

電子回路：第11回 基本増幅回路

基礎工学部情報科学科

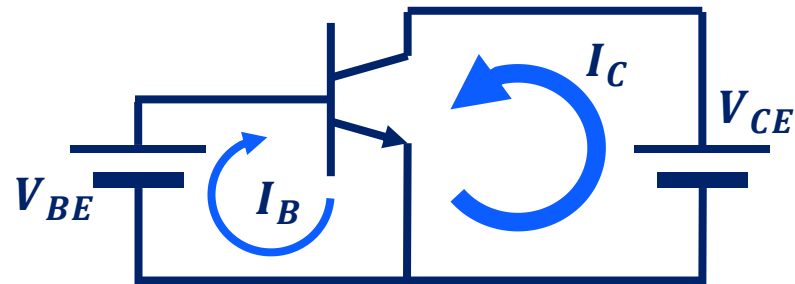
栗野 皓光

awano@ist.osaka-u.ac.jp



バイポーラトランジスタの特性

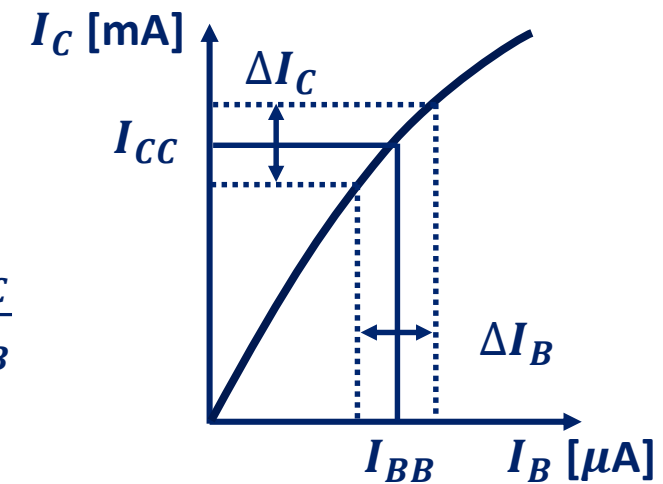
僅かなベース電流の差がコレクタ電流の大きく変化させる



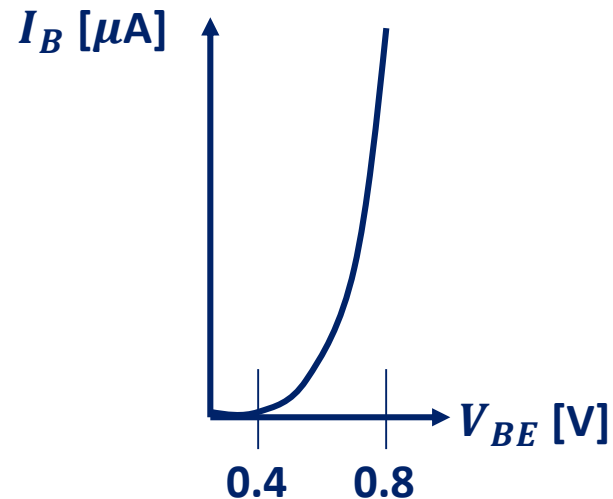
V_{CE} を一定に保った時の
 $I_C \cdot I_B$ の関係

$$\text{直流電流増幅率} : h_{FE} = \frac{I_{CC}}{I_{BB}}$$

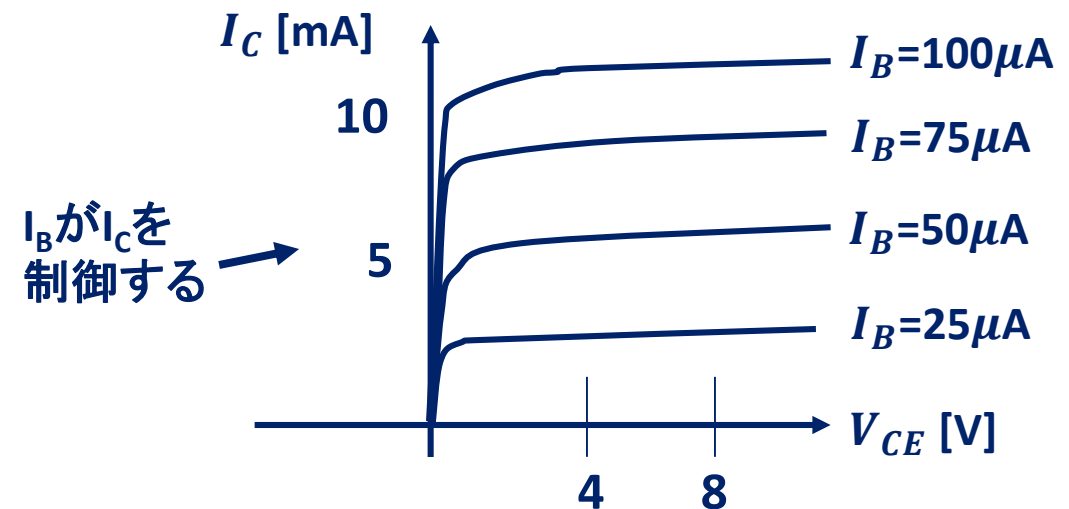
$$\text{小信号電流増幅率} : h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$



V_{CE} を一定に保った時の $I_B - V_{BE}$ の関係



I_B を一定に保った時の $I_C - V_{CE}$ の関係



小信号増幅回路 (2電源)

