

# 講義中の注意



- 講義中は、参加者のマイク・カメラの機能はミュート状態になります。
- 進行はスタッフ及び講師が行いますので、指示に従ってください。
- 質疑応答の時間は、参加者のマイクをオンにして質問を受け付けることもあります。希望される方は「チャット欄」で申し出てください。

# 電験三種 オンライン講座

## 第9回 トランジスタ (交流等価回路)

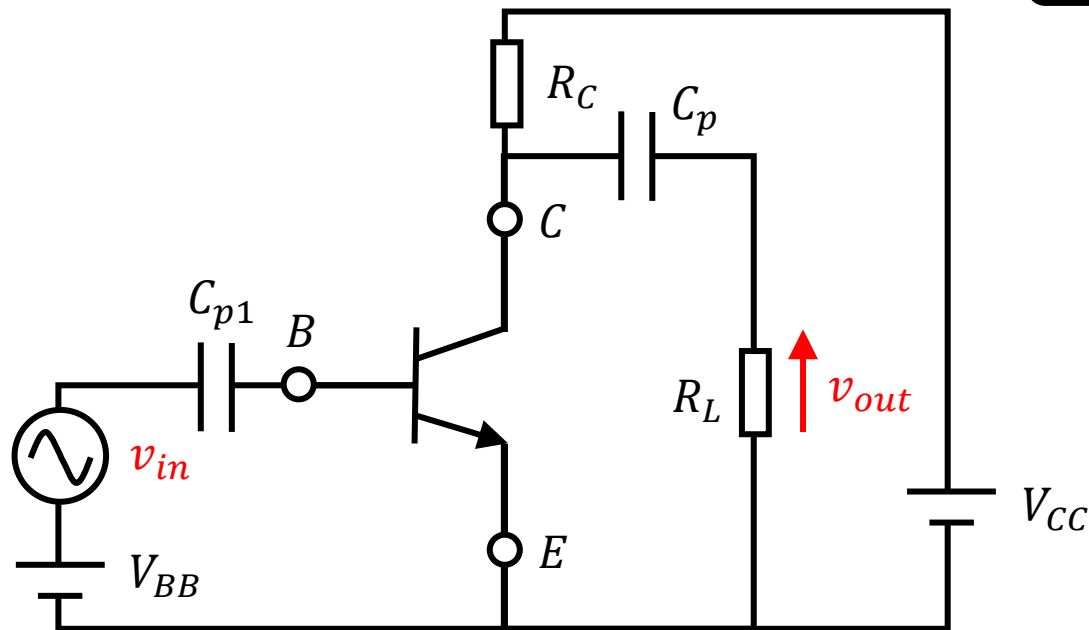
# トランジスタ増幅回路（電流帰還バイアス）

電流帰還バイアス型のトランジスタ増幅回路

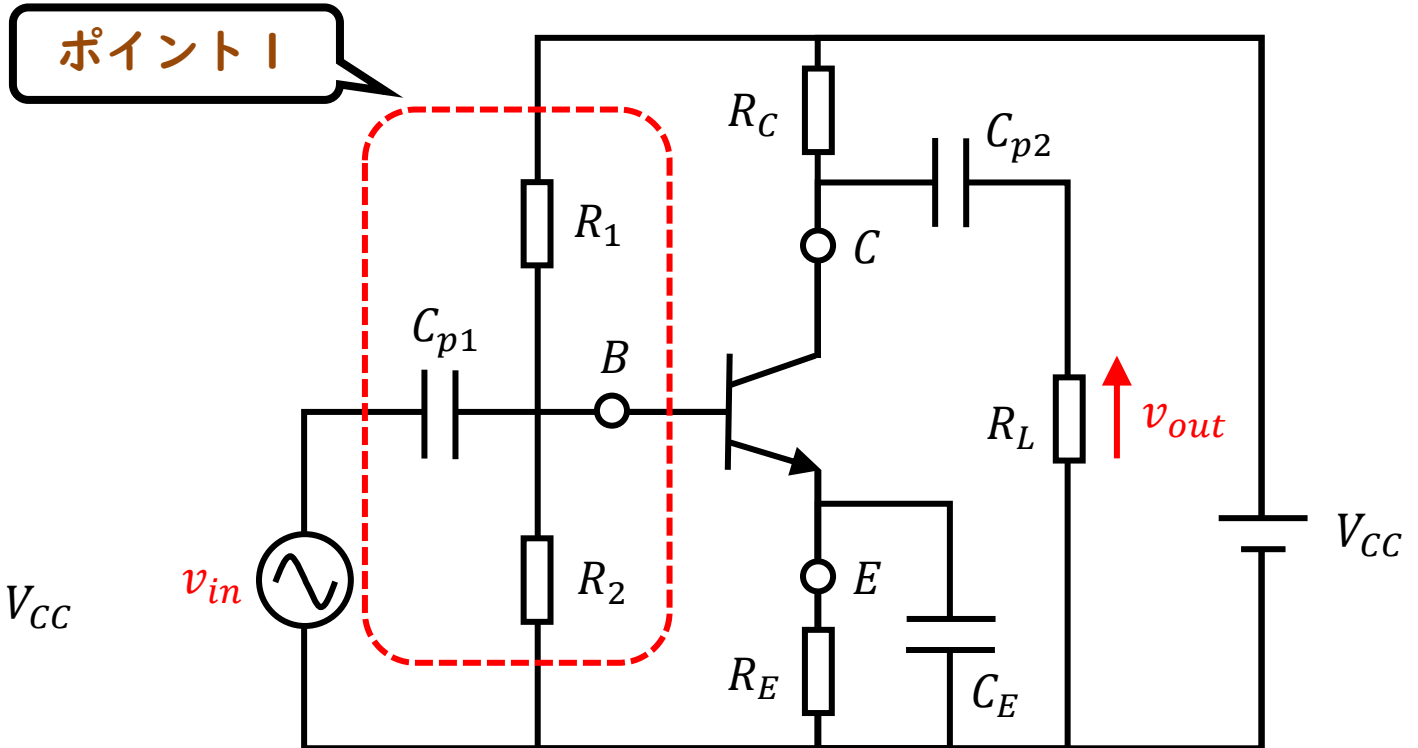
ポイント1:  $V_{CC}$  で  $V_{BB}$  をつくる

ポイント2: 直流成分と交流成分を分解する

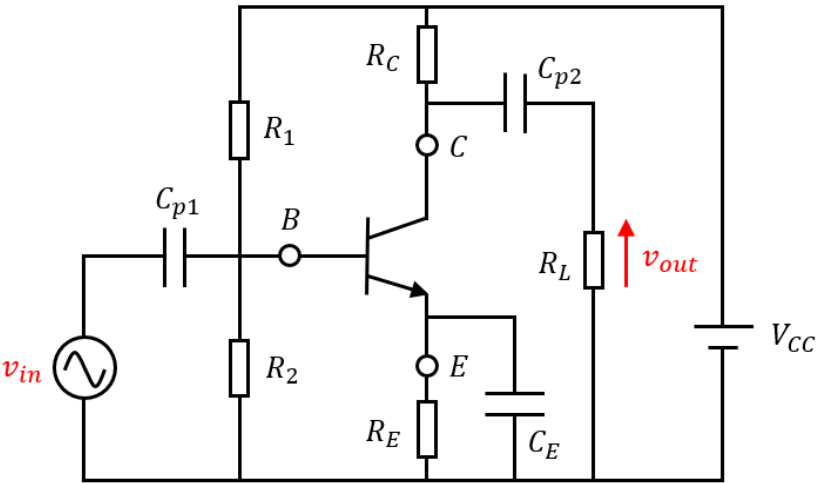
前回の回路



今回の回路



# トランジスタ増幅回路（電流帰還バイアス）

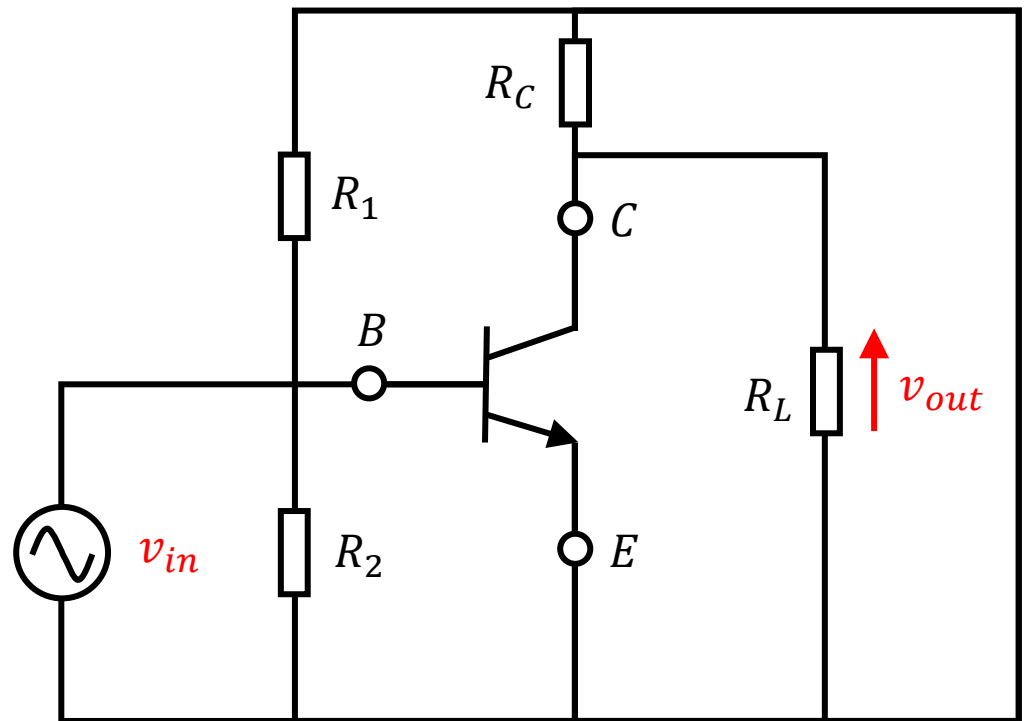
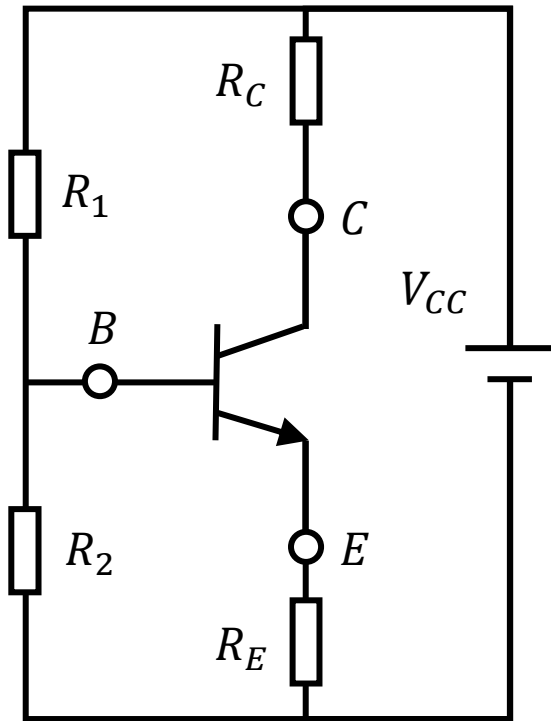


