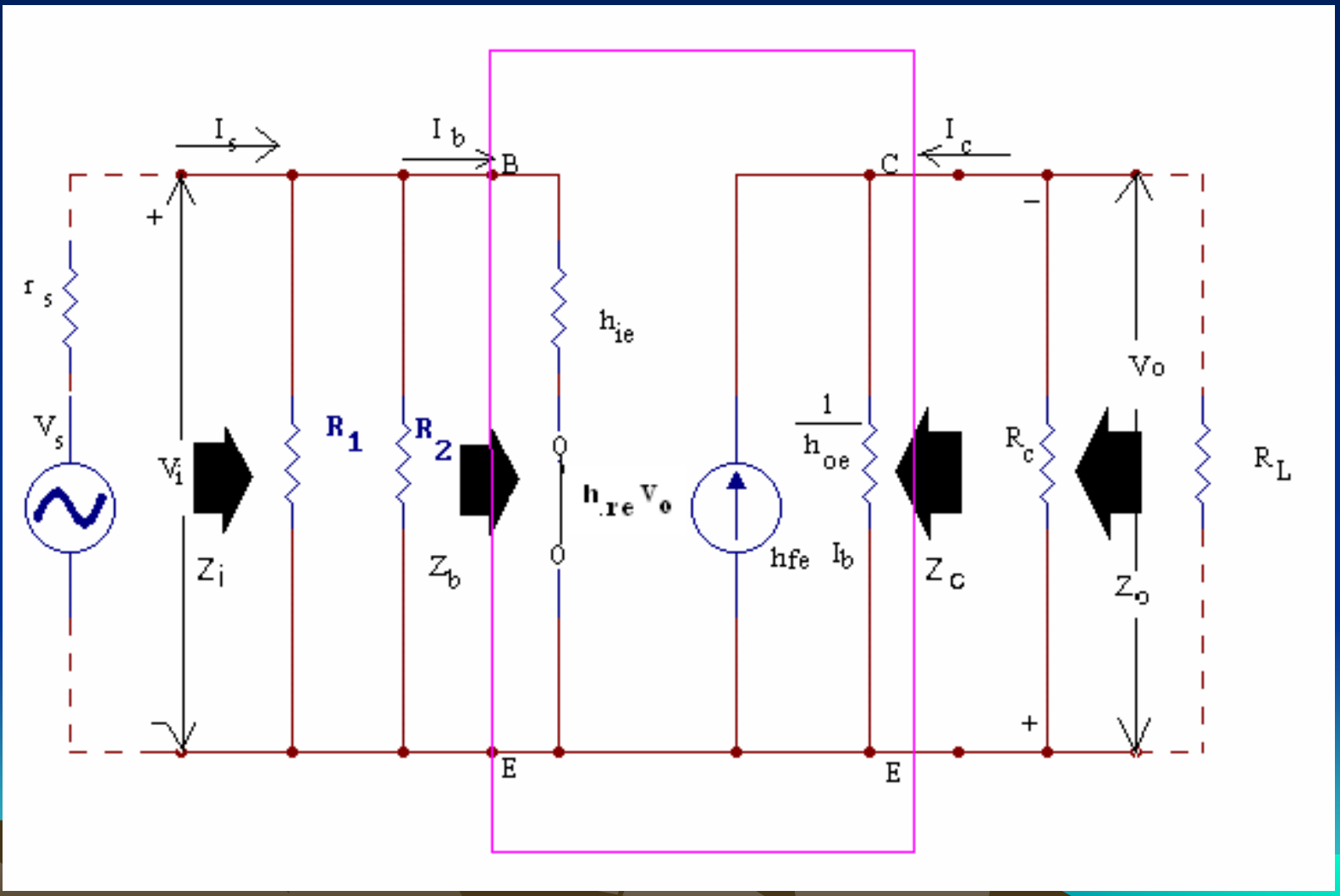
∴ จะหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรทั้งหมดจึงมีค่าดังนี้

