電気電子回路入門

2012年1月25日

８章　PN接合ダイオード

前回のポイント

- PN接合ダイオード
  - PN接合と整流作用
  - 半導体ダイオードの理論式
  - 動作特性図　V_Fの違い
  - 図式解法
  - 整流回路

今回のポイント

- バイポーラートランジスタの原理
- トランジスタの静特性
- トランジスタの増幅作用
  - 動作点の決定
  - バイアス抵抗の設定

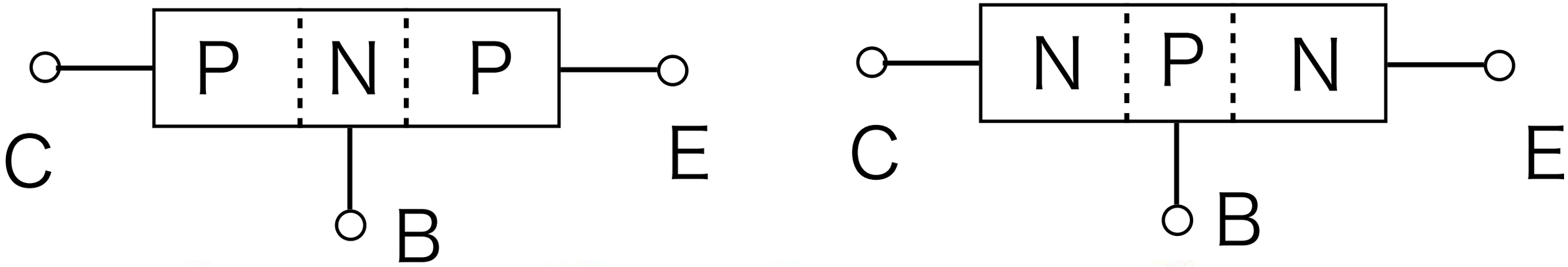
    トランジスタの等価回路

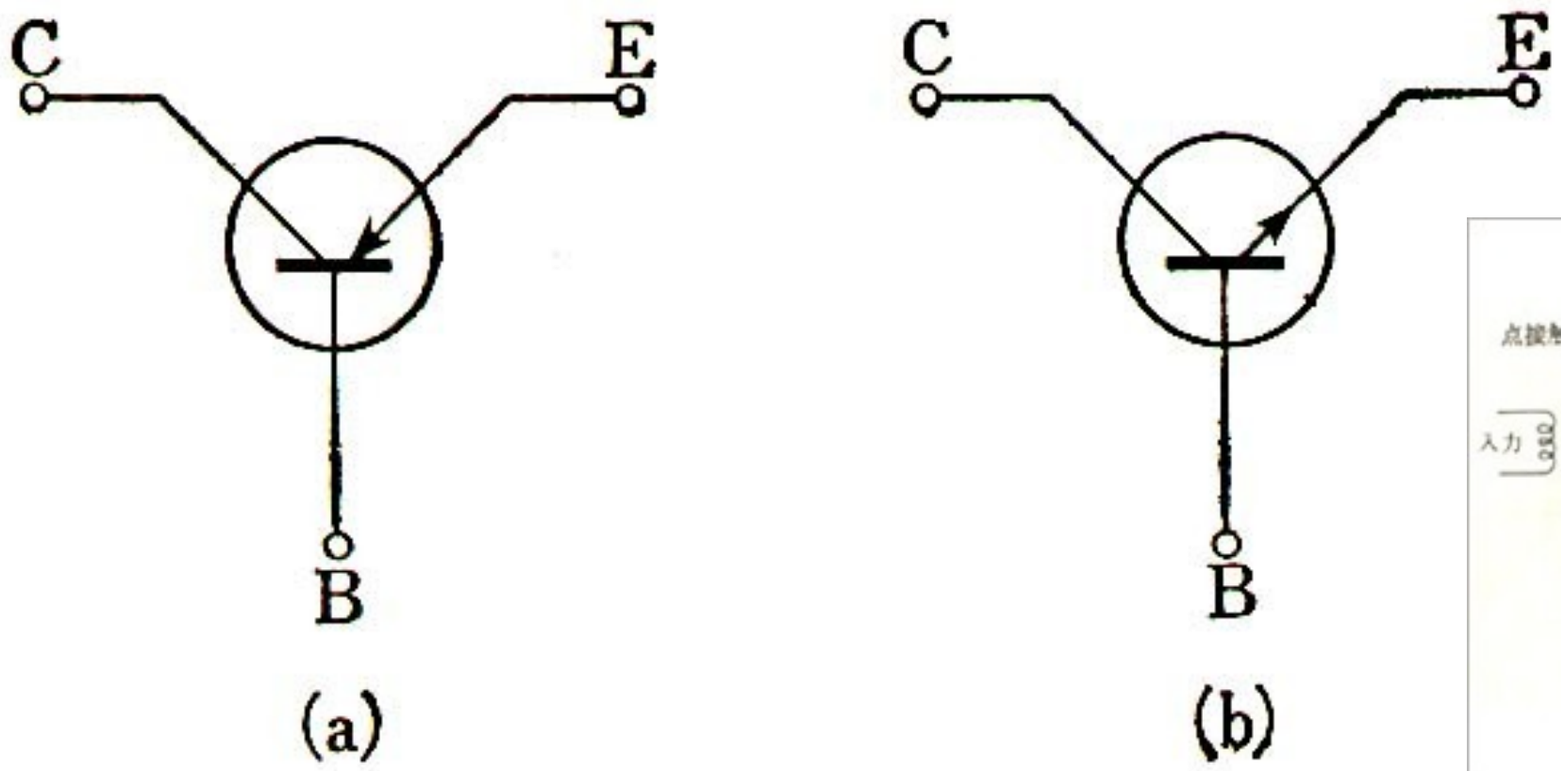
９章トランジスタと増幅作用

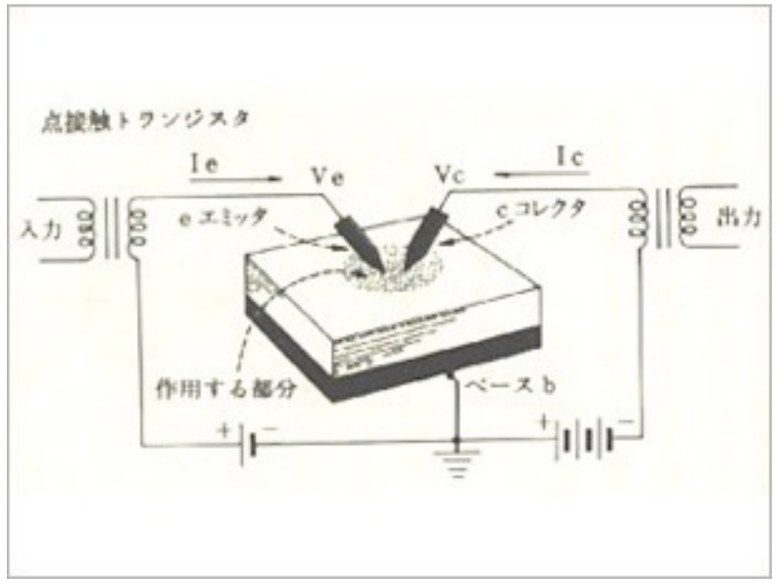
- バイポーラートランジスタとFETトランジスタの基本動作を説明し、動作を解析する為に使われる小信号等価回路の利用方法を述べる。

9.1　バイポーラトランジスタ

- NPN型とPNP型トランジスタ







6－26 図　トランジスターの記号.
（a）PNP 接合　　（b）NPN 接合

点接触型

動作原理

ベース領域が薄い、又はキャリア濃度が低い→ベースの正孔と結合しないものが多数→コレクタの電位に引かれる。→電流が流れる

再結合したもの→ベース電流

再結合しなかったもの→コレクタ電流

}比は一定

I_CとI_Eの関係は

$$I_C = \alpha_0 I_E \quad ;\alpha_0 < 1.0$$

α_0：ベース接地電流増幅率

キルヒホッフの電流則から

$$I_B = I_E - I_C = (1-\alpha_0) I_E$$

$$\beta_0 = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_0}{1-\alpha_0}$$