直流成分  
→動作点に関する問題

交流成分  
→等価回路に関する問題

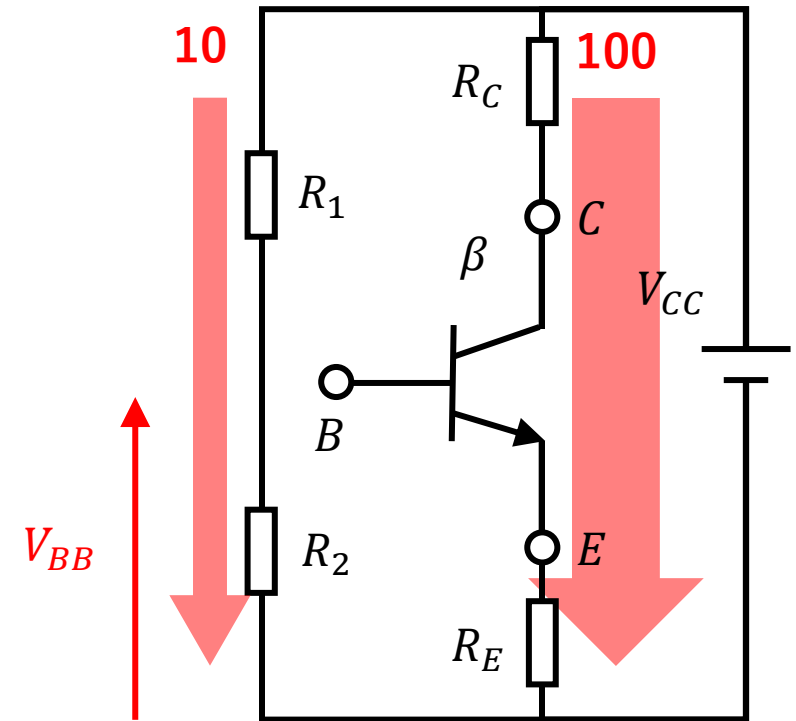
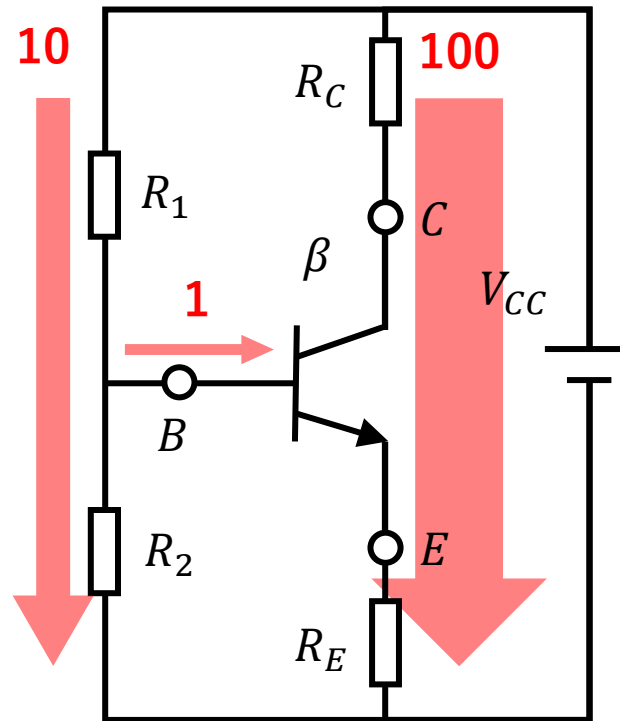
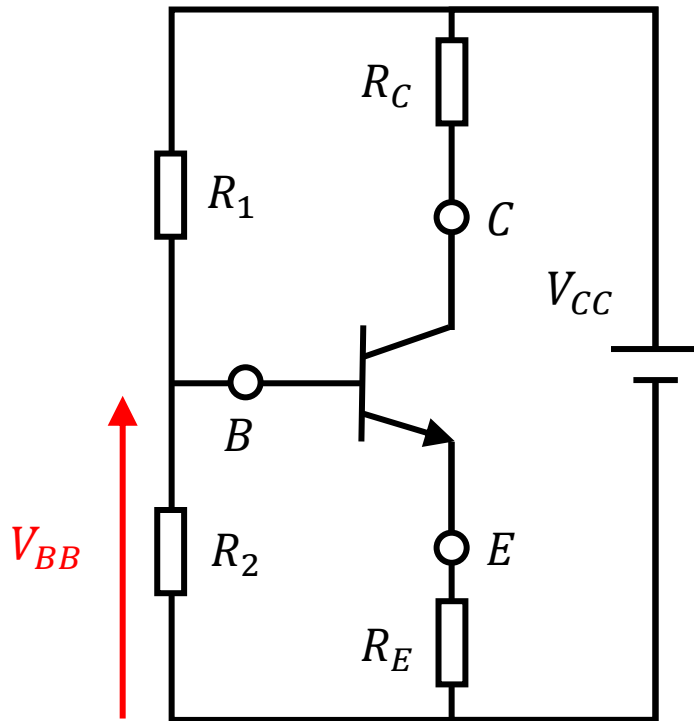


交流成分と直流成分  
に分ける



# 直流成分の回路を分析

$V_{BB}$  を導出する

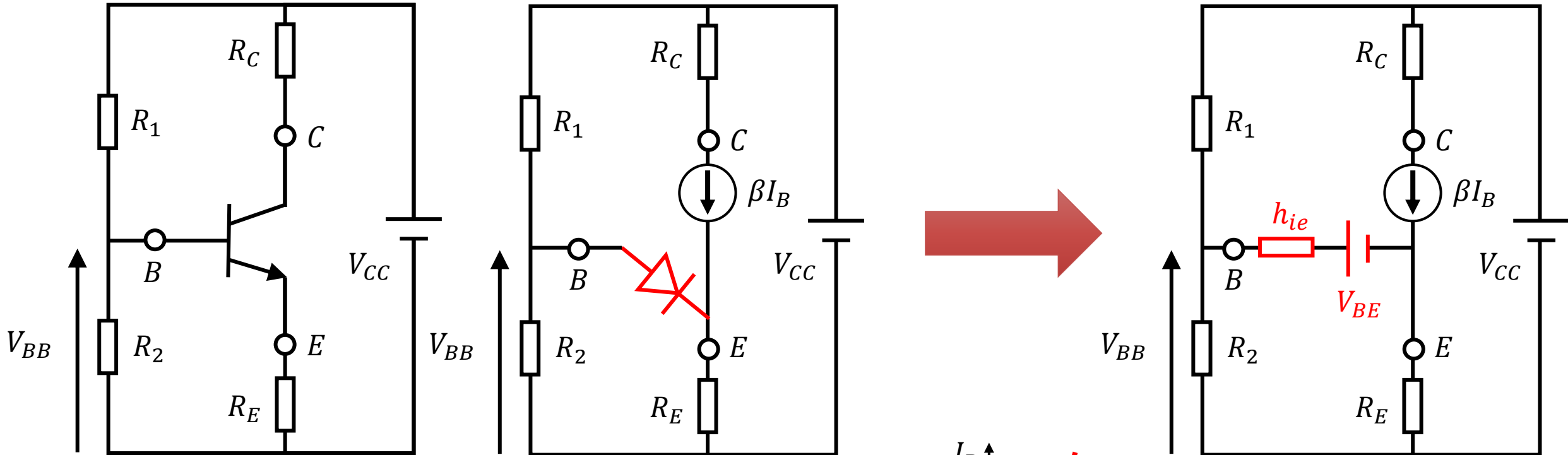


上記の電流バランスになるように設計する

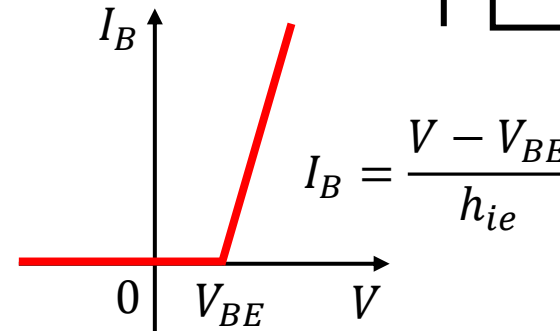
$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