$$Zi = R1 // R2 // Zb$$

2.2 หาค่าเอาต์พุต

อิมพีแดนซ์ หรือ ZO

2.2 หาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ หรือ ZO



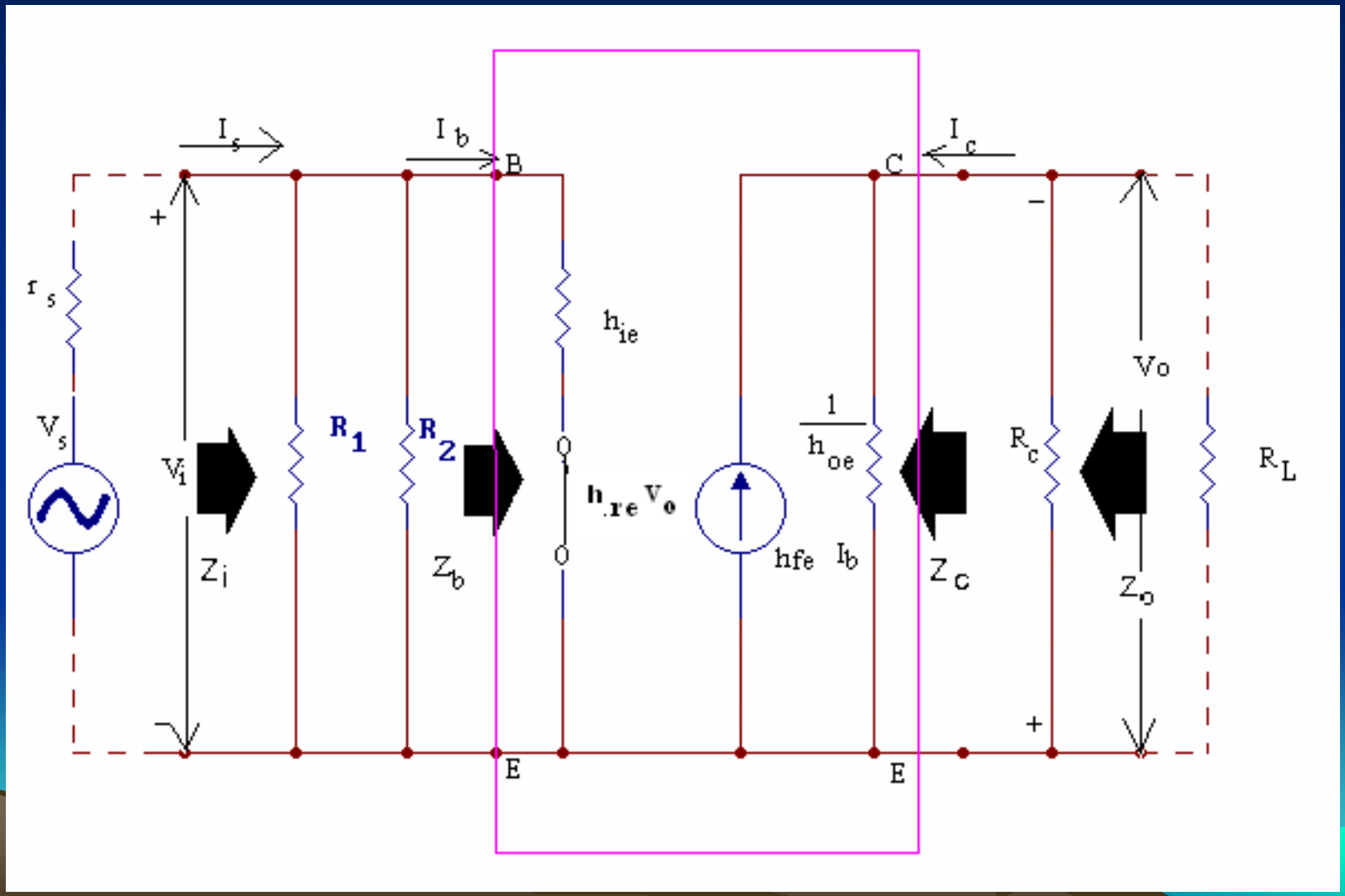
2.2 หาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ หรือ ZO

- ถ้าเรามองเข้าไปที่ขาคอลเล็กเตอร์Z_C กับอิมิตเตอร์จะเห็นค่า Output Conductance

ดังนั้น

$$Z_C \approx \frac{1}{h_{oe}}$$

2.2 หาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ หรือ ZO



2.2 หาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ หรือ ZO

- เมื่อเราต้องการหาเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_O) จะหาได้ดังนี้

$$Z_O = \frac{1}{h_{oe}} /\!\!/ R_C$$

ซึ่งค่าของ 1/hoe = 1MΩ ซึ่งมากกว่าค่าของ R_C
ดังนั้นเอาต์พุตอิมพีแดนซ์จึงมีค่าเท่ากับ R_C