β_0：エミッタ接地電流増幅率

α_0＝0.99、I_E=1mAとすると、

I_C= 0.99 mA, I_B= 0.0 1mA, β_0=99

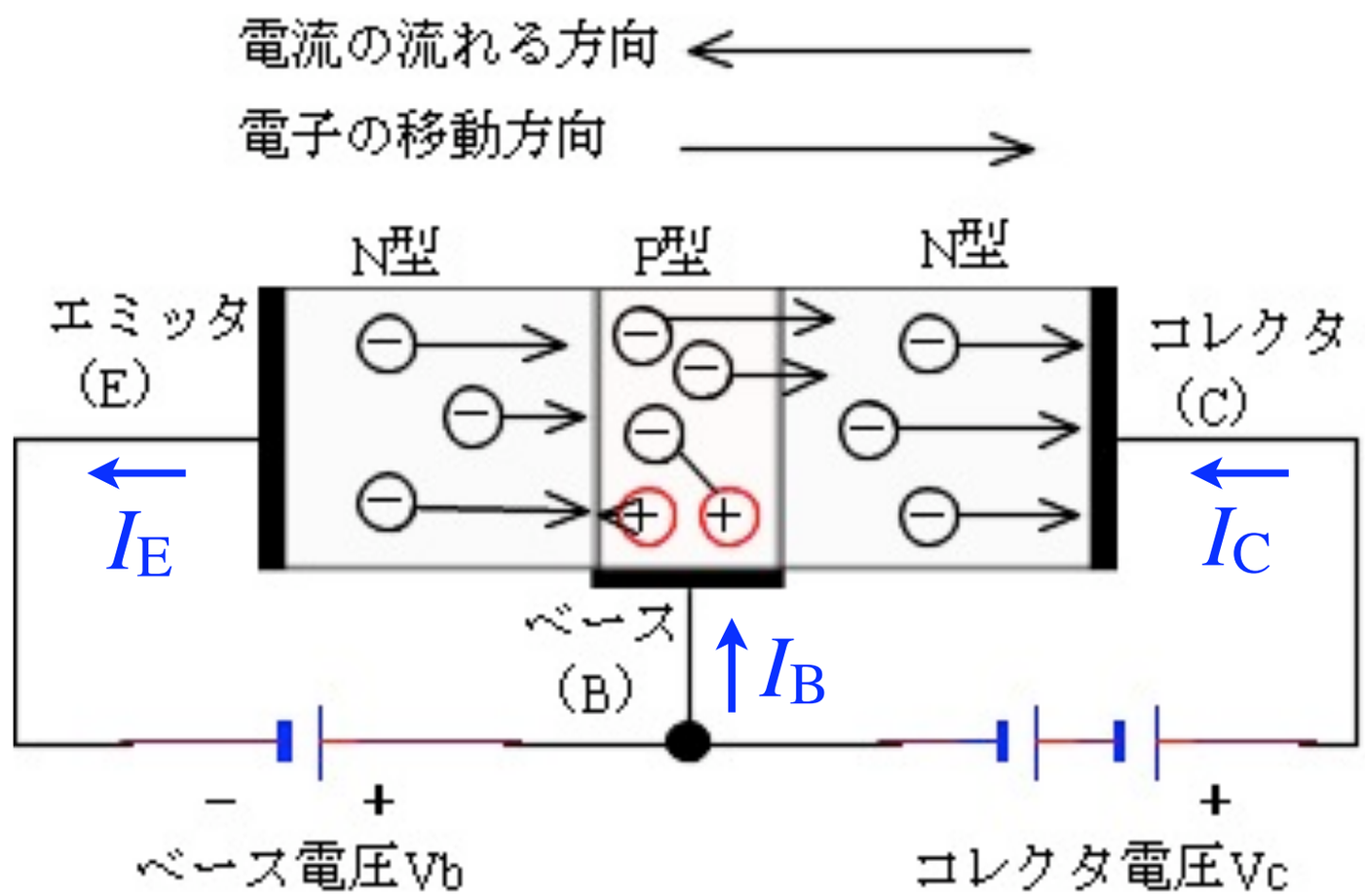


図3

9.2　トランジスタの静特性

- 端子間に直流
- V_{BE}-I_B特性
  - ダイオードの特性に類似
  - I_Bの値小
  - V_{CE}の依存性小

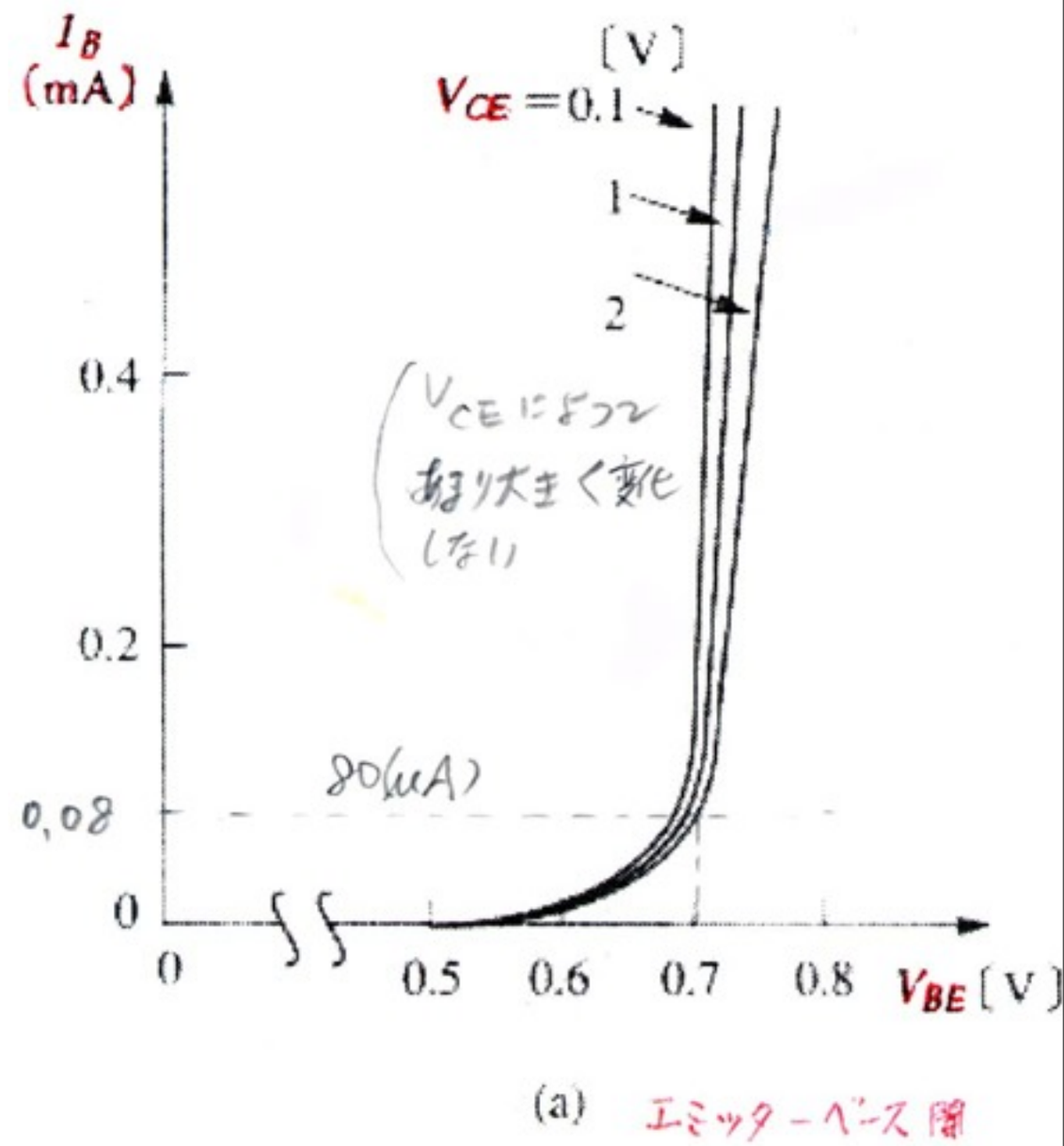


Fig. 9.3　トランジスタの静特性

実際のデーターシート↓

2SB698, 2SD734

参考

2003A

PNP/NPNエピタキシャルプレーナ形
シリコントランジスタ

電子ガバナ, D-Dコンバータ用

512F

( )内は 2SB698 の場合を示す.

・オーディオ 1W 出力用.

絶対最大定格 Absolute Maximum Ratings/T_a=25°C

			unit
コレクタ・ベース電圧	V_{CBO}	(−)25	V
コレクタ・エミッタ電圧	V_{CEO}	(−)20	V
エミッタ・ベース電圧	V_{EBO}	(−)5	V
コレクタ電流	I_C	(−)0.7	A
ピークコレクタ電流	i_{cp}	(−)1.5	A
コレクタ損失	P_C	0.6	W
接合部温度	T_j	150	℃
保存周囲温度	T_{stg}	−55〜+150	℃

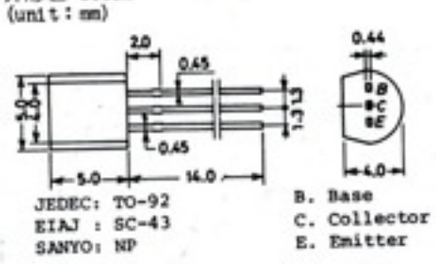
電気的特性 Electrical Characteristics/T_a=25°C