# 直流成分の回路を分析

トランジスタ等価回路を考える



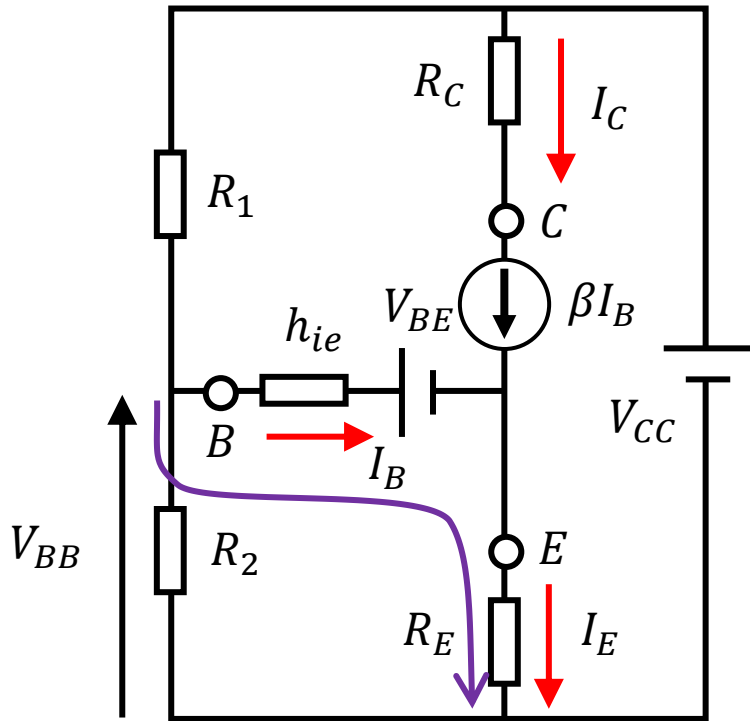
$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$



$h_{ie}$  : 入力インピーダンス

# 直流成分の回路を分析

$I_E$  を導出する  $\rightarrow V_{BB}$  が  $I_E$  と  $I_C$  を決定する



$$I_B + I_C = I_E$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (\beta = 50 \sim 200)$$

$$I_B \ll I_C < I_E$$

$I_B = 0, I_C = I_E$  と考える

$$\begin{aligned} V_{BB} &= \frac{h_{ie} I_B}{0} + V_{BE} + R_E I_E \\ &= V_{BE} + R_E I_E \end{aligned}$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E}$$

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$I_E = I_C = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E}$$

# H30 問16

問16 エミッタホロワ回路について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 図1の回路で  $V_{CC}=10\text{ V}$ ,  $R_1=18\text{ k}\Omega$ ,  $R_2=82\text{ k}\Omega$ とする。動作点におけるエミッタ電流を  $1\text{ mA}$  としたい。抵抗  $R_E$  の値 [ $\text{k}\Omega$ ] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、動作点において、ベース電流は  $R_2$  を流れる直流電流より十分小さく無視できるものとし、ベース-エミッタ間電圧は  $0.7\text{ V}$  とする。

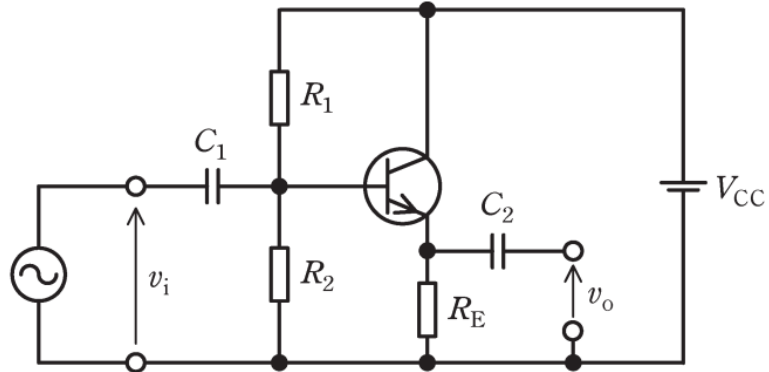


図1

- (1) 1.3      (2) 3.0      (3) 7.5      (4) 13      (5) 75

# 導出のポイント

問 16 エミッタホロワ回路について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 図1の回路で  $V_{CC}=10\text{V}$ ,  $R_1=18\text{k}\Omega$ ,  $R_2=82\text{k}\Omega$ とする。動作点におけるエミッタ電流を  $1\text{mA}$  としたい。抵抗  $R_E$  の値 [ $\text{k}\Omega$ ] として、最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。ただし、動作点において、ベース電流は  $R_2$  を流れる直流電流より十分小さく無視できるものとし、ベース-エミッタ間電圧は  $0.7\text{V}$  とする。

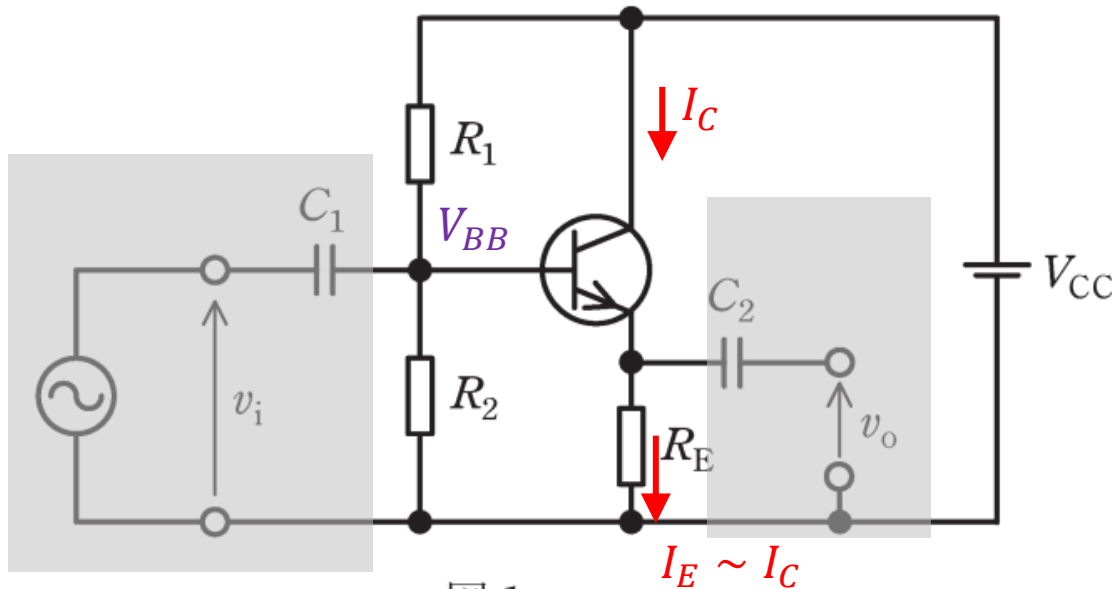


図 1

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$
$$= \frac{82\text{ k}}{18\text{ k} + 82\text{ k}} \times 10 = 8.2\text{ V}$$

$$V_{BB} = V_{BE} + R_E I_E$$

$$8.2 = 0.7 + R_E \times 1\text{m}$$

$$1\text{k} \times R_E = 8.2 - 0.7 = 7.5$$

$$R_E = \frac{7.5}{1\text{m}} = 7.5\text{ k}\Omega$$

# H30 問16

問16 エミッタホロワ回路について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 図1の回路で  $V_{CC}=10\text{ V}$ ,  $R_1=18\text{ k}\Omega$ ,  $R_2=82\text{ k}\Omega$ とする。動作点におけるエミッタ電流を  $1\text{ mA}$  としたい。抵抗  $R_E$  の値 [ $\text{k}\Omega$ ] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、動作点において、ベース電流は  $R_2$  を流れる直流電流より十分小さく無視できるものとし、ベース-エミッタ間電圧は  $0.7\text{ V}$  とする。

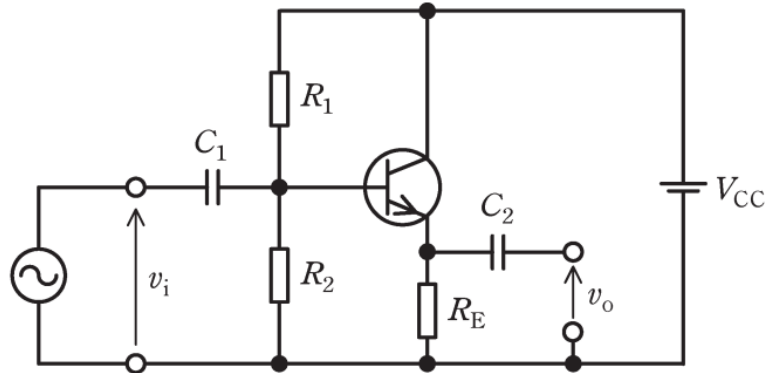


図1

- (1) 1.3      (2) 3.0      (3) 7.5      (4) 13      (5) 75

# R03 問18

問18 発振回路について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 図1は、ある発振回路のコンデンサを開放し、同時にコイルを短絡した、直流分を求めるための回路図である。図中の電圧 $V_C$  [V]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、図中の $V_{BE}$ 並びにエミッタ接地トランジスタの直流電流増幅率 $h_{FE}$ をそれぞれ $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ 、 $h_{FE} = 100$ とする。

- (1) 3      (2) 4      (3) 5      (4) 6      (5) 7

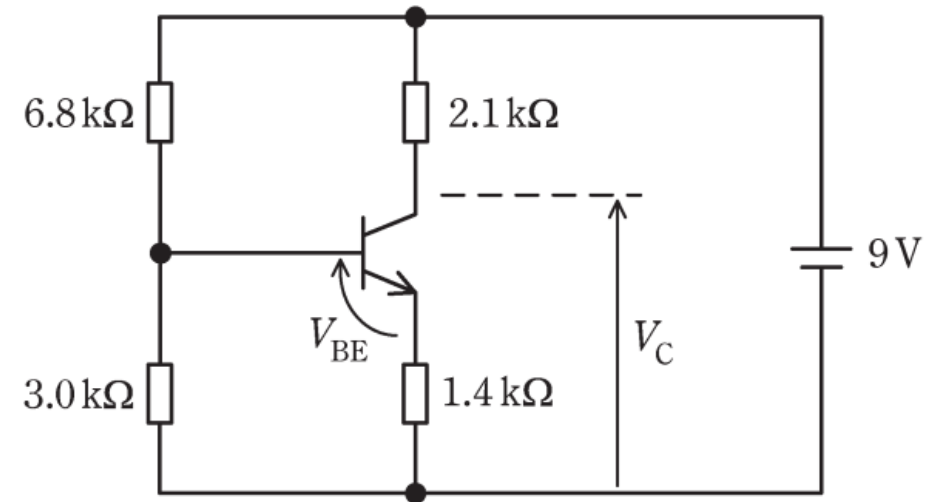


図1

# 導出のポイント

問 18 発振回路について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 図1は、ある発振回路のコンデンサを開放し、同時にコイルを短絡した、直流分を求めるための回路図である。図中の電圧 $V_C$  [V]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、図中の $V_{BE}$ 並びにエミッタ接地トランジスタの直流電流増幅率 $h_{FE}$ をそれぞれ $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ 、 $h_{FE} = 100$ とする。