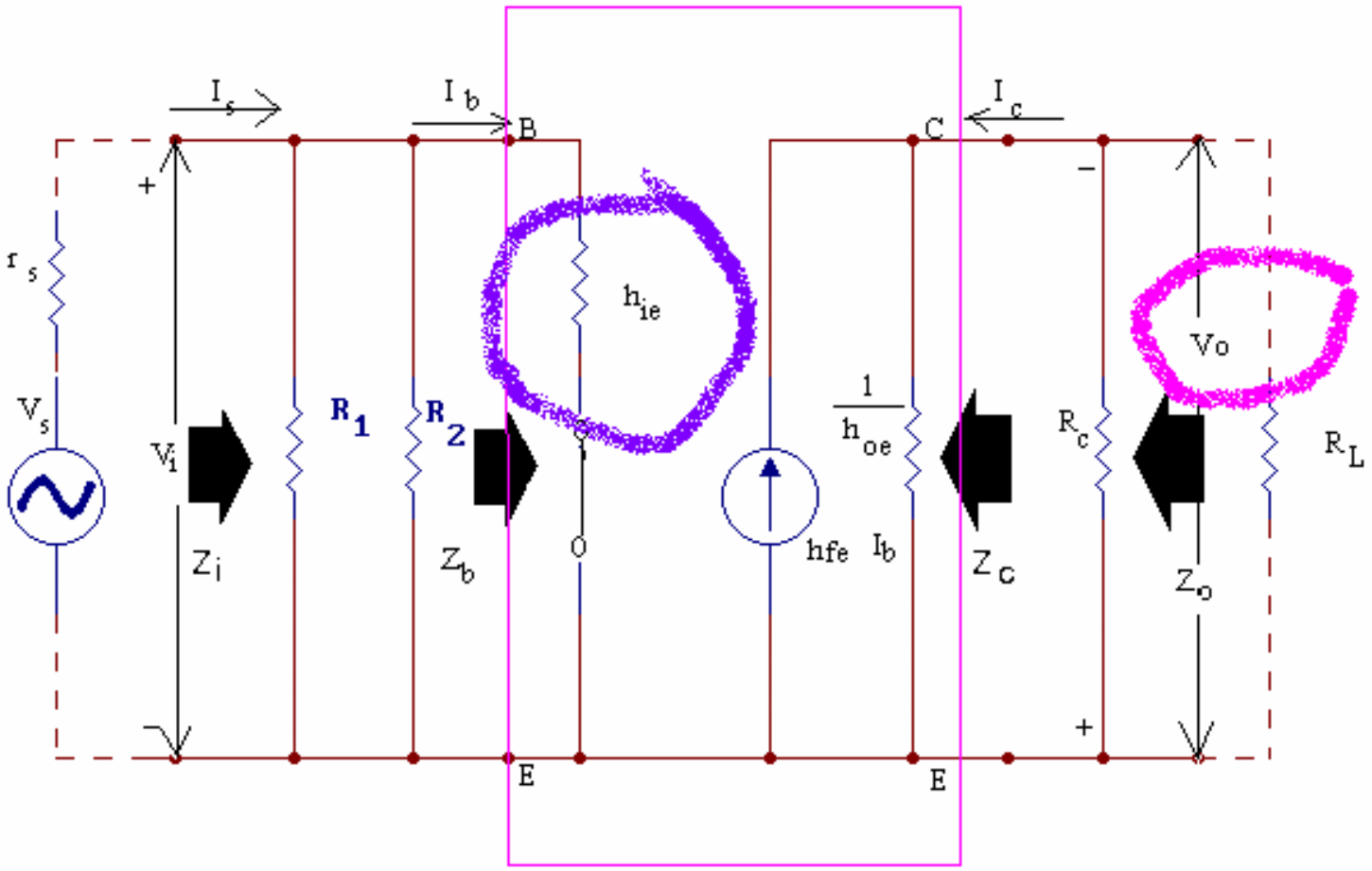
2.3 หาค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน หรือ AV