			min	typ	max	unit
コレクタしゃ断電流	I_{CBO}	V_{CB}=(−)20V, I_E=0			(−)1.0	μA
エミッタしゃ断電流	I_{EBO}	V_{EB}=(−)4V, I_C=0			(−)1.0	μA
直流電流増幅率	h_{FE}(1)	V_{CE}=(−)2V, I_C=(−)50mA	60※		560※	
	h_{FE}(2)	V_{CE}=(−)2V, I_C=(−)500mA	50			
利得帯域幅積	f_T	V_{CE}=(−)10V, I_C=(−)50mA		250		MHz
出力容量	C_{ob}	V_{CB}=(−)10V, f=1MHz		(13) 8		pF pF
C-E 飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	I_C=(−)500mA, I_B=(−)50mA		(−0.2) 0.13	(−0.45) 0.3	V V
B-E 飽和電圧	$V_{BE(sat)}$	I_C=(−)500mA, I_B=(−)50mA		(−)0.9		V
C-B 降伏電圧	$V_{(BR)CBO}$	I_C=(−)10μA, I_E=0	(−)25			V
C-E 降伏電圧	$V_{(BR)CEO}$	I_C=(−)1mA, R_{BE}=∞	(−)20			V
E-B 降伏電圧	$V_{(BR)EBO}$	I_E=(−)10μA, I_C=0	(−)5			V

※ 2SB698, 2SD734は 50mA h_{FE} によりつぎのように分類している.