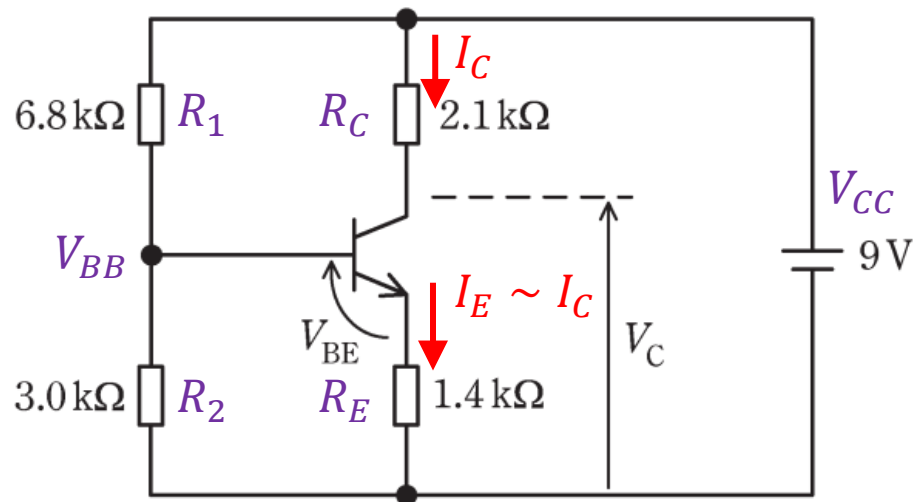


図1

$$\begin{aligned} V_{BB} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \\ &= \frac{3.0\text{ k}}{6.8\text{ k} + 3.0\text{ k}} \times 9 = 2.76\text{ V} \end{aligned}$$

$$V_{BB} = V_{BE} + R_E I_C$$

$$\begin{aligned} 2.76 &= 0.6 + 1.4\text{ k} \times I_C \\ 1.4\text{ k} \times I_C &= 2.76 - 0.6 = 2.16 \end{aligned}$$

$$I_C = \frac{2.16}{1.4\text{ k}} = 1.54\text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_C = 9 - 2.1\text{ k} \times 1.54\text{ mA} = 5.77\text{ V}$$

# R03 問18

問18 発振回路について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 図1は、ある発振回路のコンデンサを開放し、同時にコイルを短絡した、直流分を求めるための回路図である。図中の電圧 $V_C$  [V]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、図中の $V_{BE}$ 並びにエミッタ接地トランジスタの直流電流増幅率 $h_{FE}$ をそれぞれ $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ 、 $h_{FE} = 100$ とする。

- (1) 3      (2) 4      (3) 5      (4) 6      (5) 7

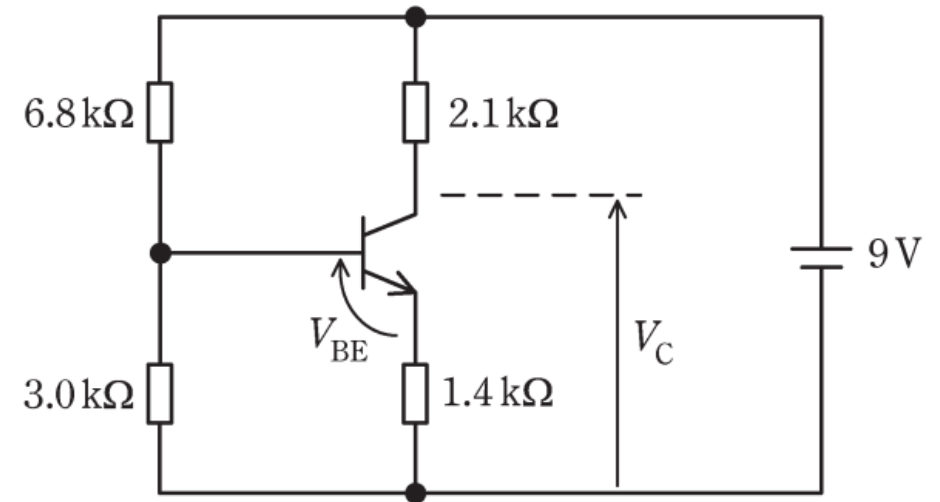
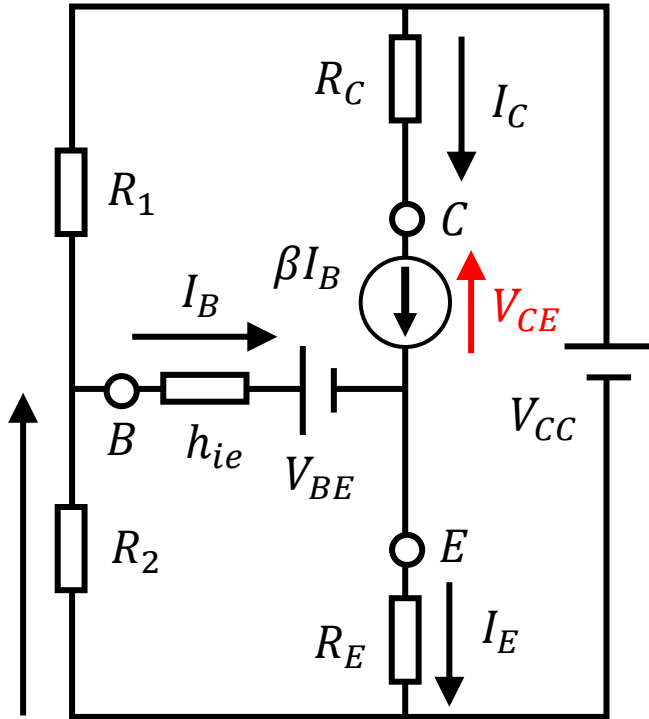


図1

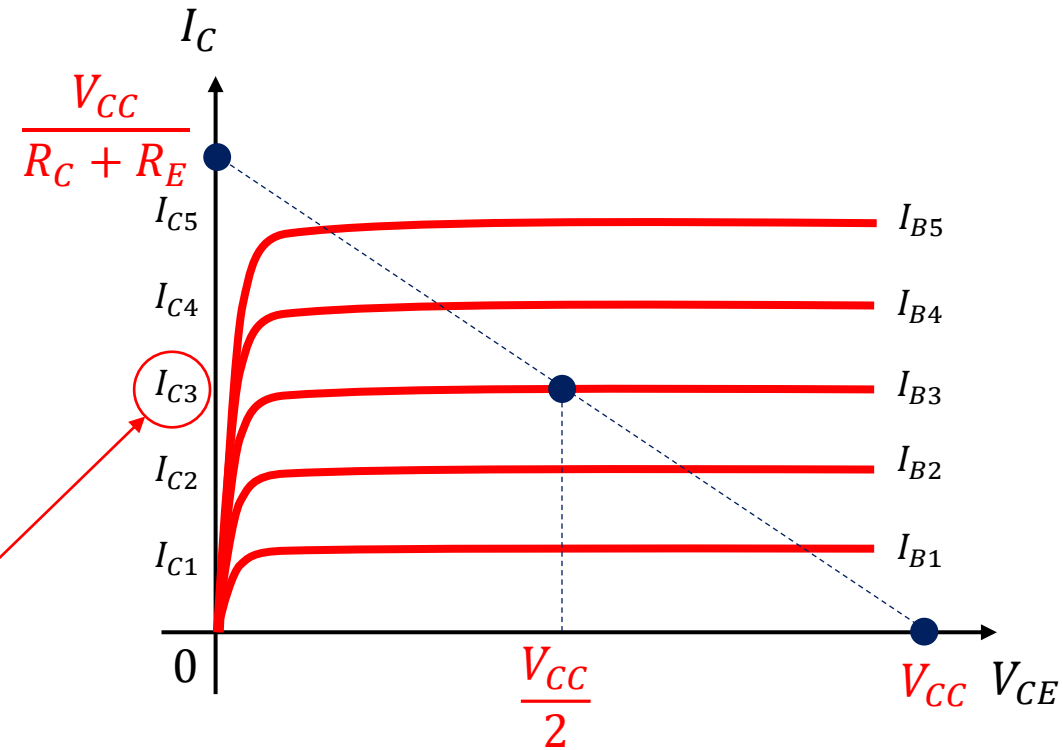
# 直流成分と動作点

$V_{CE} - I_E$  特性から動作点を決める



$$\begin{aligned} V_{CC} &= V_{CE} + R_C I_C + R_E I_E \\ &= V_{CE} + R_C I_C + R_E I_C \\ &= V_{CE} + (R_C + R_E) I_C \end{aligned}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E}$$