2.3 หาค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน หรือ AV

- ค่าค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน กำหนดให้โดยสมการ

$$\text{Voltage Gain} = A_V = \frac{V_O}{V_i}$$

2.3 หาค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน หรือ AV



2.3 หาค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน หรือ AV

จากรูปที่ 7.4 จะได้

$$V_O = I_C (R_C // R_L)$$

และ

$$Vi = I_b hie$$

2.3 หาค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน หรือ AV

ดังนั้น

$$A_V = \frac{I_C (R_C // R_L)}{I_b h_{ie}} = \frac{I_C}{I_b} \times \frac{(R_C // R_L)}{h_{ie}}$$

เมื่อ

$$h_{fe} = \frac{I_C}{I_b}$$

2.3 หาค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน หรือ AV

จะได้

$$A_V = \frac{-h_{fe}(R_C \,/\!/\, R_L)}{h_{ie}}$$

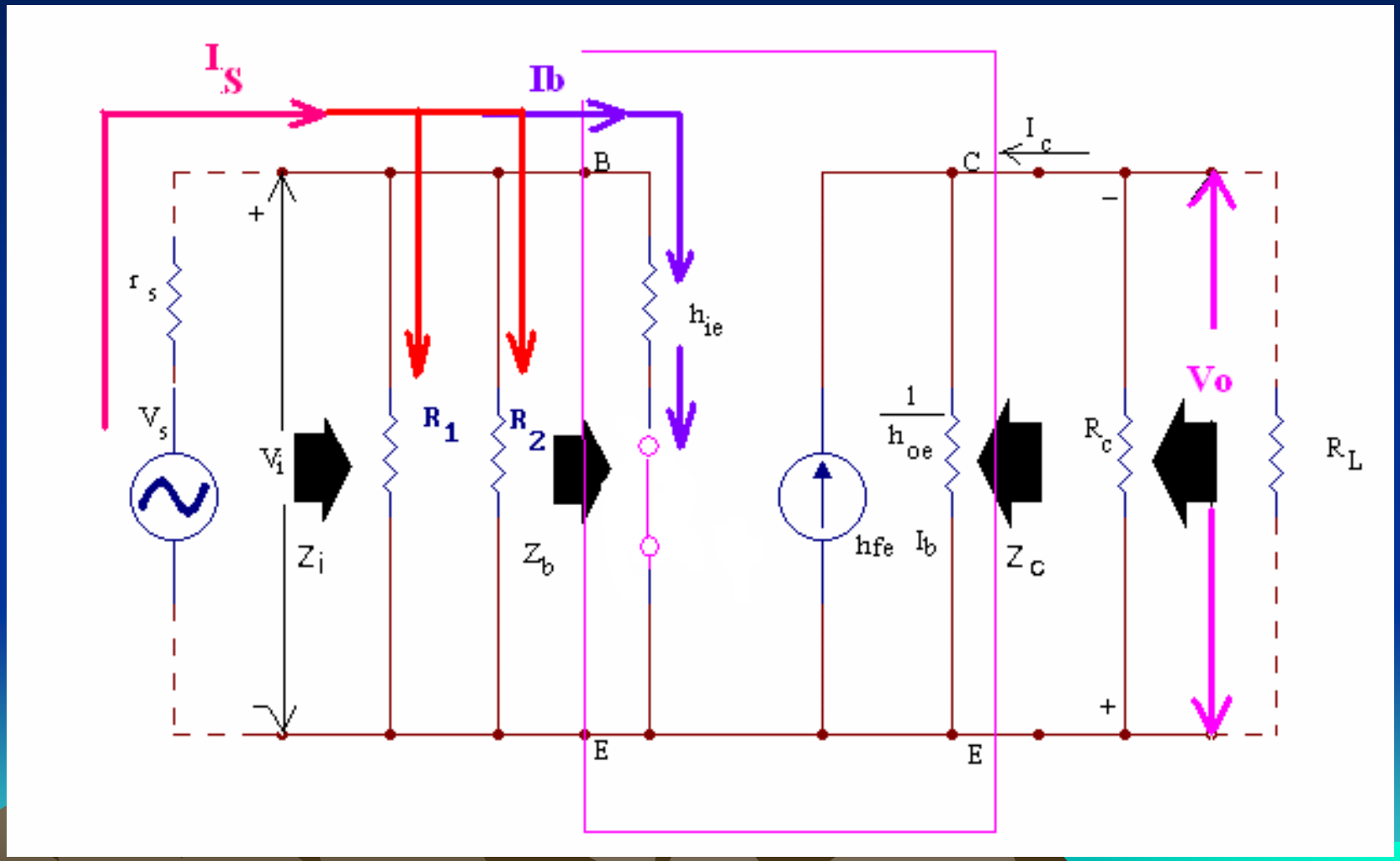
2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai