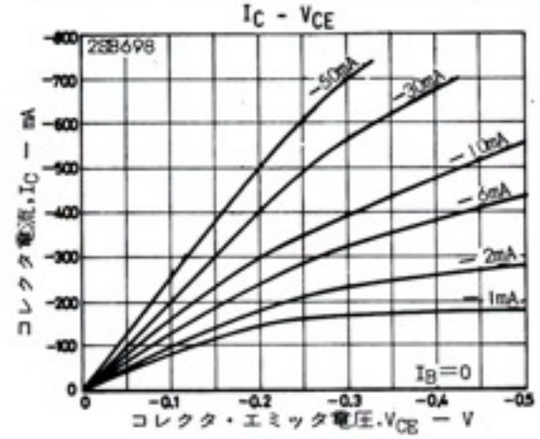
60	D	120	100	E	200	160	F	320	280	G	560

外形図 2003A
(unit : mm)

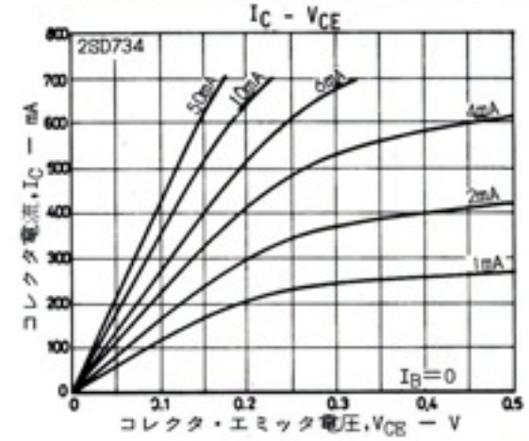


5089Y0規変8-3290/N028Y0図条変/4298Y0外通/D277Y0 8-2729/N237Y0 8-2630 №512-1/3
1200印刷/2037Y0社変/N064Y0外変/