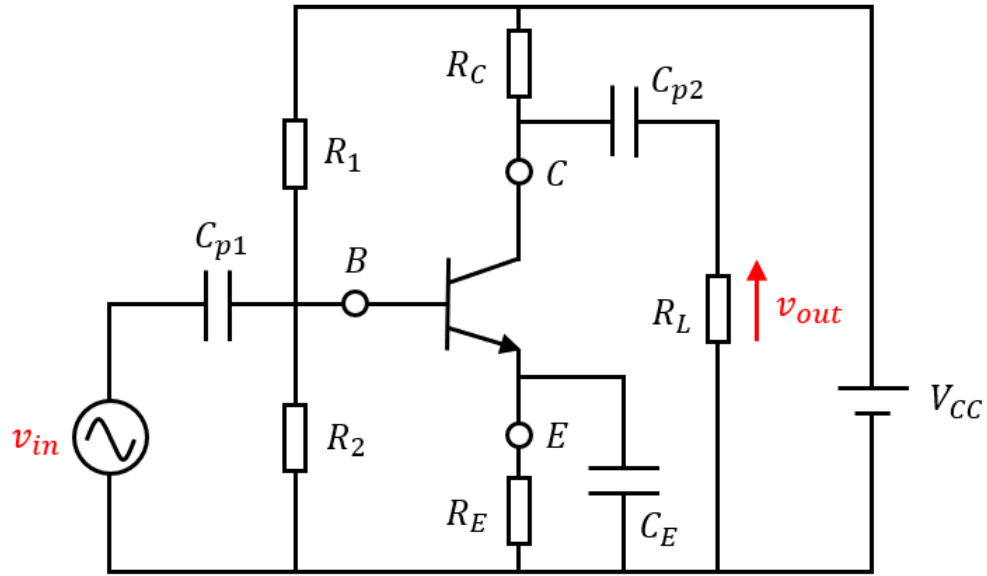
$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad I_E = I_C = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E}$$

$V_{BB}$  が  $I_E$  と  $I_C$  を決定する  
 $I_C$ 、 $R_C$ 、 $R_E$  が  $V_{CE}$  (動作点) を決定する

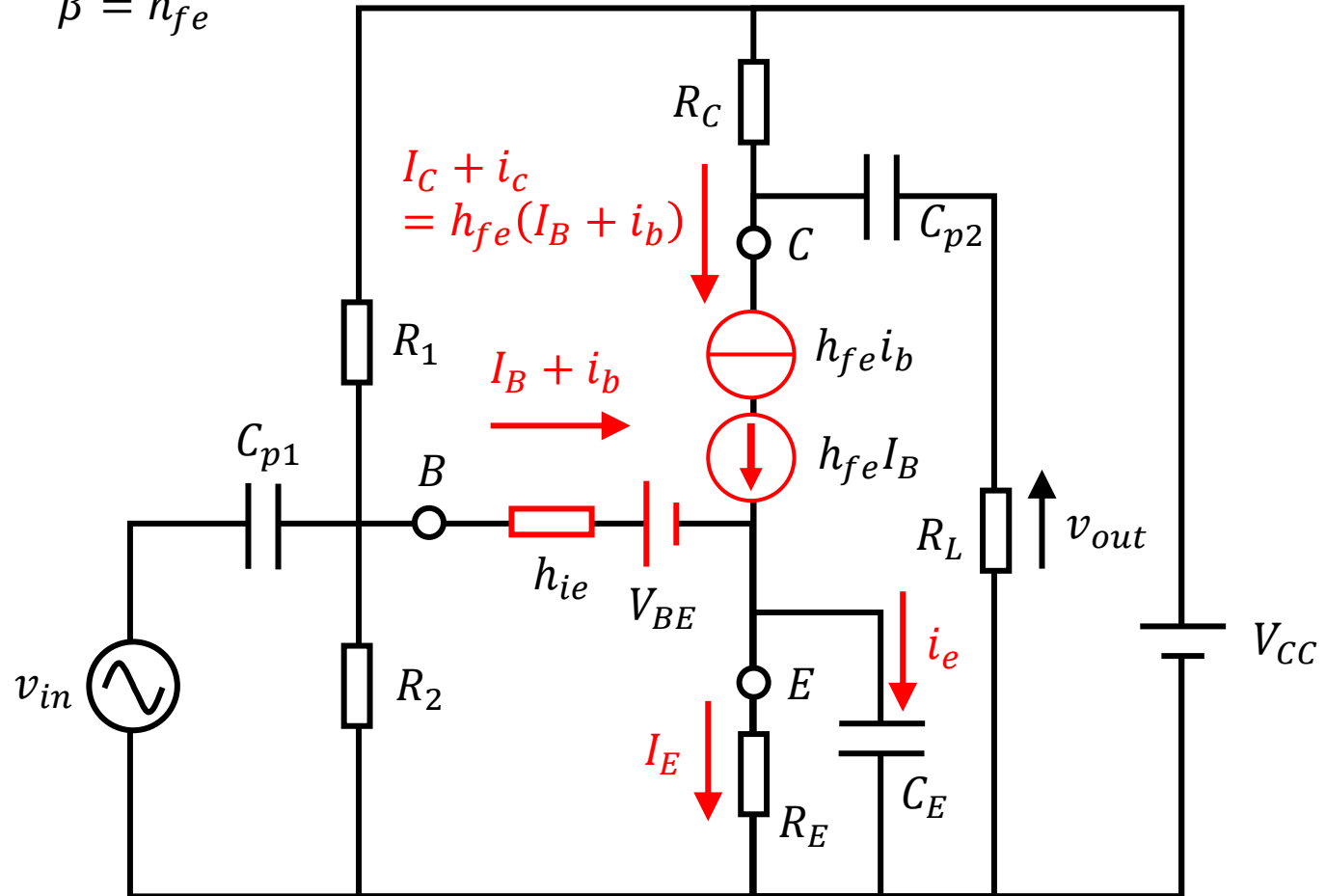
# 交流等価回路

$I_B, I_C, I_E$  : 直流成分  
 $i_b, i_c, i_e$  : 交流成分  
 $\beta = h_{fe}$

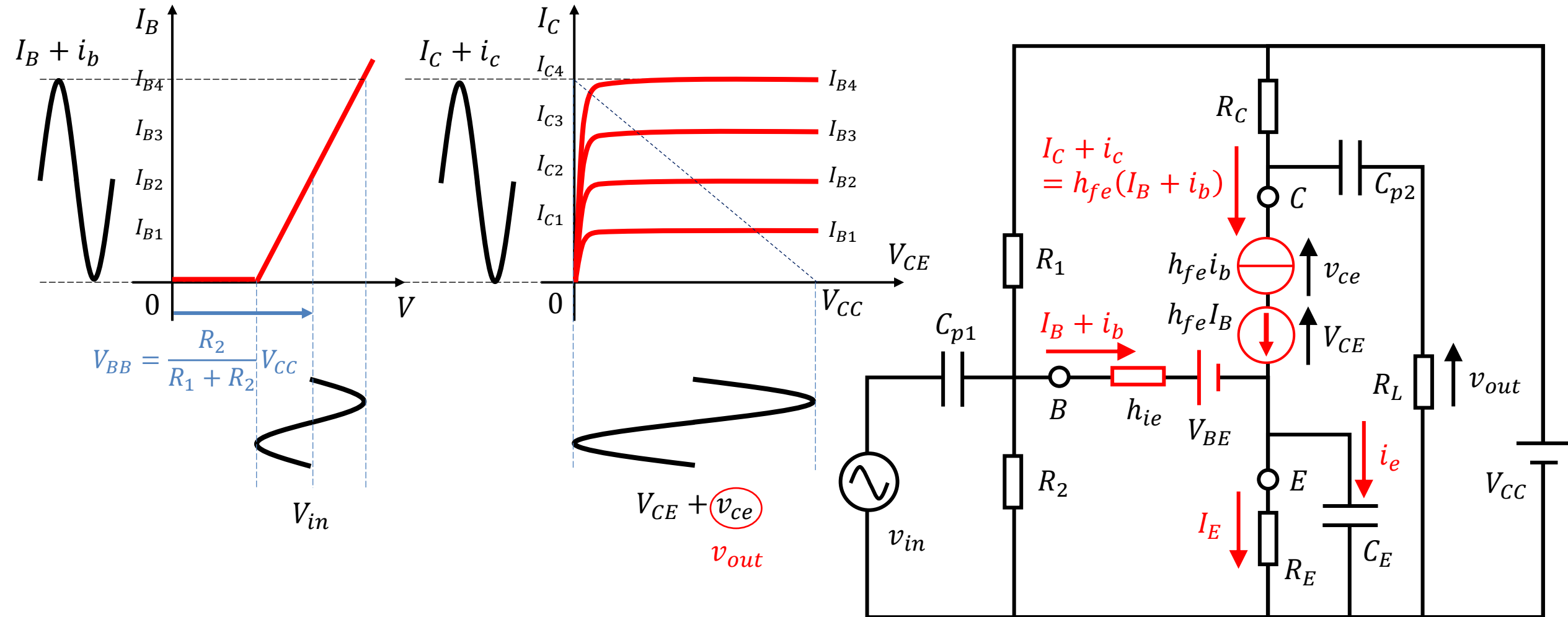
$h_{ie}$  : 入力インピーダンス  
 $h_{fe}$  : 電流増幅率