2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai

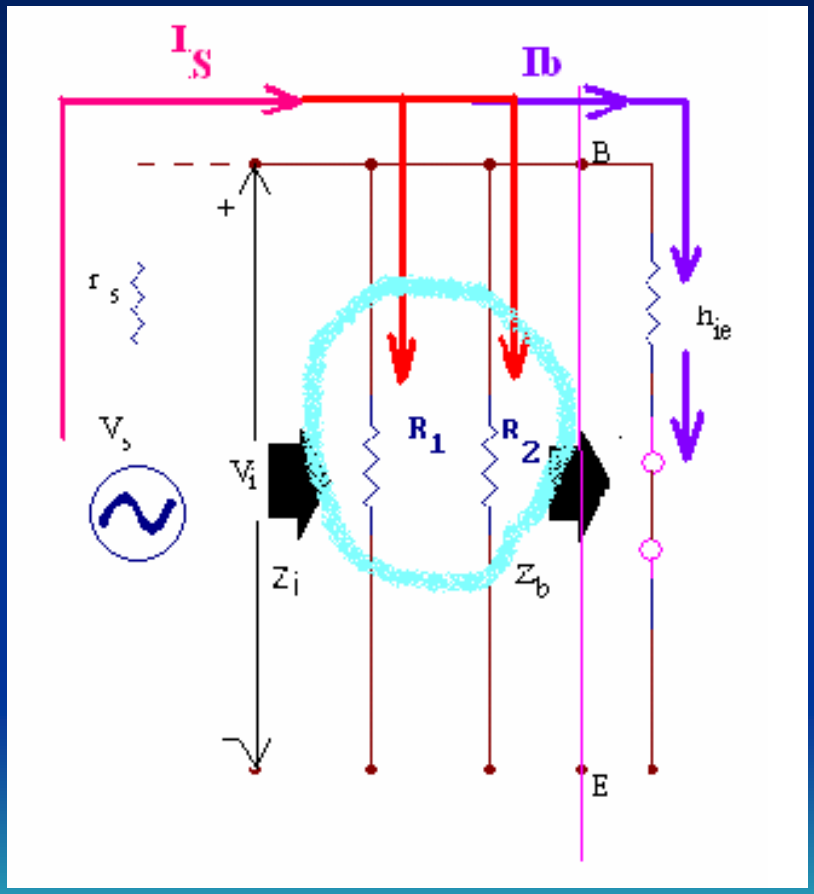
ค่าอัตราขยายเฉพาะตัวทรานซิสเตอร์เองหาได้จากสูตร