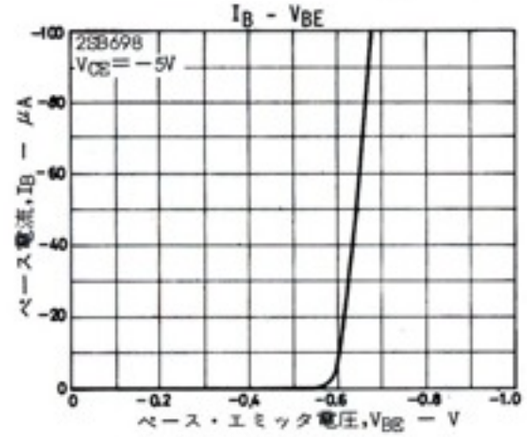
I_C - V_{CE}



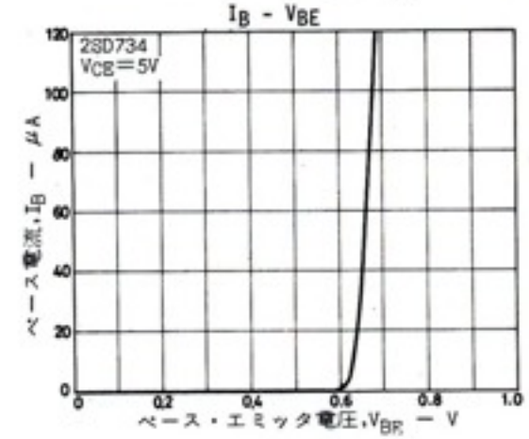
I_C - V_{CE}



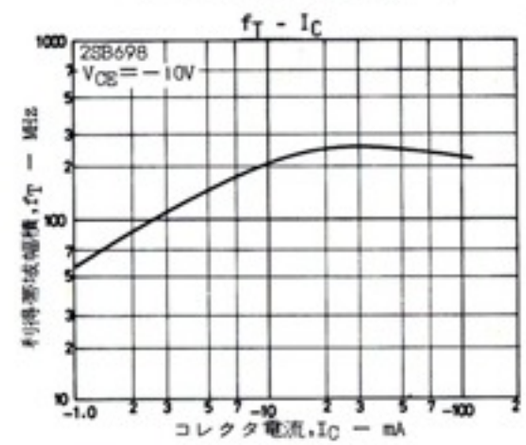
I_B - V_{BE}



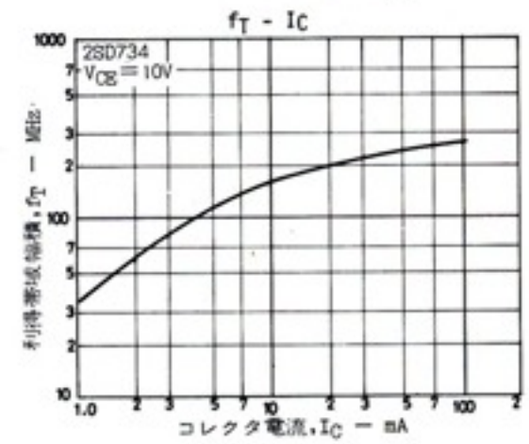
I_B - V_{BE}



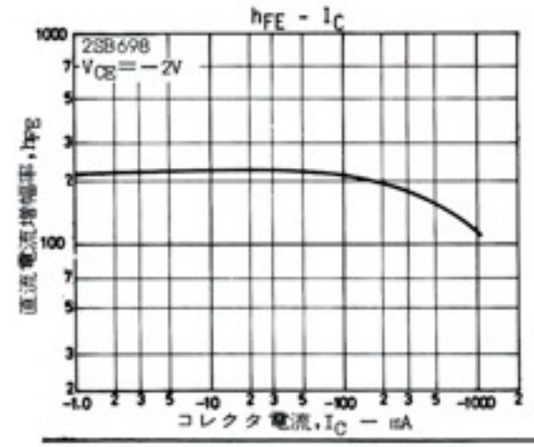
f_T - I_C



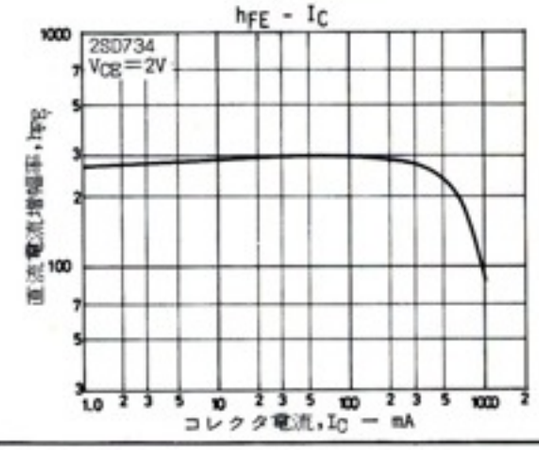
f_T - I_C



h_{FE} - I_C