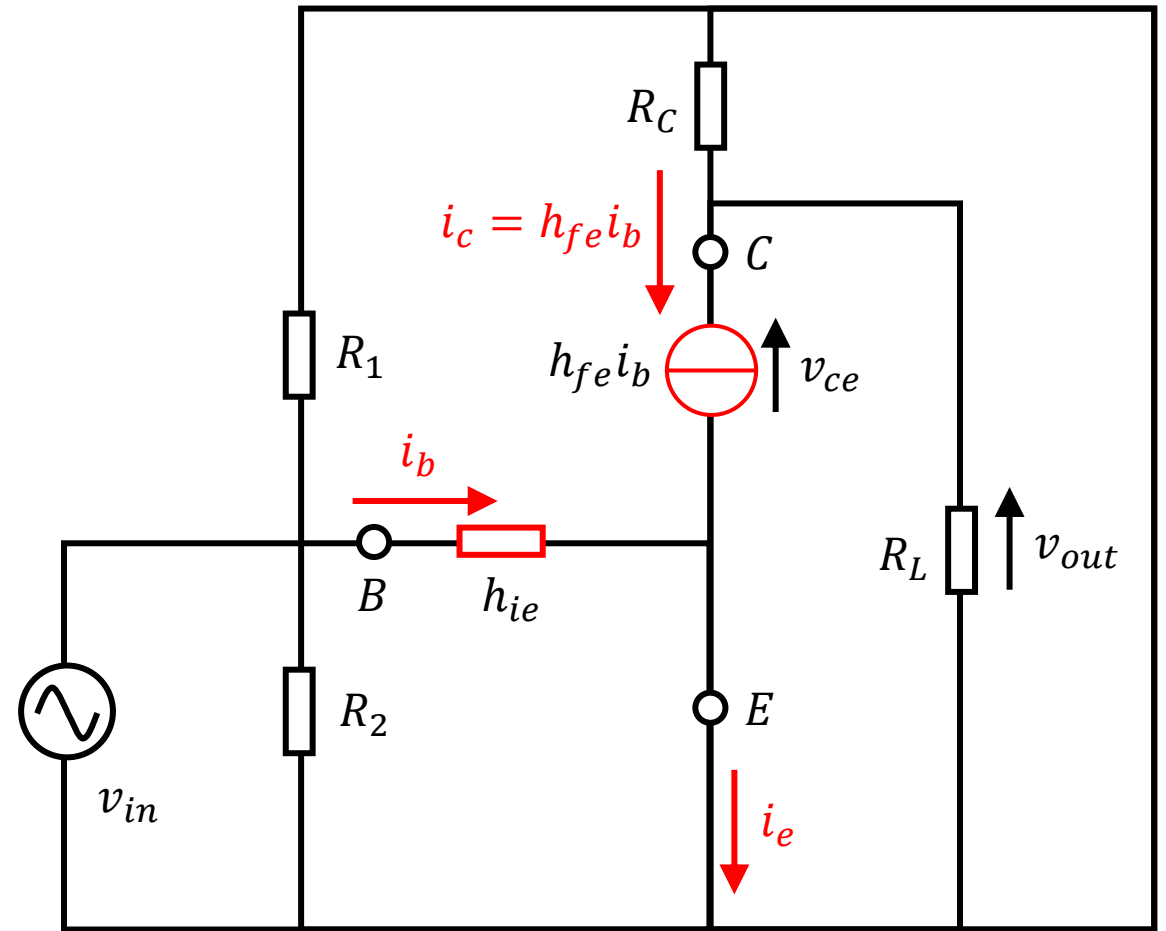
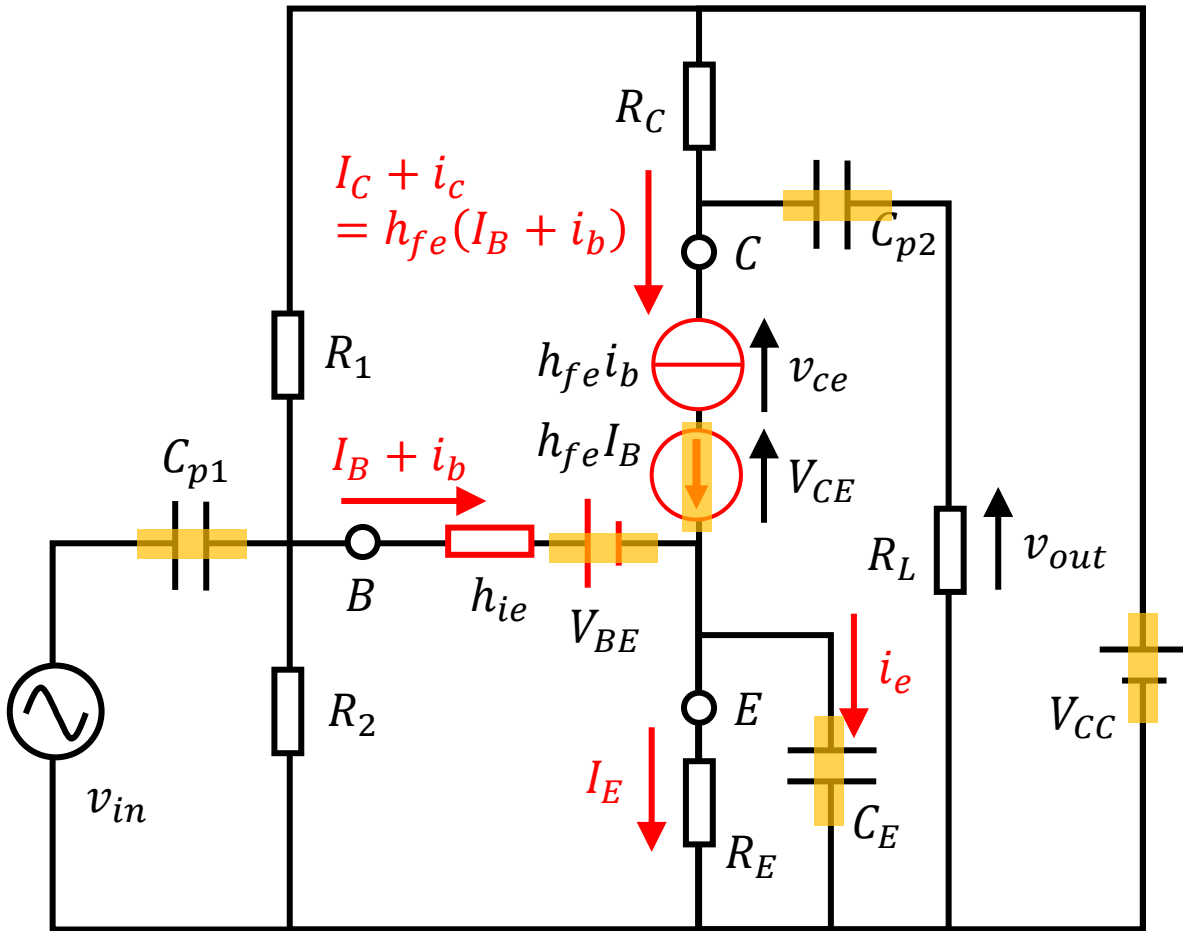
トランジスタを  
等価回路で表現



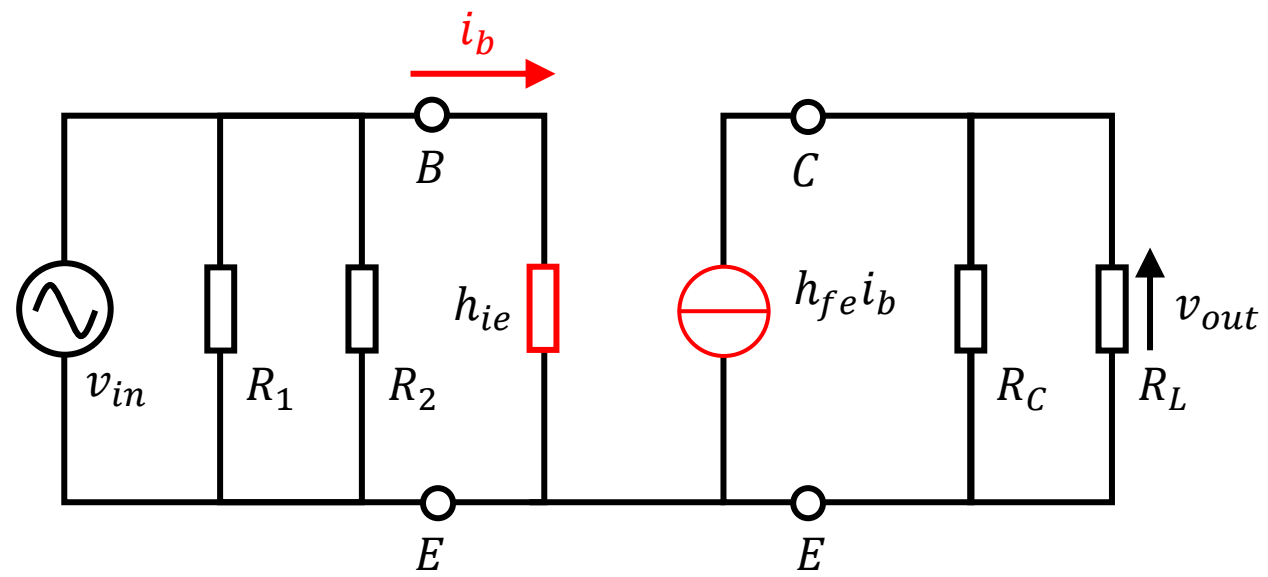
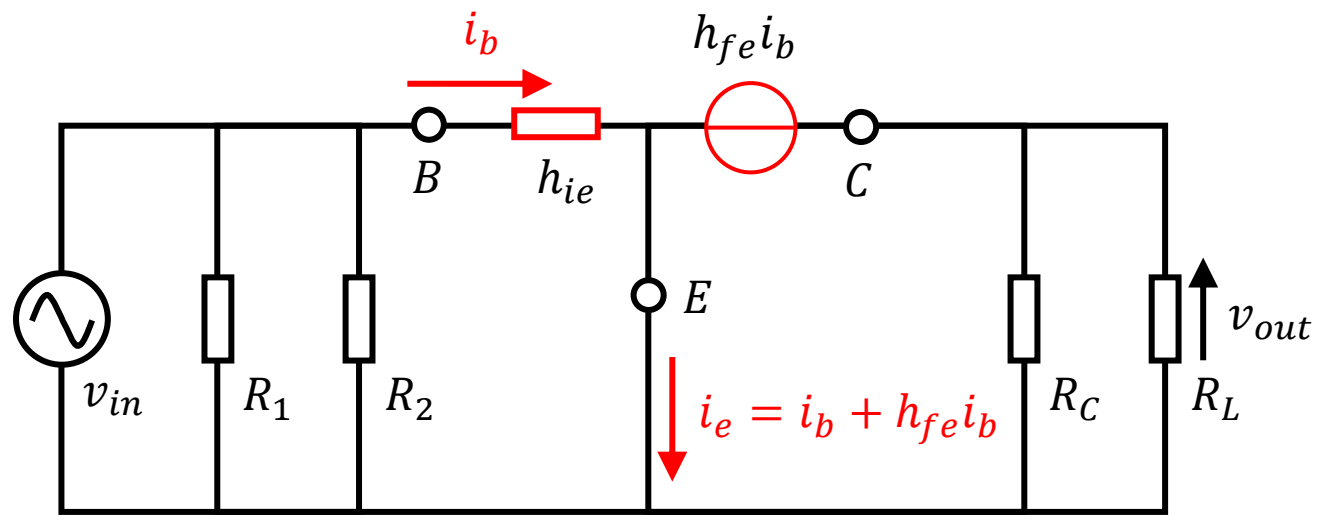
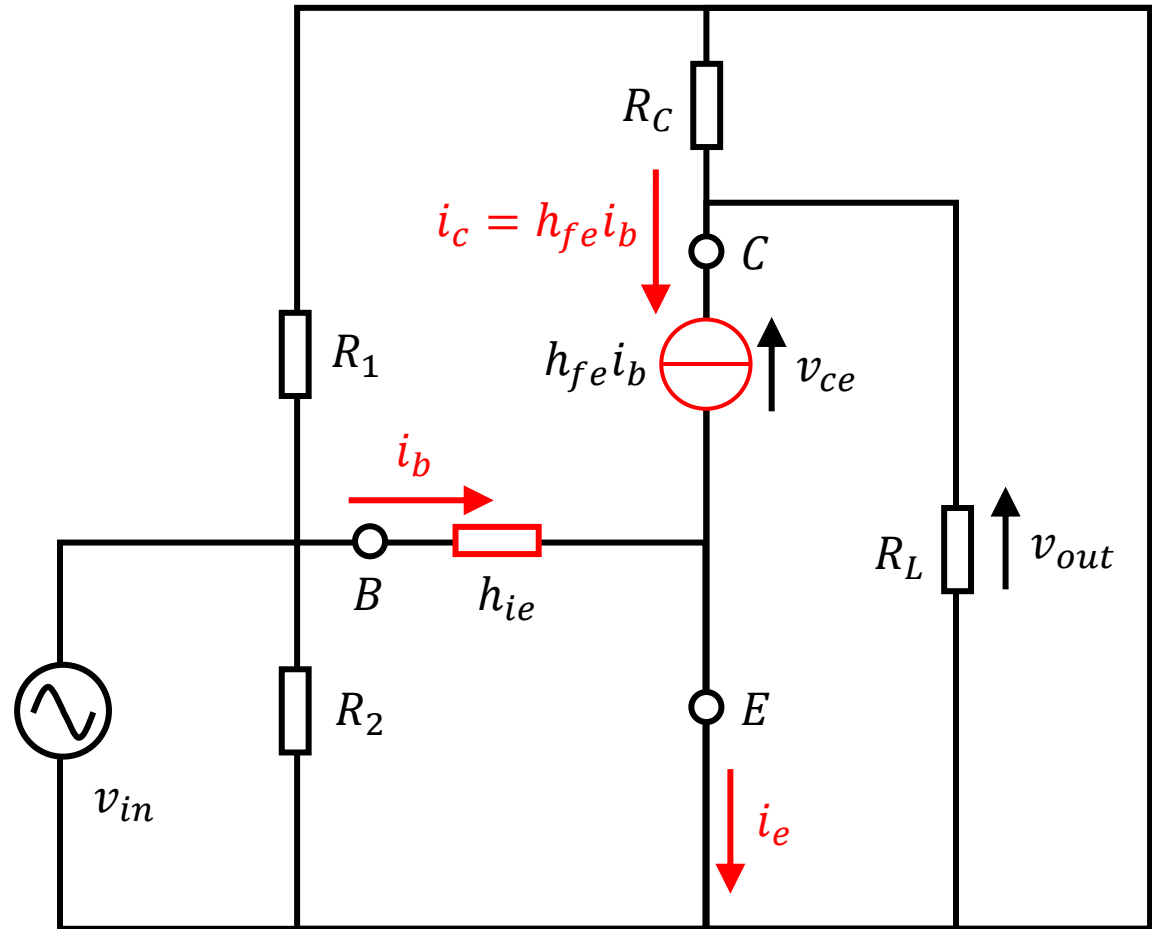
# 交流等価回路