$$h_{fe} = \frac{I_C}{I_b}$$

2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai

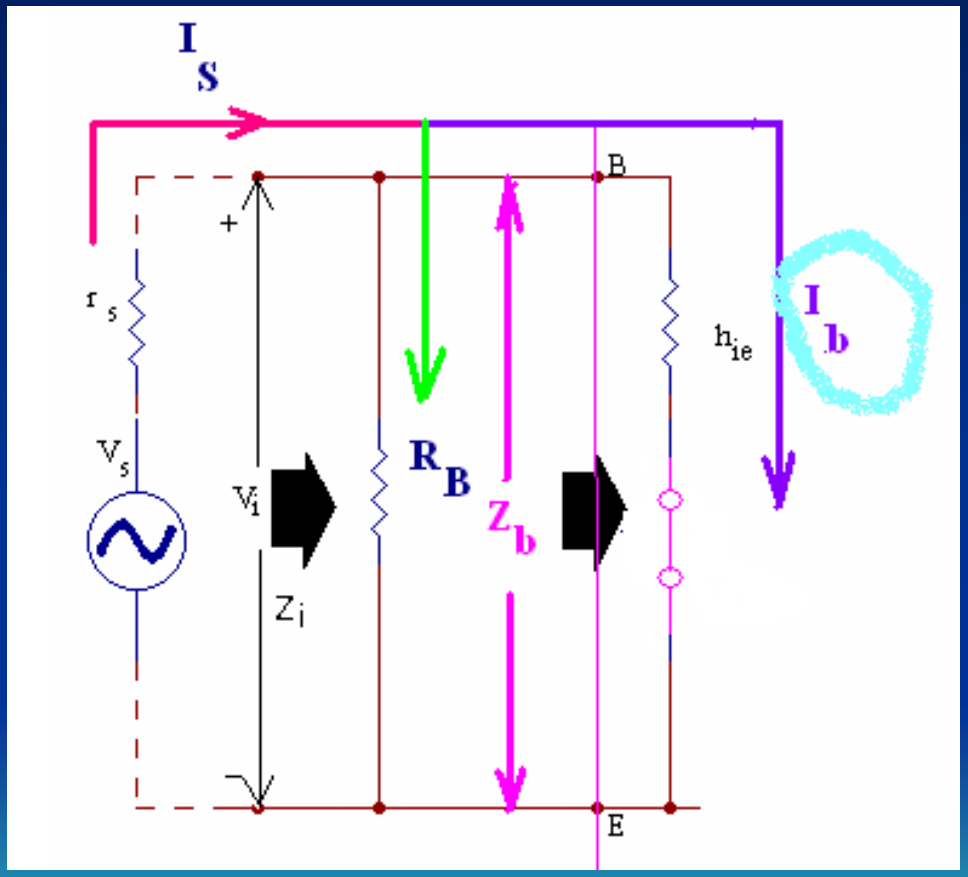


2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai



เมื่อ $R_B = R_1 // R_2$

2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai



$$I_b = \frac{I_S R_B}{R_B + Z_B}$$

2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai

หาค่ากระแส I_b โดยใช้หลักการของ Current Divider ได้ดังนี้

$$I_b = \frac{I_S R_B}{R_B + Z_B} \quad (1)$$

และเมื่อ

$$I_C = hfe \cdot Ib \quad (2)$$

2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai

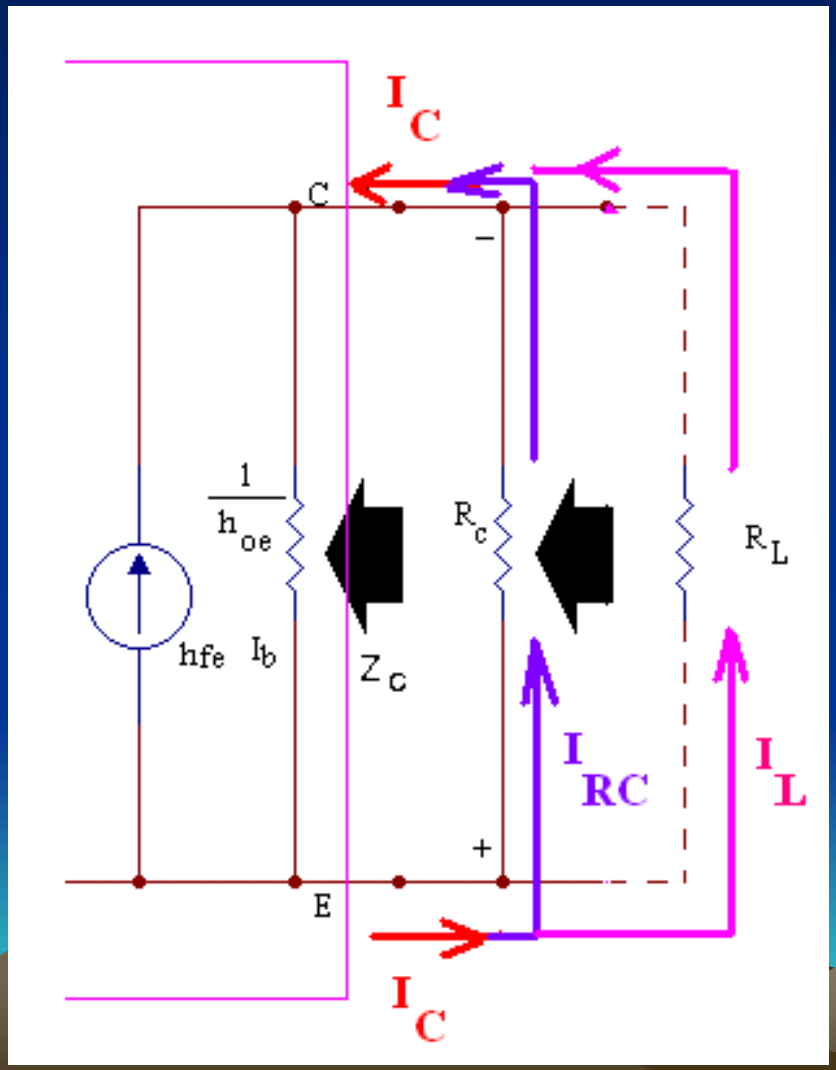
และเมื่อ

$$I_C = hfe \cdot Ib \qquad (2)$$

นำค่า I_b ในสมการที่ (1) แทนลงในสมการที่ (2) จะได้

$$I_C = \frac{h_{fe} I_S R_B}{R_B + Z_b} \qquad (3)$$

2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai



หาค่ากระแส I_L

$$I_L = \frac{I_C R_C}{R_C + R_L}$$

2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai

- ในสภาวะที่ต่อโหลด R_L เข้าวงจรจะหาค่ากระแสโดยใช้หลักการของ Current Gain ได้ดังนี้