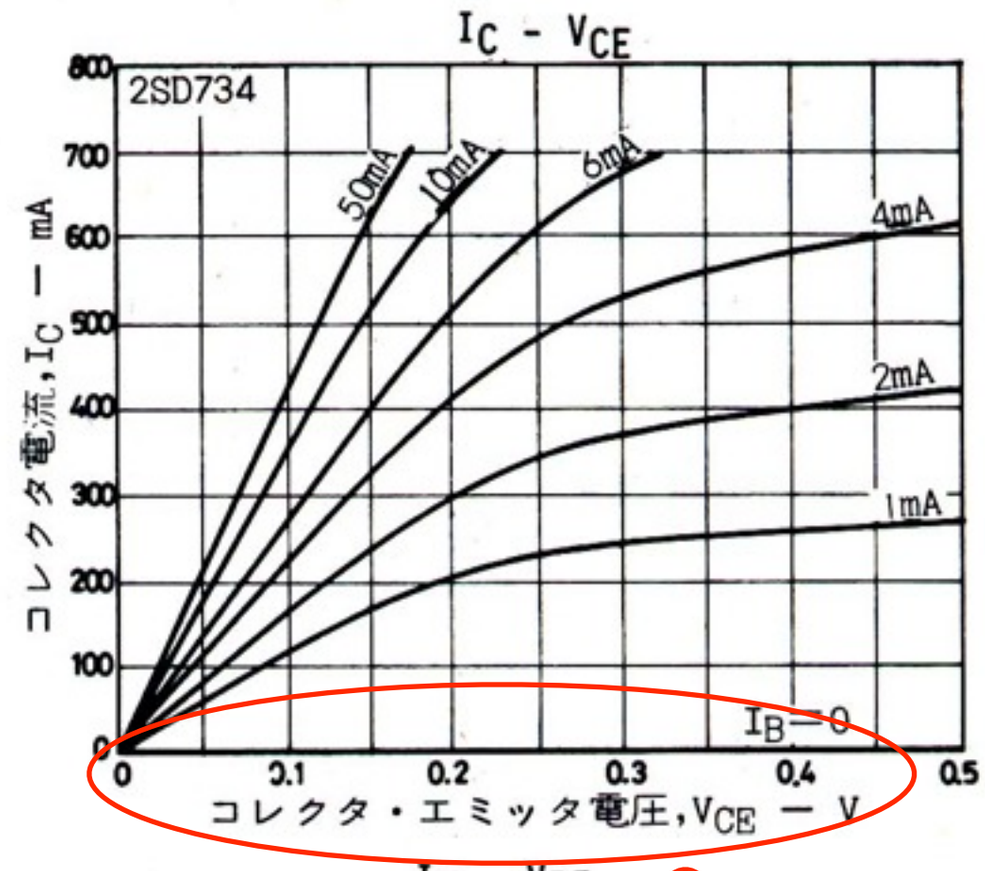


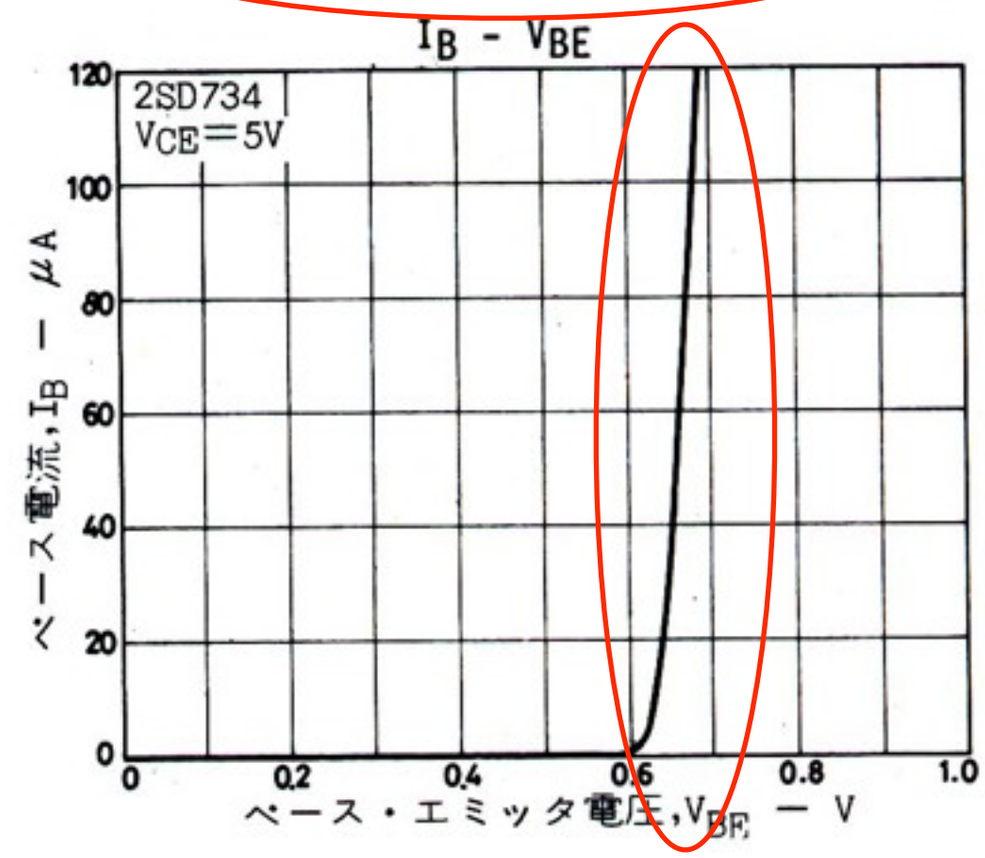
h_{FE} - I_C



参考

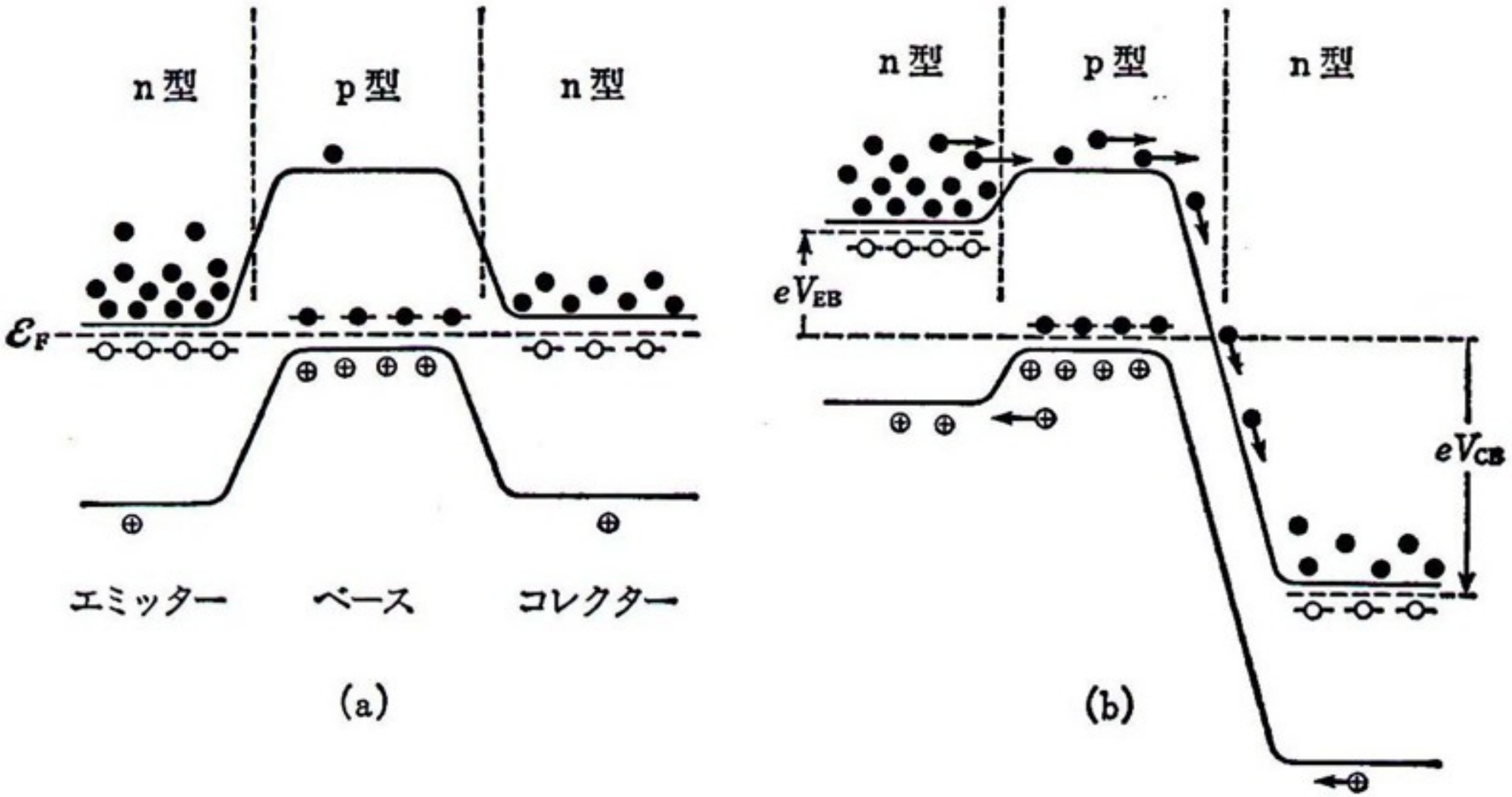
- V_{BE}＝0.6～0.7V
- V_{CE}<V_{BE}の場合あり
- 電源が低電圧の場合、V_{CE}が小さいほど効率がいい。





参考

(b)はVCEを下げ過ぎているが、必ずしも$V_{CE}>V_{BE}$でなくてよい



4-2 図　npn トランジスターのエネルギー準位とキャリヤーの分布
(a)　電圧をかけないとき，(b)　$V_{EB}<0$，$V_{CB}>0$ の電圧をかけたとき