# 交流等価回路

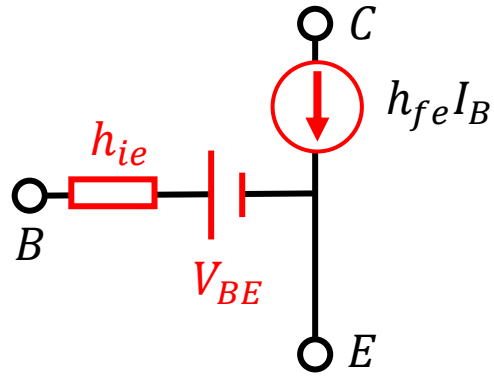
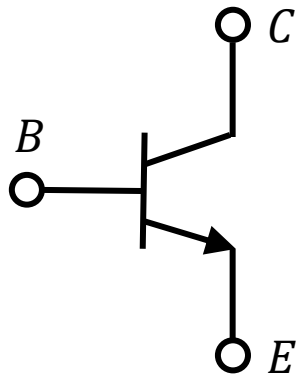


# 交流等価回路

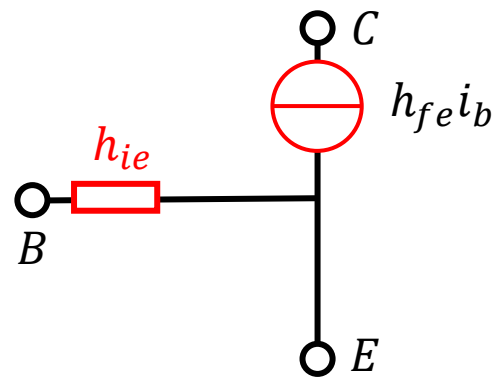


# 交流等価回路

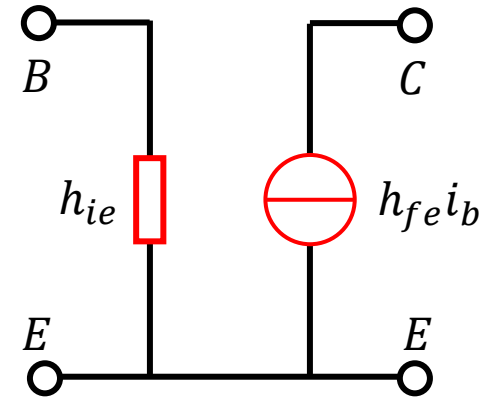
トランジスタの等価回路はいろいろある



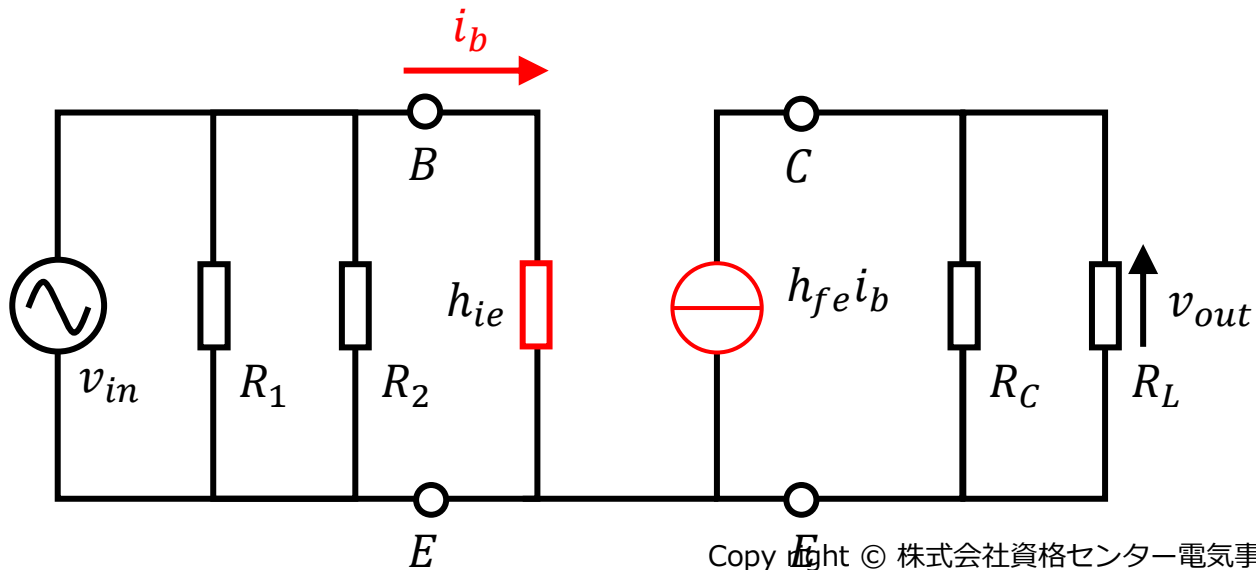
直流等価回路



交流等価回路



交流等価回路



電圧増幅率

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}, \quad v_{out} = A_v v_{in}$$

$$A_v[\text{dB}] = 20 \log_{10} \left| \frac{v_{out}}{v_{in}} \right| [\text{dB}]$$

# H30 問16(b)改

(b) 図2は、エミッタホロワ回路の交流等価回路である。ただし、使用する周波数において図1の二つのコンデンサのインピーダンスが十分に小さい場合を考えている。ここで、 $h_{ie}=2.5\text{ k}\Omega$ 、 $h_{fe}=100$ であり、 $R_E$ は小問(a)で求めた値とする。入力インピーダンス  $\frac{v_i}{i_i}$  の値[k $\Omega$ ]を求めよ。

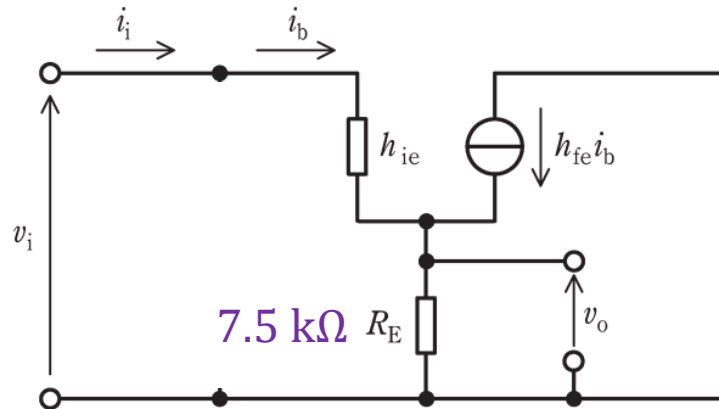


図2

# H30 問16(b)改

(b) 図2は、エミッタホロワ回路の交流等価回路である。ただし、使用する周波数において図1の二つのコンデンサのインピーダンスが十分に小さい場合を考えている。ここで、 $h_{ie}=2.5\text{ k}\Omega$ 、 $h_{fe}=100$ であり、 $R_E$ は小問(a)で求めた値とする。入力インピーダンス  $\frac{v_i}{i_i}$  の値[k $\Omega$ ]を求めよ。