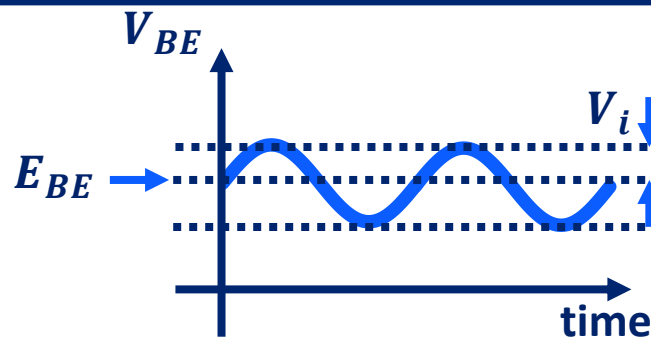


図1

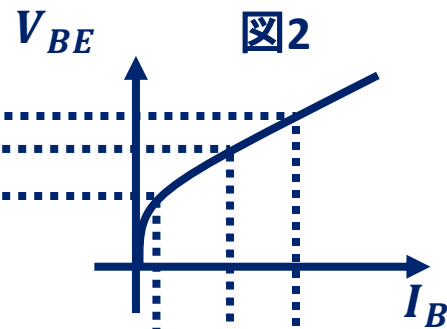


図2

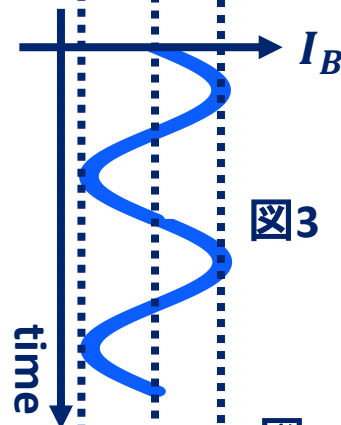


図3