$$I_L = \frac{I_C R_C}{R_C + R_L} \qquad (4)$$

2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai

- นำสมการที่ (3) แทนลงในสมการที่ (4) สามารถหาค่า Current Gain (Ai) ได้ดังนี้

$$I_L = \frac{h_{fe} I_S R_C R_B}{(R_C + R_L)(R_B + Z_b)}$$

2.4 หาค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือ Ai

$$I_L = \frac{h_{fe} I_S R_C R_B}{(R_C + R_L)(R_B + Z_b)}$$

จะได้

$$A_i = \frac{I_L}{I_S} = \frac{h_{fe} R_C R_B}{(R_C + R_L)(R_B + Z_b)}$$

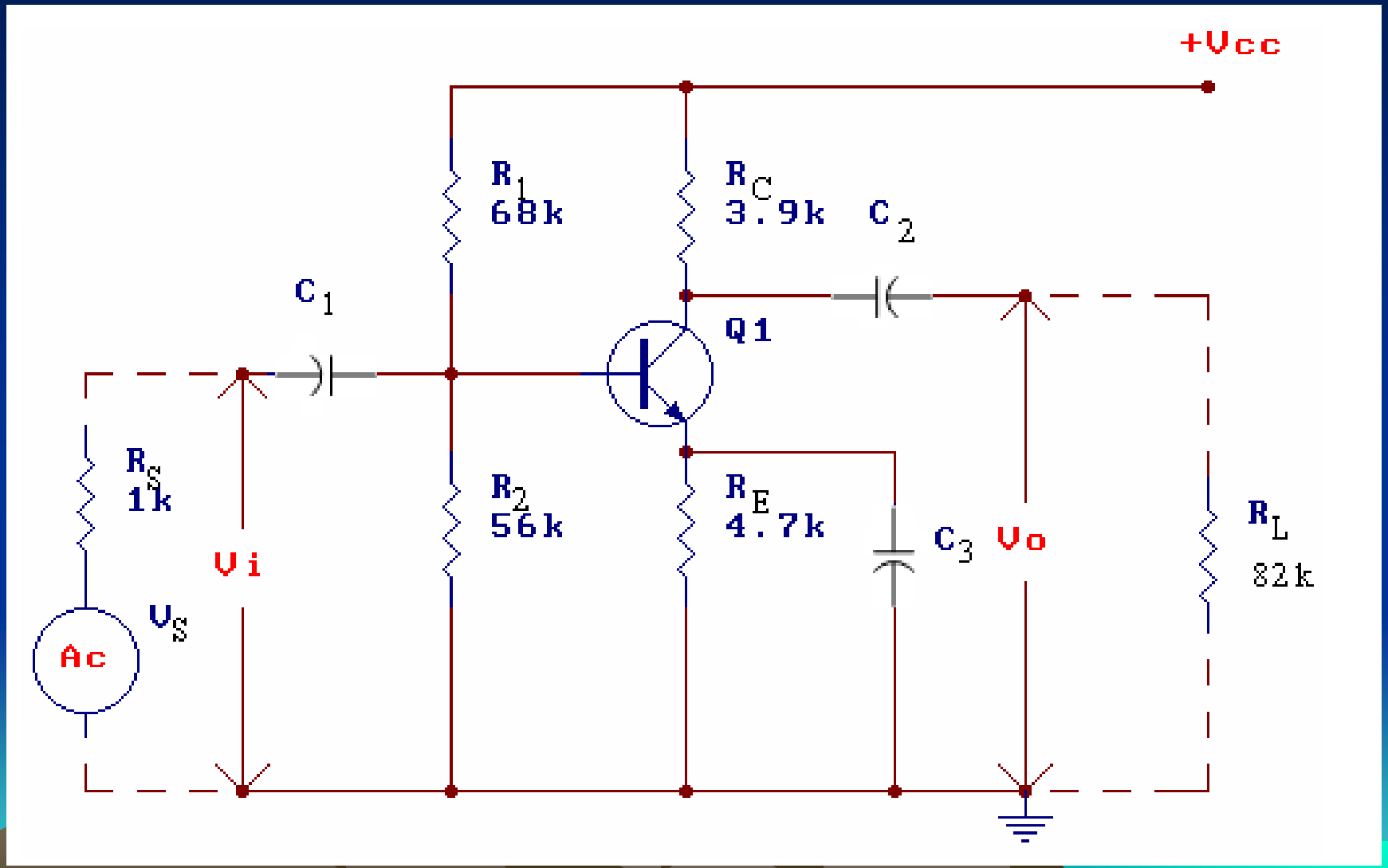
ตัวอย่างที่7.1

ในวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ดังแสดงในรูปมีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ดังต่อไปนี้

hie=2.1 kΩ, hfe=100, hoe = 1 μS

จงคำนวณหาค่าอินพุต, เอาต์พุตอิมพีแดนซ์, ค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดันและกระแส

ตัวอย่างที่7.1



(ก) หาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_O)

วิธีทำ

หาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_O) ได้จาก

$$Z_C \approx \frac{1}{h_{oe}} = 1M\Omega$$

และจะหา Z_O ได้ดังนี้

$$Z_O = Z_C \,//\, R_C$$

(ก) หาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (ZO)