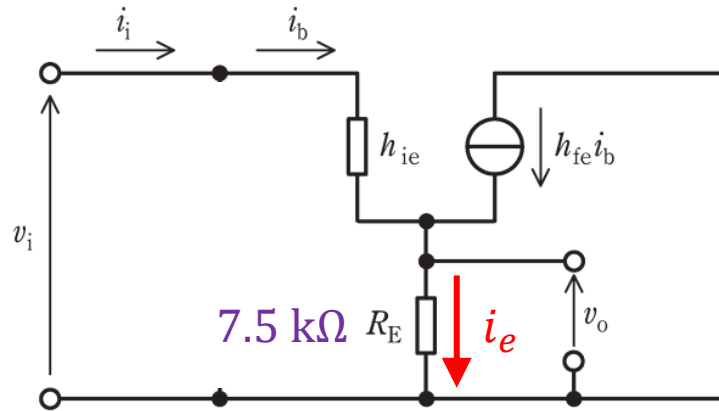


図2

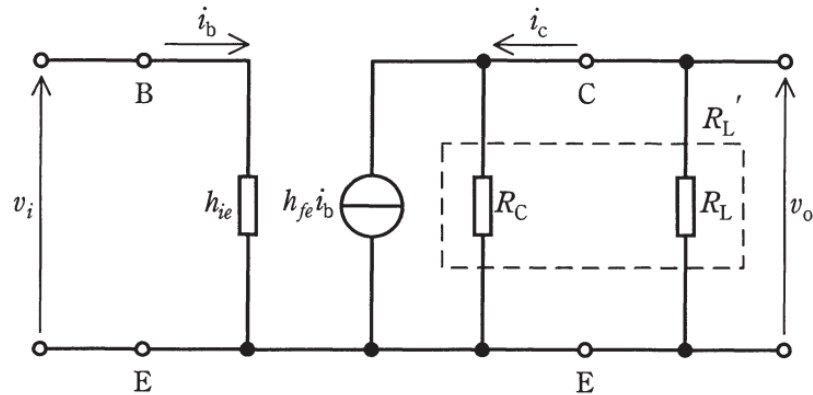
$$\begin{aligned} i_e &= i_b + h_{fe}i_b \\ v_i &= h_{ie}i_b + R_E i_e = h_{ie}i_b + R_E(i_b + h_{fe}i_b) \\ &= h_{ie}i_b + R_E i_b + R_E h_{fe}i_b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{v_i}{i_i} &= \frac{h_{ie}i_b + R_E i_b + R_E h_{fe}i_b}{i_b} \\ &= h_{ie} + R_E + R_E h_{fe} \\ &= 2.5\text{k} + 7.5\text{k} + 7.5\text{k} \times 100 \\ &= 760\text{ k}\Omega \end{aligned}$$

# H28 問13

問13 図は、エミッタ (E) を接地したトランジスタ増幅回路の簡易小信号等価回路である。この回路においてコレクタ抵抗  $R_C$  と負荷抵抗  $R_L$  の合成抵抗が  $R_L' = 1\text{k}\Omega$  のとき、電圧利得は 40 dBであった。入力電圧  $v_i = 10\text{ mV}$  を加えたときにベース (B) に流れる入力電流  $i_b$  の値 [ $\mu\text{A}$ ] として、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

ただし、 $v_o$  は合成抵抗  $R_L'$  の両端における出力電圧、 $i_c$  はコレクタ (C) に流れる出力電流、 $h_{ie}$  はトランジスタの入力インピーダンスであり、小信号電流増幅率  $h_{fe} = 100$  とする。

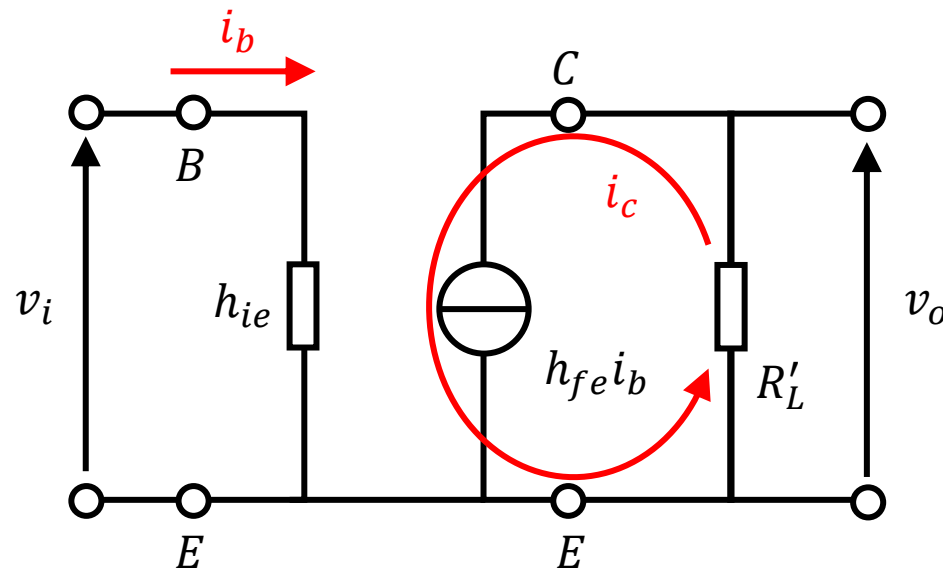
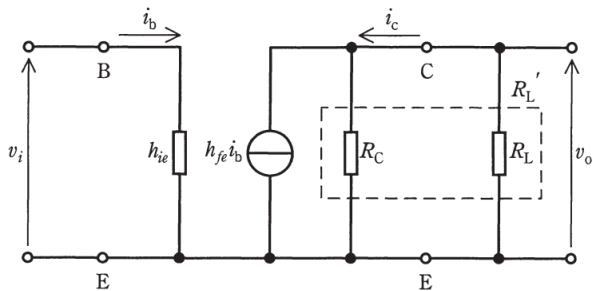


- (1) 0.1      (2) 1      (3) 10      (4) 100      (5) 1000

# 導出のポイント

問13 図は、エミッタ(E)を接地したトランジスタ増幅回路の簡易小信号等価回路である。この回路においてコレクタ抵抗  $R_C$  と負荷抵抗  $R_L$  の合成抵抗が  $R_L' = 1\text{k}\Omega$  のとき、電圧利得は 40 dBであった。入力電圧  $v_i = 10\text{mV}$  を加えたときにベース(B)に流れる入力電流  $i_b$  の値 [ $\mu\text{A}$ ] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、 $v_o$  は合成抵抗  $R_L'$  の両端における出力電圧、 $i_c$  はコレクタ(C)に流れる出力電流、 $h_{ie}$  はトランジスタの入力インピーダンスであり、小信号電流増幅率  $h_{fe} = 100$  とする。



$$A_v[\text{dB}] = 40 = 20 \log_{10}|A_v|$$

$$\log_{10}|A_v| = 2 \rightarrow |A_v| = 10^2 = 100$$

$$|A_v| = \left| \frac{v_o}{v_i} \right|$$

$$v_o = -R_L' h_{fe} i_b$$

$$|A_v| = \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \left| \frac{-R_L' h_{fe} i_b}{v_i} \right| = \frac{R_L' h_{fe} i_b}{v_i}$$

$$100 = \frac{1\text{k} \times 100 \times i_b}{10\text{m}}$$

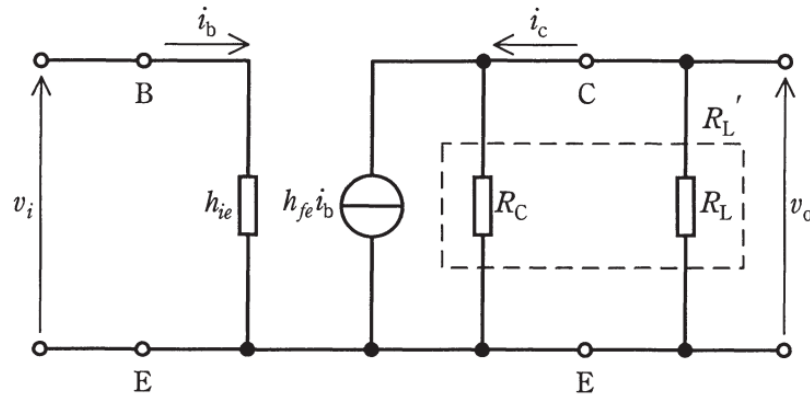
$$i_b = \frac{10\text{m}}{1\text{k} \times 100} \times 100 = 10 \times 10^{-6}$$

$$\therefore i_b = 10 \mu\text{A}$$

# H28 問13

問13 図は、エミッタ (E) を接地したトランジスタ増幅回路の簡易小信号等価回路である。この回路においてコレクタ抵抗  $R_C$  と負荷抵抗  $R_L$  の合成抵抗が  $R_L' = 1\text{k}\Omega$  のとき、電圧利得は 40 dBであった。入力電圧  $v_i = 10\text{ mV}$  を加えたときにベース (B) に流れる入力電流  $i_b$  の値 [ $\mu\text{A}$ ] として、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

ただし、 $v_o$  は合成抵抗  $R_L'$  の両端における出力電圧、 $i_c$  はコレクタ (C) に流れる出力電流、 $h_{ie}$  はトランジスタの入力インピーダンスであり、小信号電流増幅率  $h_{fe} = 100$  とする。



- (1) 0.1      (2) 1      (3) 10      (4) 100      (5) 1000

ご聴講ありがとうございました!!