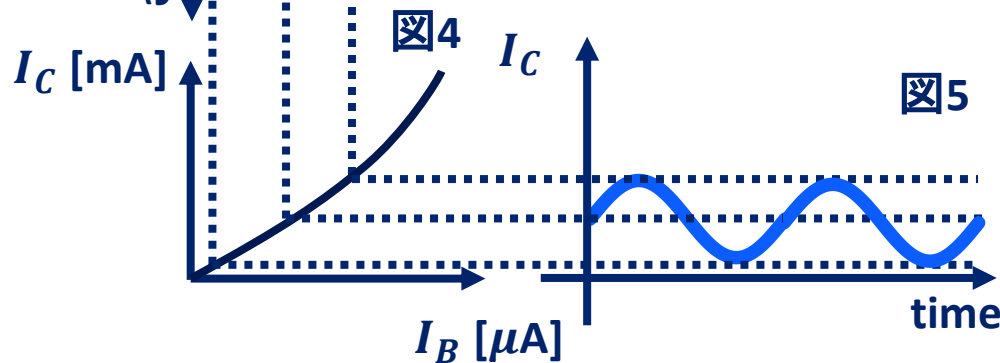


図4

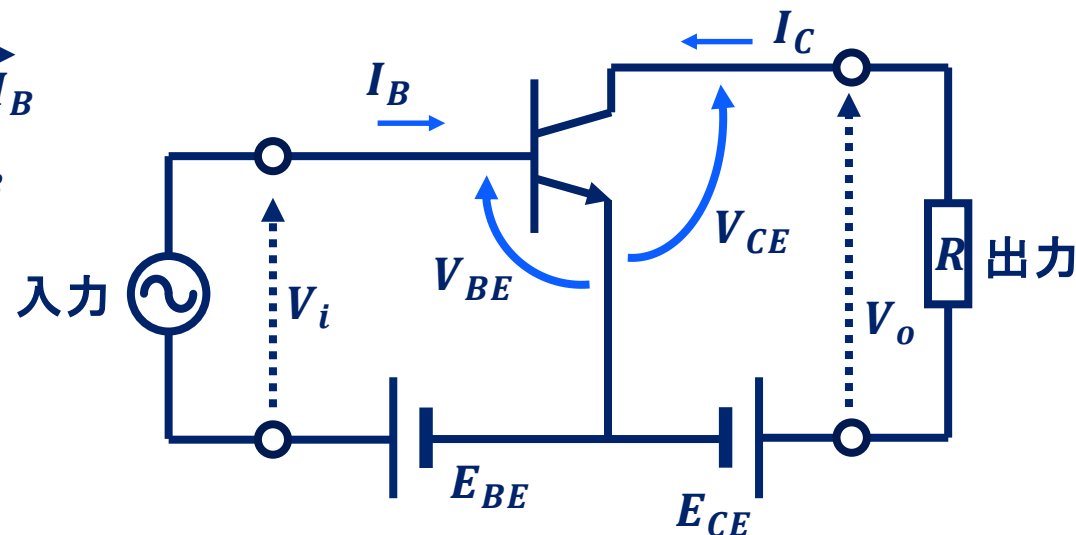


図5

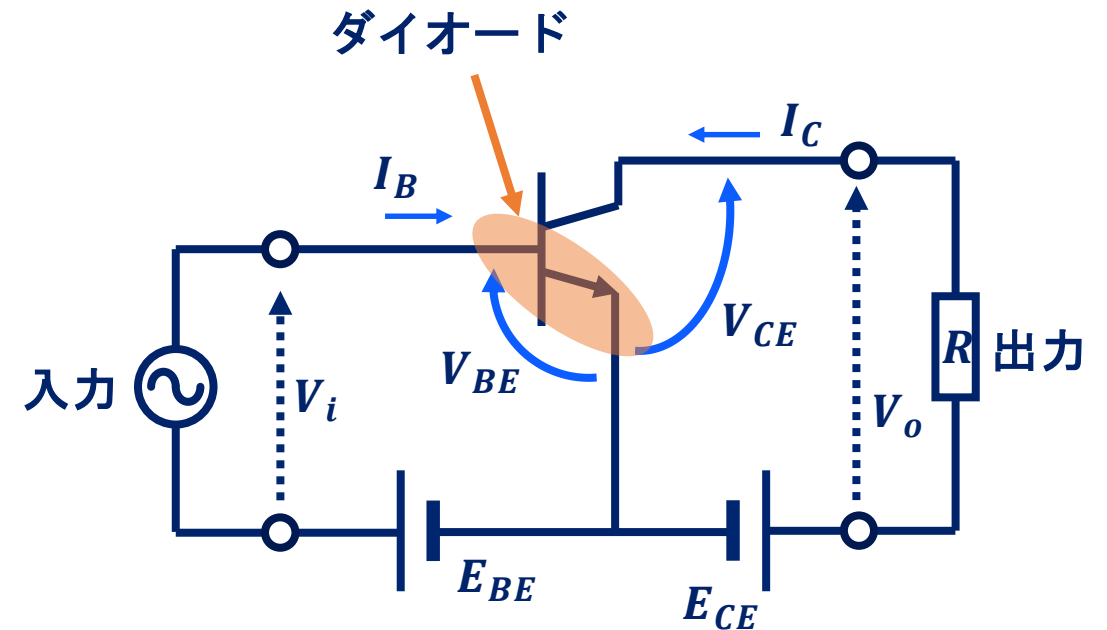
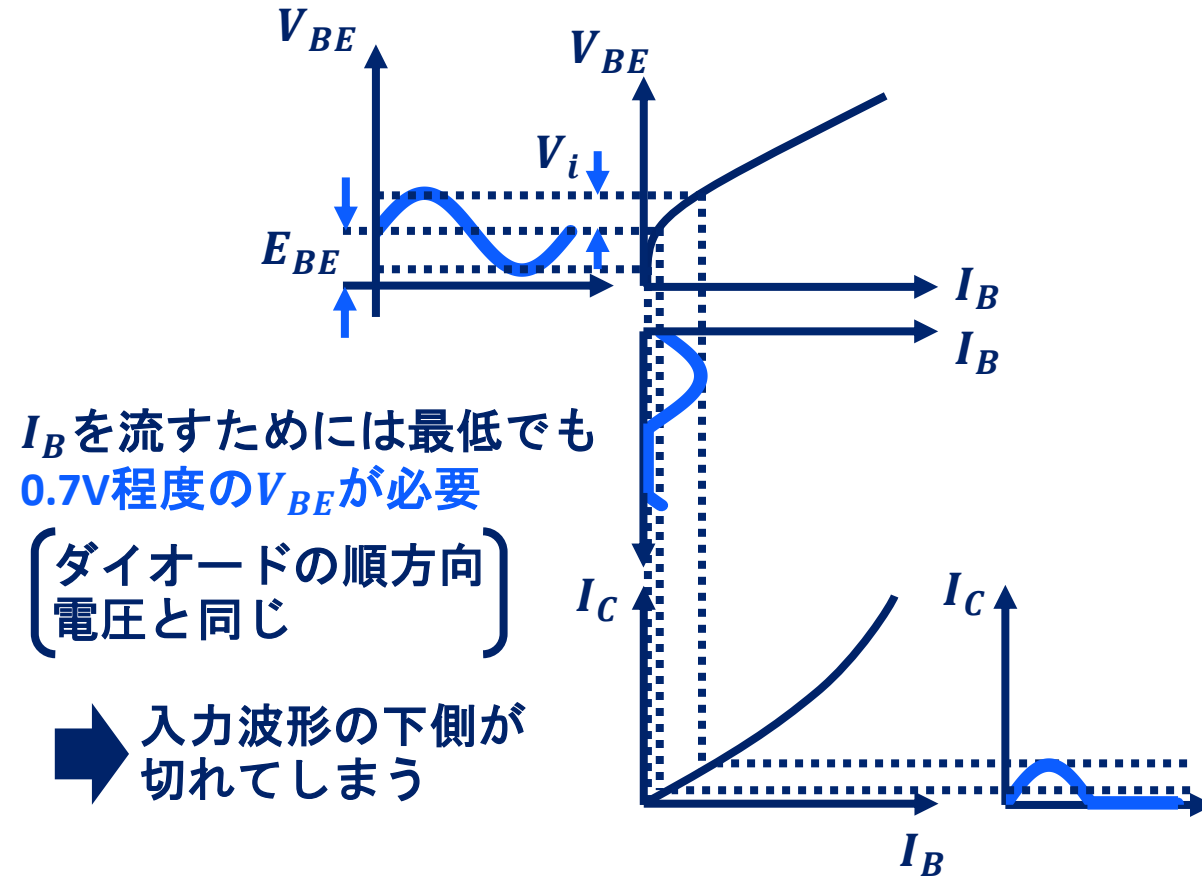
回路動作