V_{CE}-I_C特性図

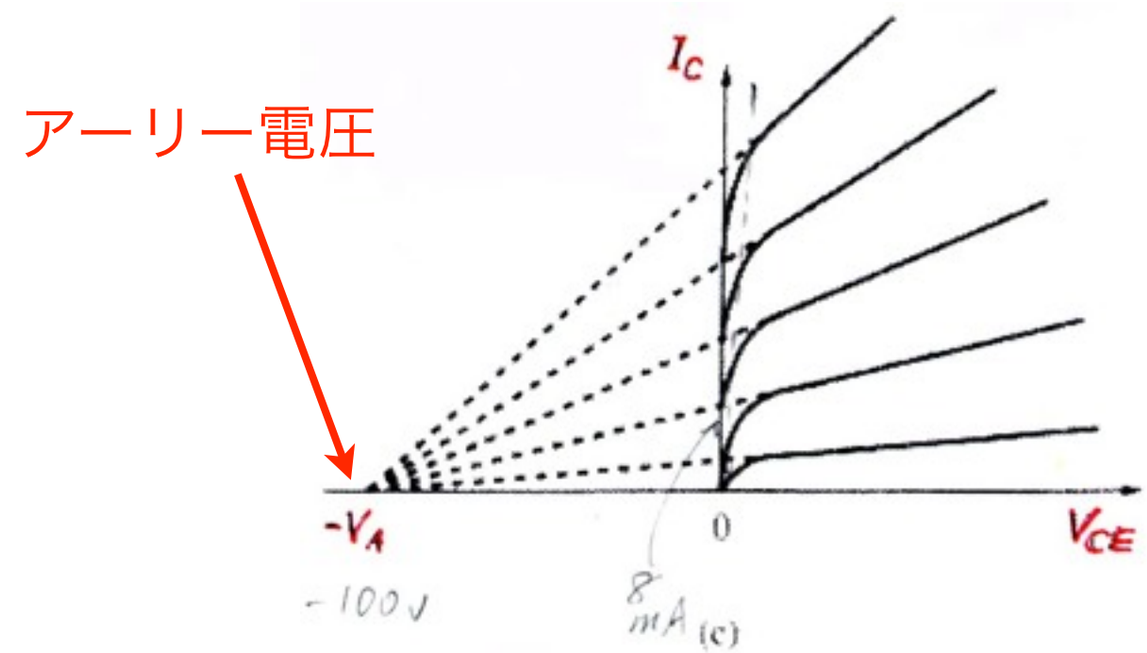
・傾きが出力抵抗

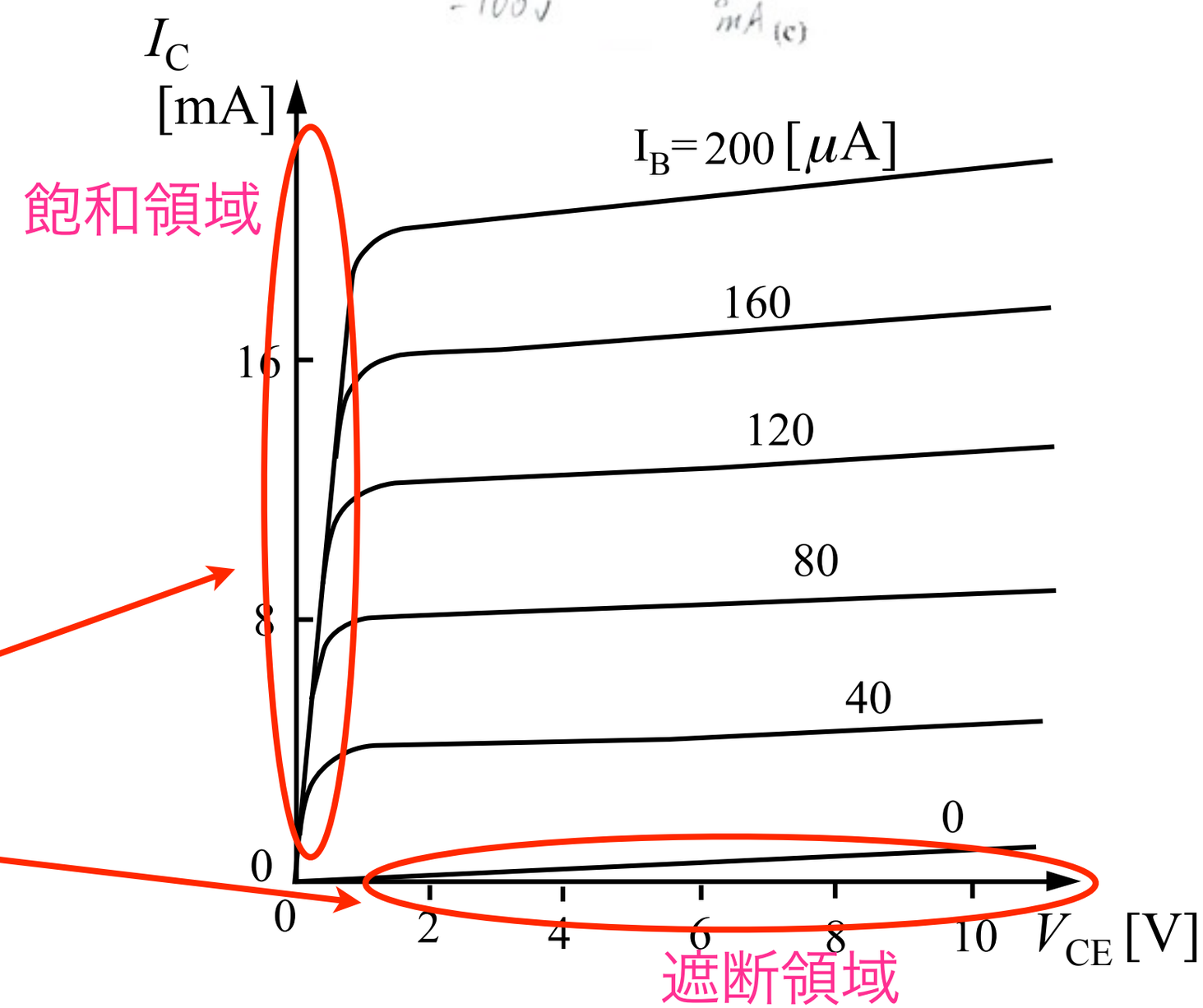
・x切片がアーリー電圧

出力抵抗は

アーリー電圧を100V、
y切片を8mAとすると

$$R_{out} = \frac{100\,[\mathrm{V}]}{8\,[\mathrm{mA}]} = 12.5\,[\mathrm{k}\Omega]$$