และจะหา Z_O ได้ดังนี้

$$Z_O = Z_C \,//\, R_C$$

แทนค่าในสูตร

$$Z_O = 1\ M\Omega \,//\, 3.9\ k\Omega$$

$$= 3.9\ k\Omega$$

(ข) หาค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน (A_V)

หาค่า Voltage Gain ได้จากสูตร

$$A_V = \frac{-h_{fe}(R_C // R_L)}{h_{ie}}$$

แทนค่าในสูตร

$$A_v = \frac{-100x(3.9k\Omega // 82k\Omega)}{2.1k\Omega} = -177$$

(ค) หาค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน (Ai)

หาค่า Current Gain ได้จากสูตร

$$A_i = \frac{I_L}{I_S} = \frac{h_{fe} R_C R_B}{(R_C + R_L)(R_B + Z_b)}$$

เมื่อ

$$R_B = R_1 \,//\, R_2$$
$$= 68\ k\Omega \,//\, 56\ k\Omega$$
$$= 30.7\ k\Omega$$

(ค) หาค่าอัตราการขยายทางด้านแรงดัน (Ai)

$$A_i = \frac{I_L}{I_S} = \frac{h_{fe} R_C R_B}{(R_C + R_L)(R_B + Z_b)}$$

แทนค่าในสูตร

$$A_i = \frac{100 \times 39k\Omega \times 3.7k\Omega}{(3.9k\Omega + 82k\Omega)(30.7k\Omega + 2.1k\Omega)}$$

$$= 4.2$$

สรุป

จากที่ได้ศึกษามาเราสามารถใช้ h-Parameter วิเคราะห์วงจร เพื่อหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ , เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ , Voltage Gain , Current Gain , Power Gain ของวงจรขยายแบบคอมมอนอีมิตเตอร์ได้