1. ベース・エミッタ間に直流電圧 E_{BE} +信号 V_i を印加 (図1)
2. V_{BE} - I_B 特性 (図2) に従って I_B が変化 (図3)
3. I_B - I_C 特性に従ってコレクタ電流が流れる (図4)
4. 抵抗を使って電流・電圧変換すれば増幅された電圧出力が得られる (図5)

バイアス電圧

- ベース・エミッタに印加した直流電圧 E_{BE} をバイアス電圧と呼ぶ
- 適切なバイアス電圧を掛けないと増幅波形の上下端が切れてしまう

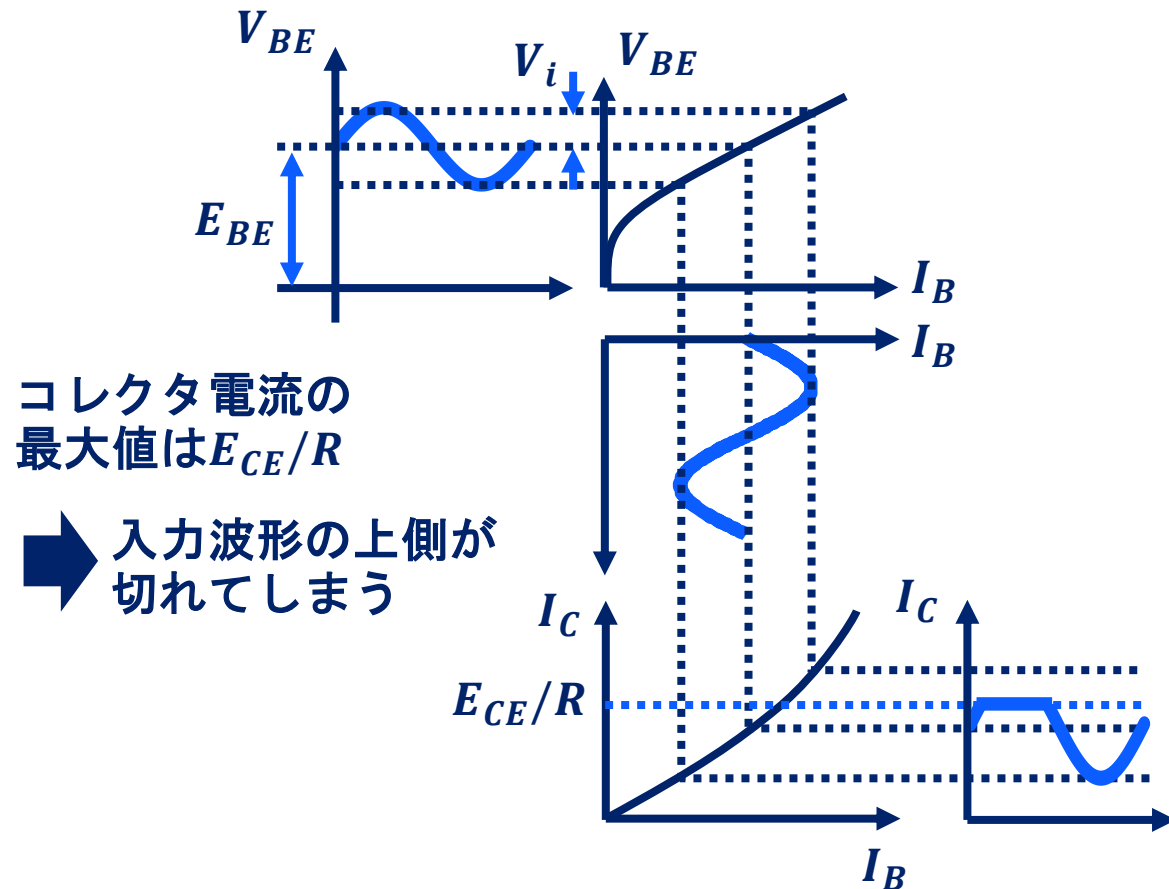
バイアス電圧が低すぎる場合



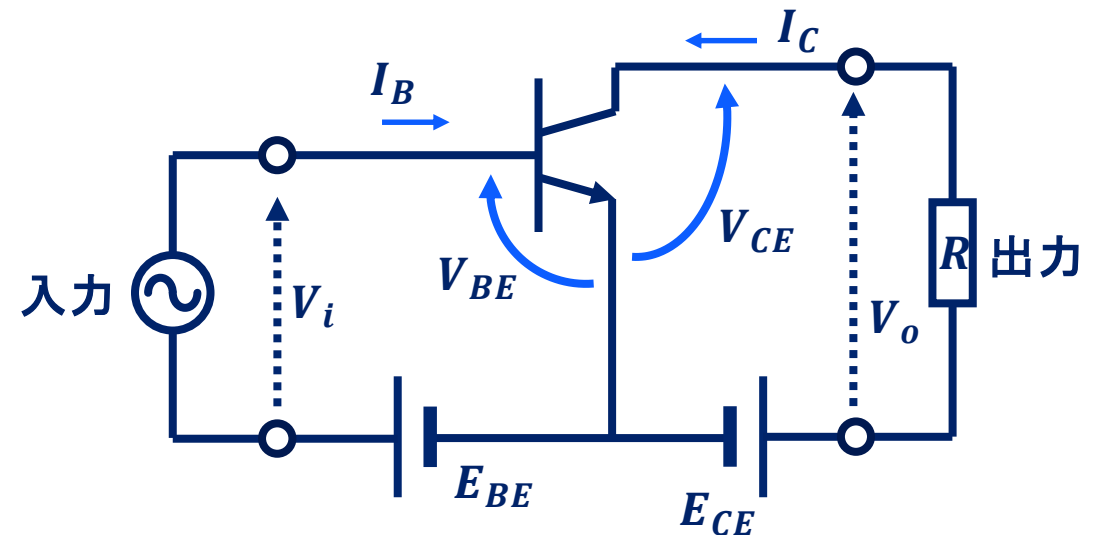
バイアス電圧

- ベース・エミッタに印加した直流電圧 E_{BE} をバイアス電圧と呼ぶ
- 適切なバイアス電圧を掛けないと増幅波形の上下端が切れてしまう

バイアス電圧が高すぎる場合



コレクタ・エミッタ間の抵抗は0より大きい
⇒流せる電流は最大でも E_{CE}/R



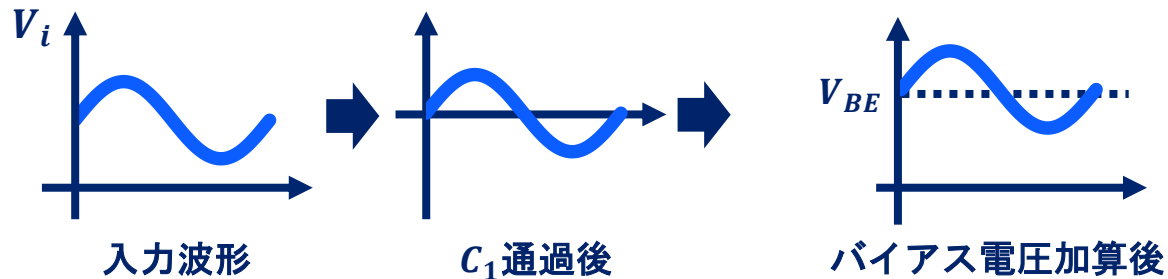
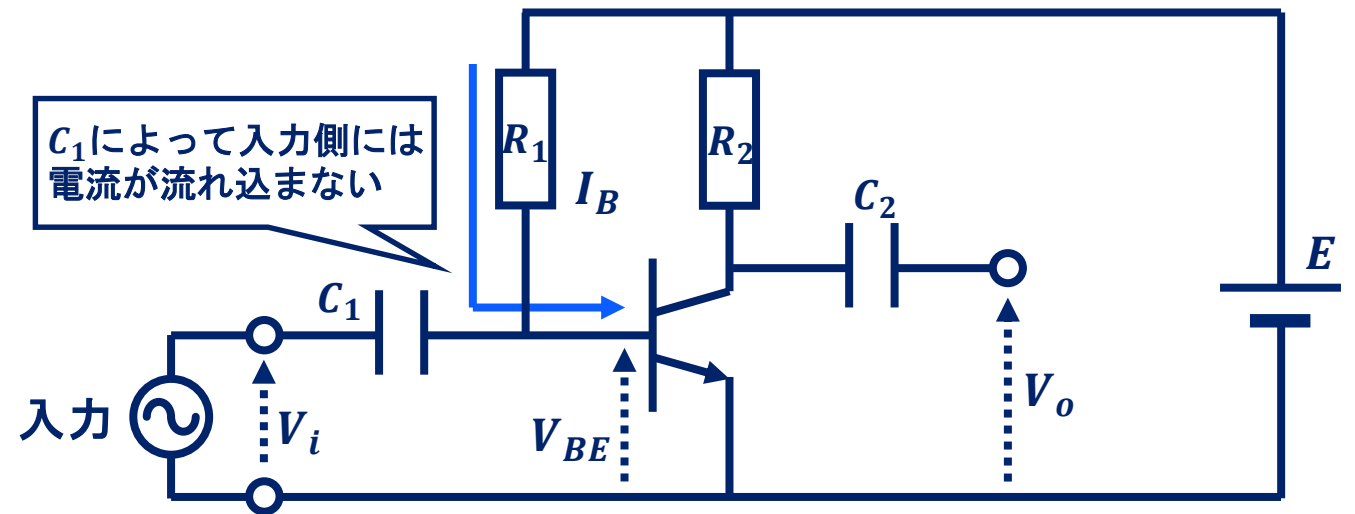
固定バイアス回路

□ R_1 でバイアス電圧を生成

$$I_B = \frac{E - V_{BE}}{R_1} \approx \frac{E - 0.6}{R_1}$$

□ C_1, C_2 はカップリングコンデンサ

コンデンサで直流成分をカットすることで、バイアス電圧に影響を与えずに小信号を受け渡すことが出来る



□ 最も簡単な増幅回路だが不安定

温度変化などでベース電流が少し変化しただけでも、増幅作用によってコレクタ電流が変化してしまい安定しない



電流帰還バイアス回路

□ 負帰還によって安定性を向上させた増幅回路

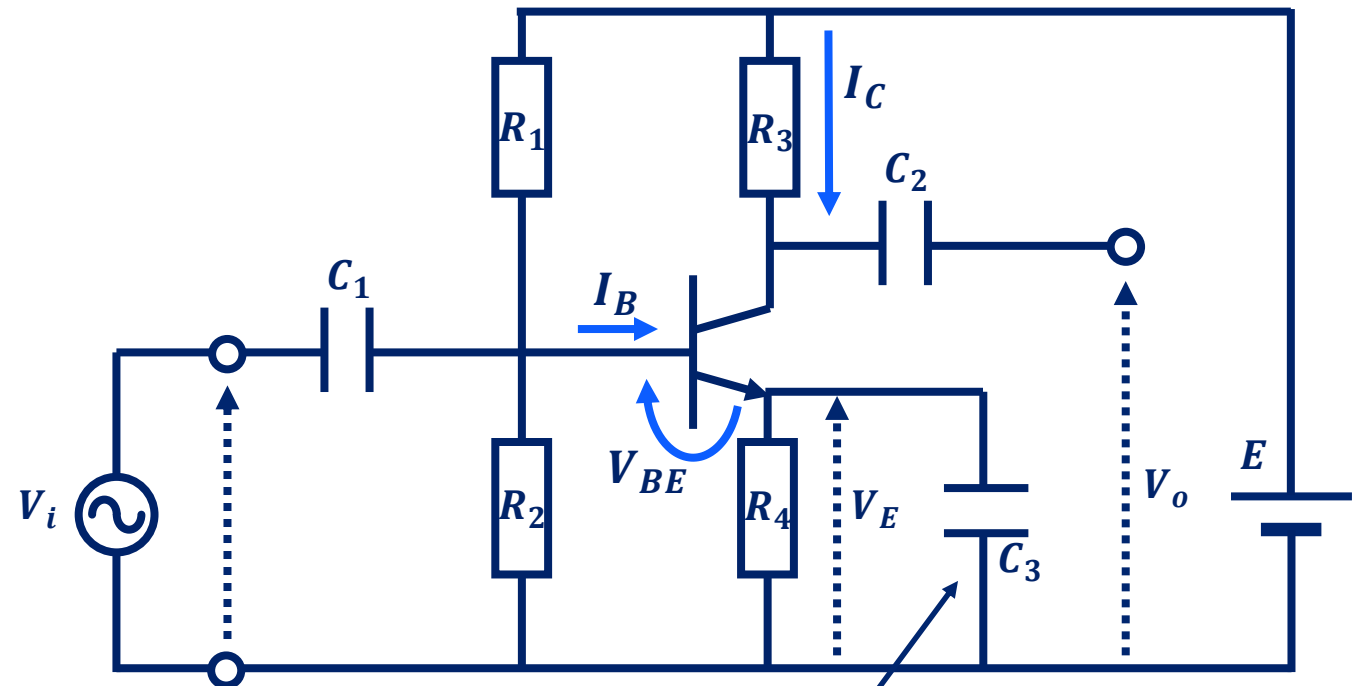
□ ベース電流が微増した場合の動作

1. コレクタ電流 I_C が増加
2. エミッタの電位 V_E が上昇
3. ベース・エミッタ間の電位差 V_{BE} が減少
4. ベース電流 I_B が減少

⇒ベース電流の変化が打ち消される

□ C_3 は交流成分をバイパスさせるコンデンサ

- ・ 負帰還は入力信号によるベース電流の変化も打ち消してしまう
⇒見かけの増幅度が低下
- ・ バイパスコンデンサを入れることで交流信号に対しては負帰還が掛からないようにしている



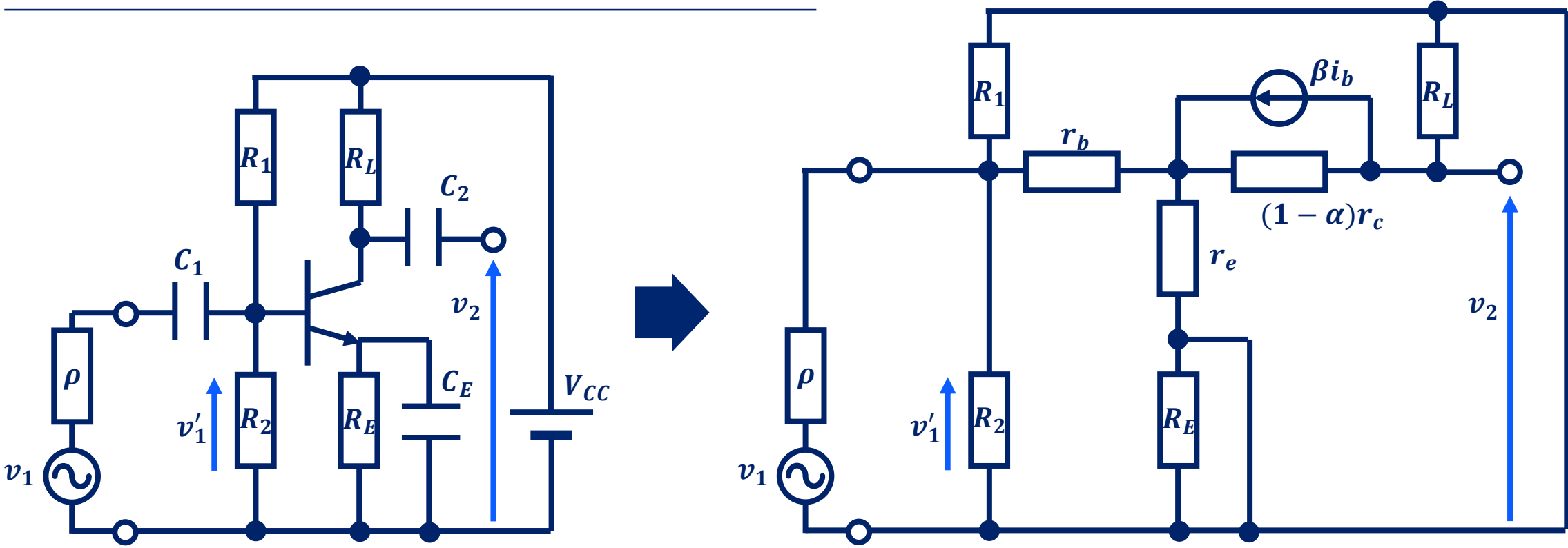
交流成分はコンデンサを介してグランドに流れ込む
⇒ V_{BE} は変化しないため交流信号には負帰還は働かない

電流帰還バイアス回路の特性

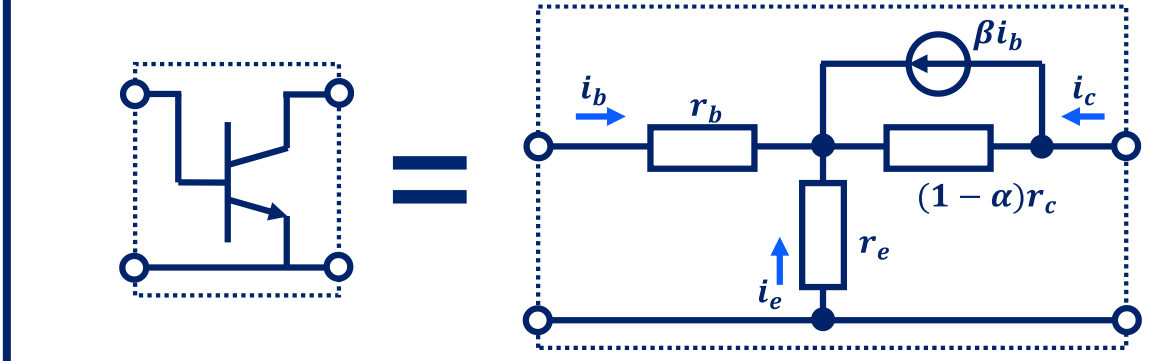
□ 簡単化のために小信号等価回路に変換して考える

変換手順

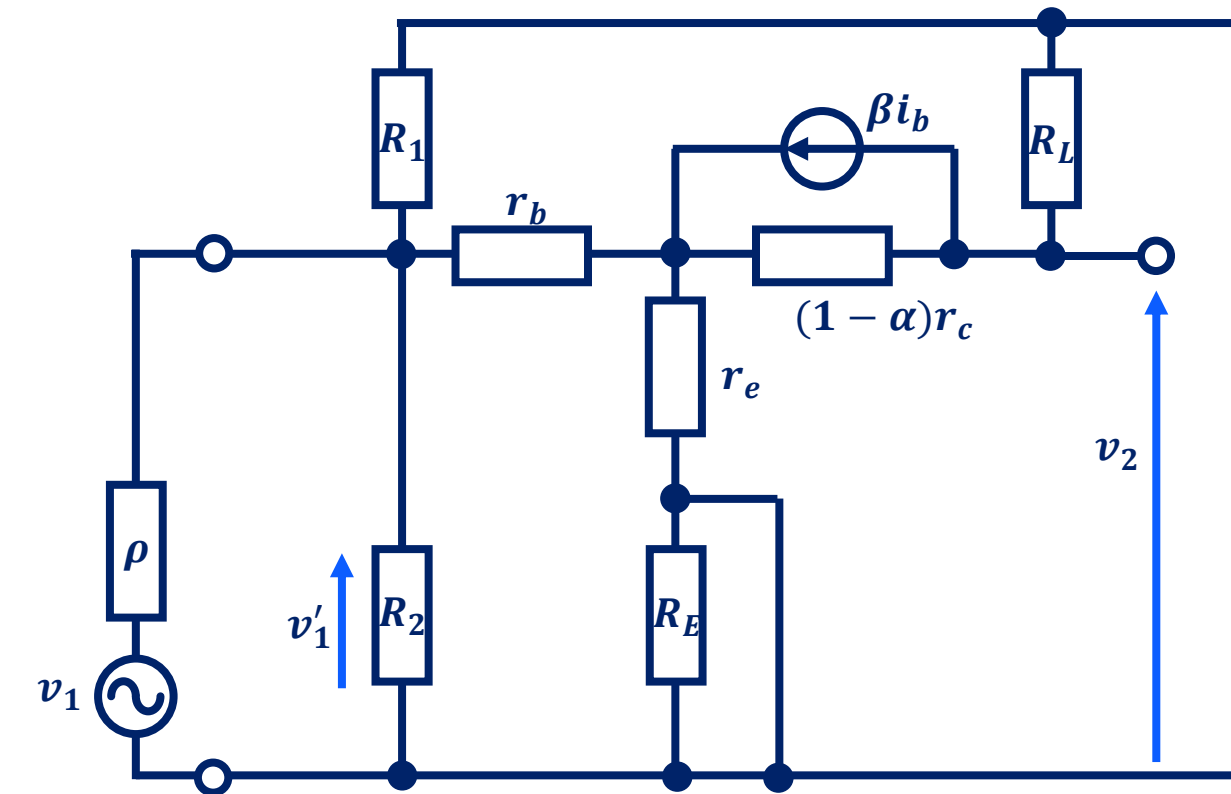
トランジスタ	電流源・抵抗からなる等価回路に変換
直流電圧源	短絡（交流成分は0Vであるため）
コンデンサ	短絡（高周波ではコンデンサのインピーダンスは無視できるほど低い）



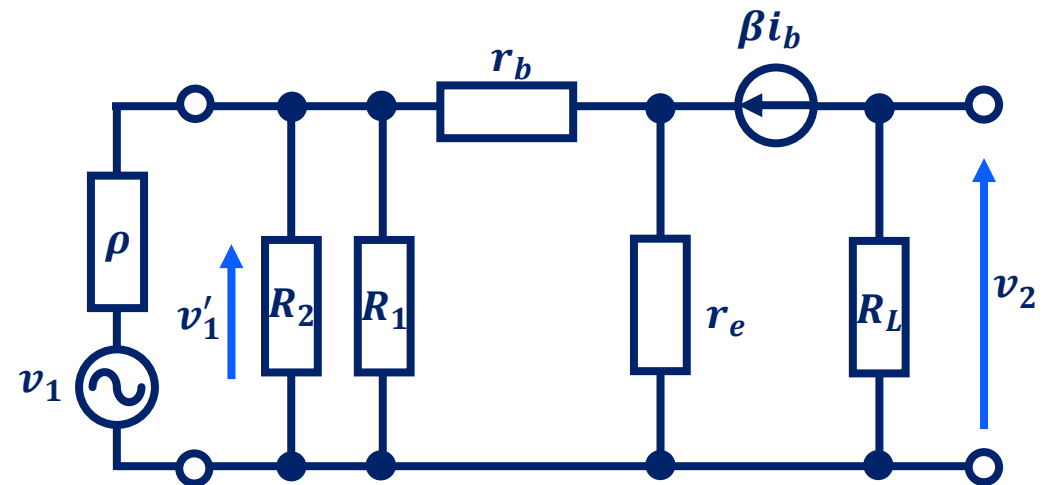
トランジスタの小信号等価回路



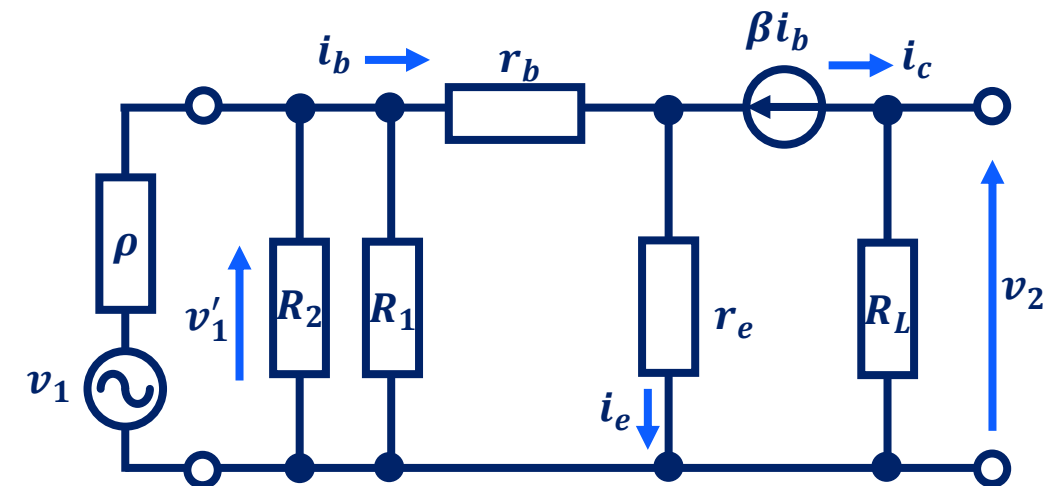
電流帰還バイアス回路の特性



- 整理すると以下のようなになる
- また、一般に、 $(1-\alpha)r_c \gg R_L$ なので、この抵抗は取り外して簡略化する



電流帰還バイアス回路の特性



回路方程式：

$$\begin{aligned}v_1' &= i_b r_b + i_e r_e \\ i_e &= i_b + \beta i_b = (1 + \beta) i_b \\ i_c &= -\beta i_b\end{aligned}$$

入力インピーダンス：

$$\begin{aligned}Z_{ie} &= \frac{v_1'}{i_b} = \frac{i_b r_b + i_e r_e}{i_b} = \frac{i_b r_b + (1 + \beta) i_b r_e}{i_b} \\ &= r_b + (1 + \beta) r_e\end{aligned}$$

電圧利得：

$$v_2 = R_L i_c = -R_L \beta i_b$$

$$A_{ve} = \frac{v_2}{v_1'} = -\frac{R_L \beta i_b}{Z_{ie} i_b} = -\frac{R_L \beta}{r_b + (1 + \beta) r_e}$$

電流利得：

$$A_{ie} = \frac{i_c}{i_b} = \frac{-\beta i_b}{i_b} = -\beta$$

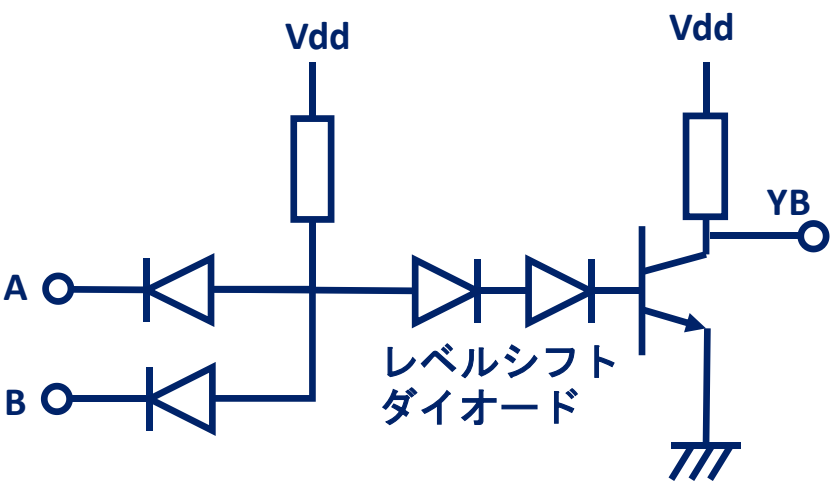
電力利得：

$$A_{pe} = A_{ve} A_{ie} = \frac{R_L \beta^2}{r_b + (1 + \beta) r_e}$$

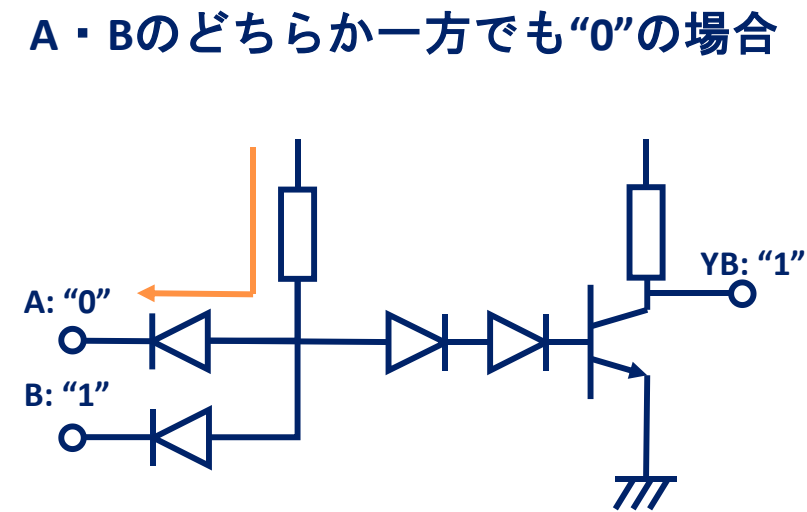
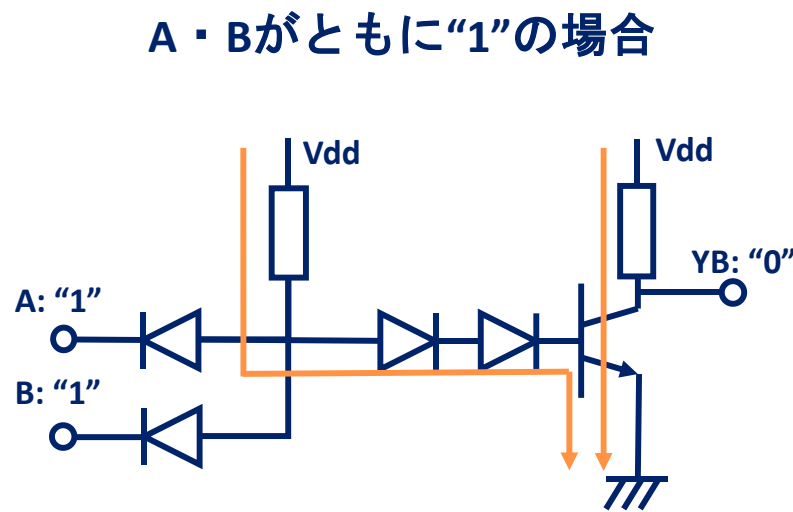
電圧・電流利得の符号がマイナス
⇒反転増幅回路



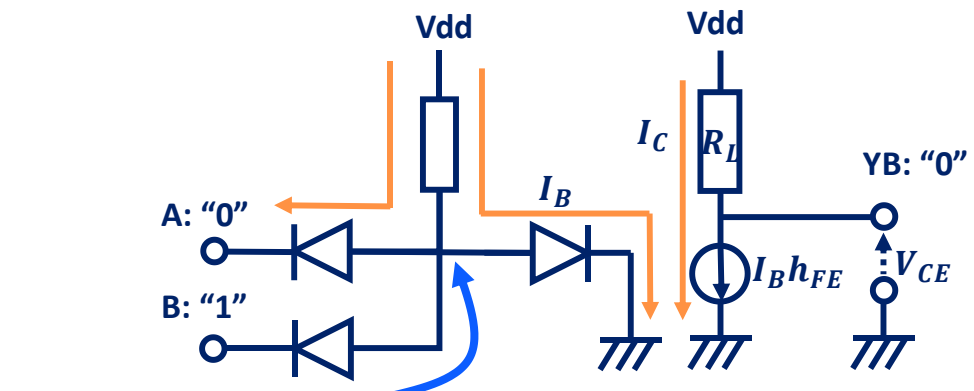
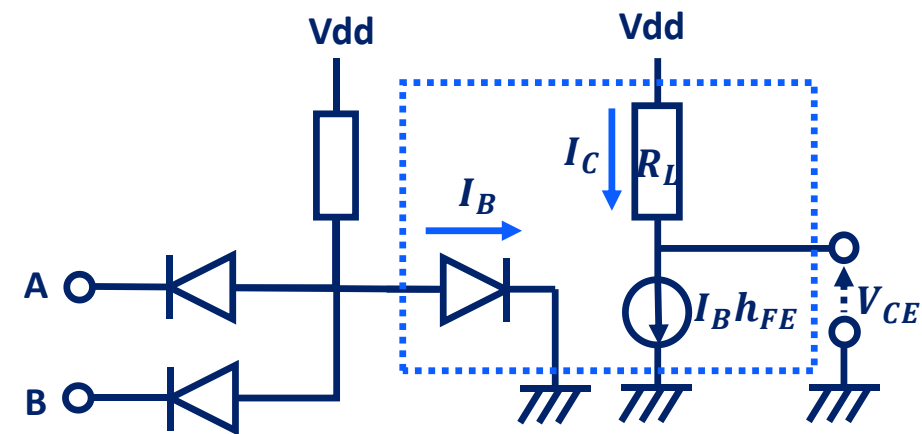
ダイオード・トランジスタ・ロジック (DTL)



NANDゲートの構成例



レベルシフトダイオードが無いとどうなるのか



この点の電位はダイオードの順方向電圧から0.7V程度

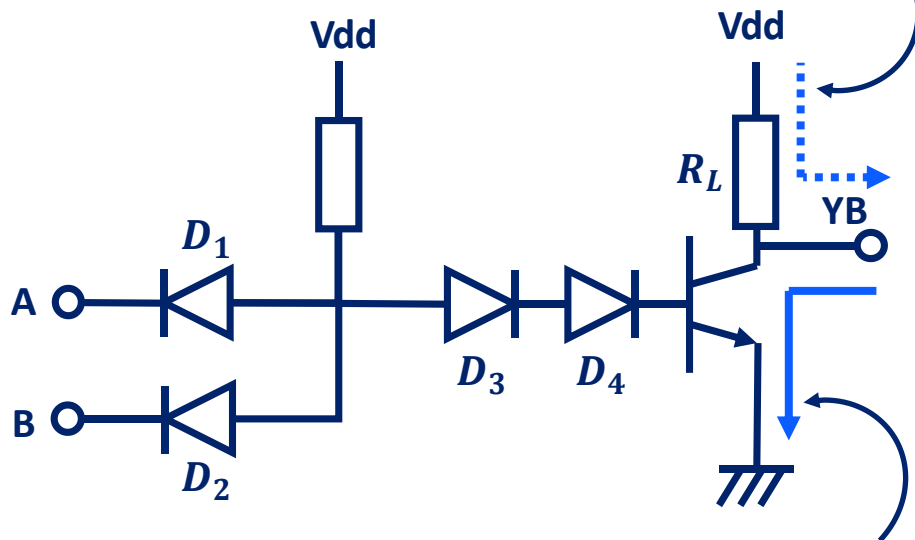
ベース・エミッタ間のダイオードもON
⇒ベース電流が流れ込む
⇒コレクタ電流が流れ"0"を出力

トランジスタ・トランジスタ・ロジック (TTL)

DTLの問題点：

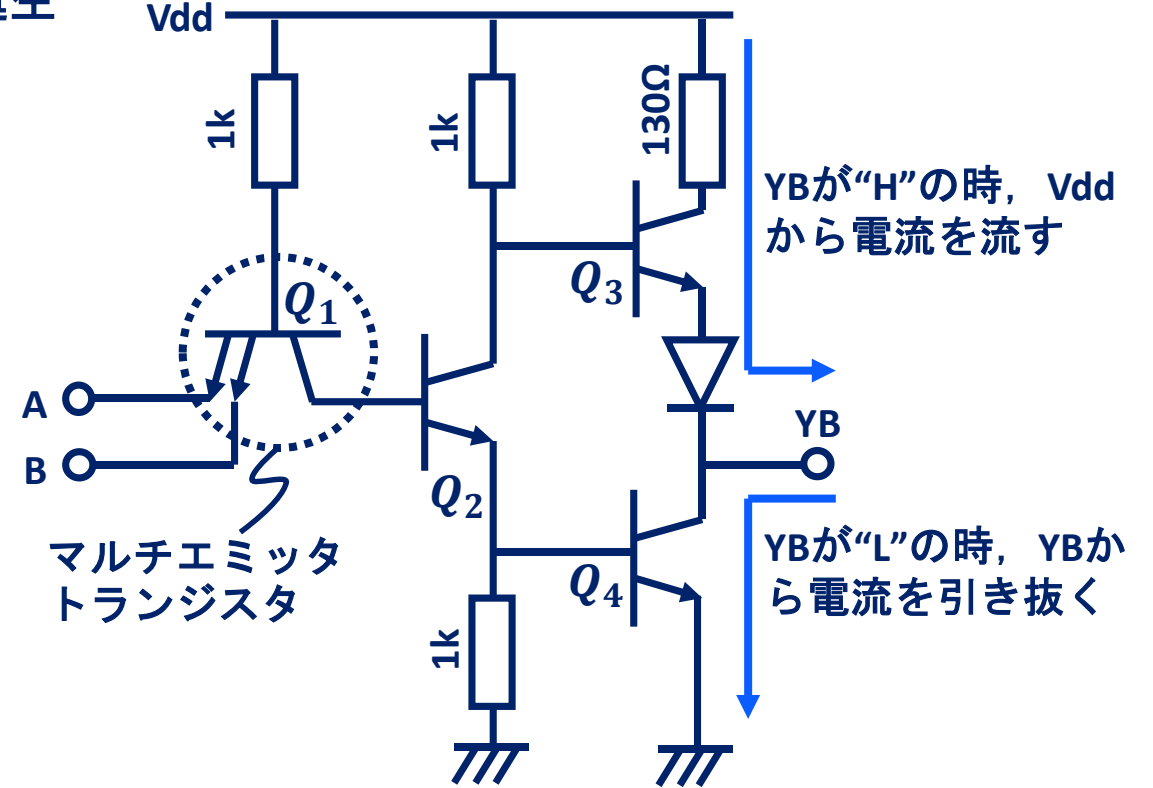
“H”出力時の出カインピーダンスが高いこと

“H”出力の時は R_L が出力に流れる電流を妨げるため出カインピーダンスが高い



コレクタ・エミッタ間の抵抗は R_L に比べて十分小さく，“L”出力の時は大電流を流せる

TTLの誕生



- DTL回路の $D_1 \cdot D_2 \cdot D_3$ をマルチエミッタトランジスタで置き換え
- 出力が“H”の時は Q_3 がON \Rightarrow VddからYBに電流を流す
- 出力が“L”の時は Q_4 がON \Rightarrow YBから電流を引き抜く