デジタル信号

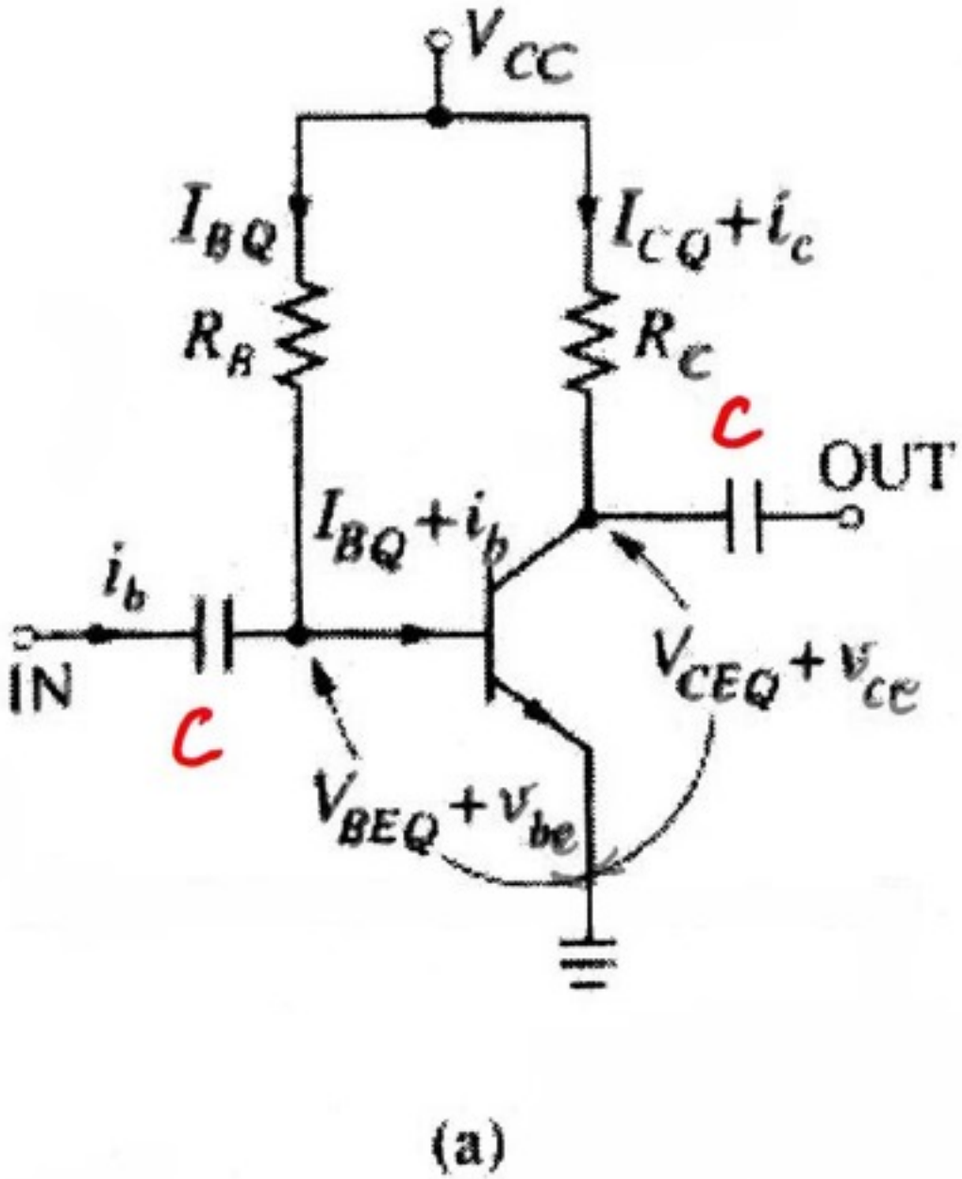
OFF：V小

ON：I小

9.3　トランジスタの増幅作用

- エミッタ接地増幅回路
  - V_{cc}：直流電源(6V)
  - R_B：バイアス電流供給
  - R_C：負荷抵抗
  - C：直流阻止&交流通過
  - V_{CC}→C→E→V_{CC}のループを考えると

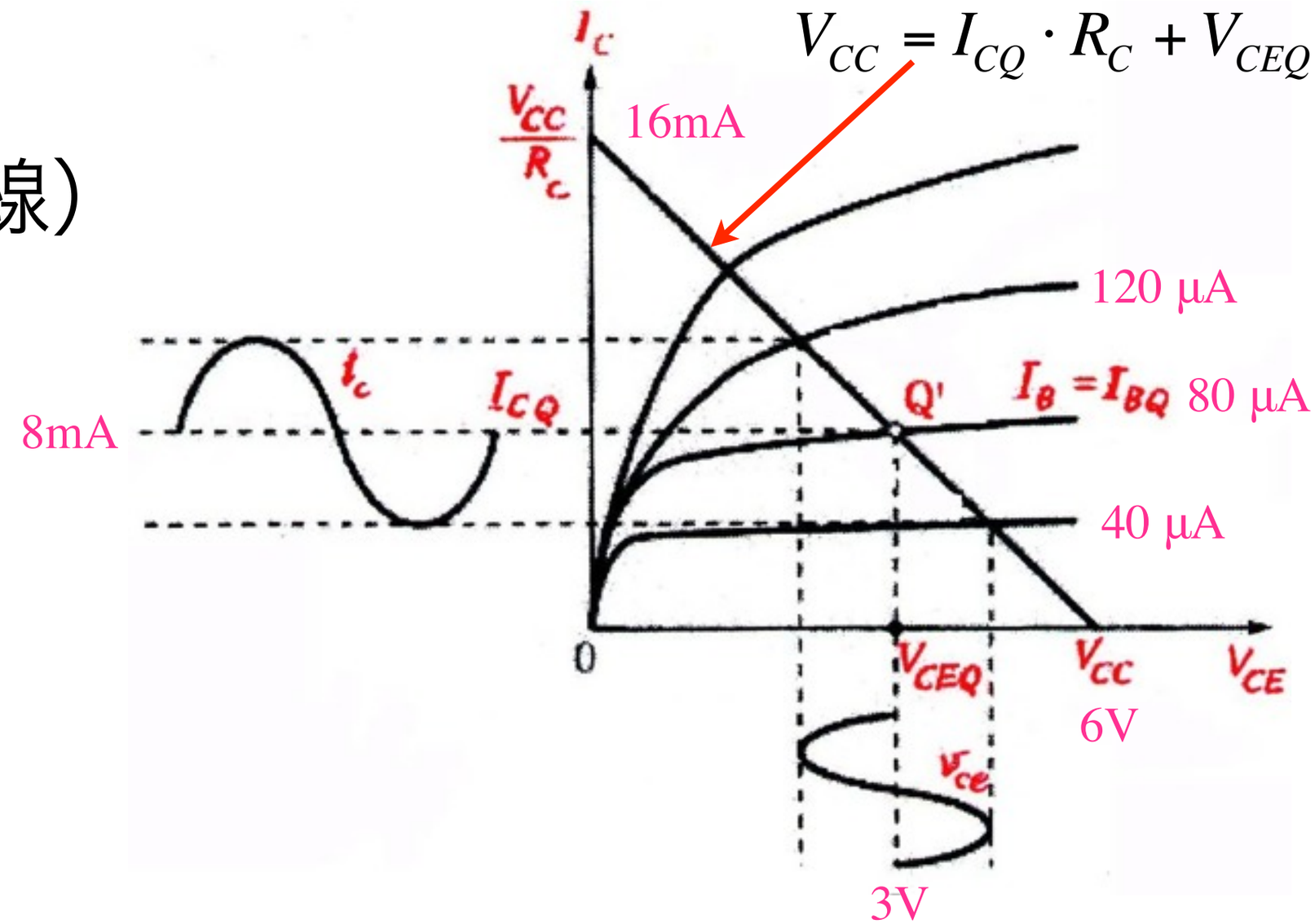
$$V_{CC} = I_{CQ} \cdot R_C + V_{CEQ}$$



(a)

- V_{CC}=6V
- 負荷直線（動作線）

V_{CE}=6V
↓
Q’(動作点)
↓
I_C=16mA



$$R_C = \frac{6\,[\mathrm{V}]}{16\,[\mathrm{mA}]} = 375\,[\Omega]$$

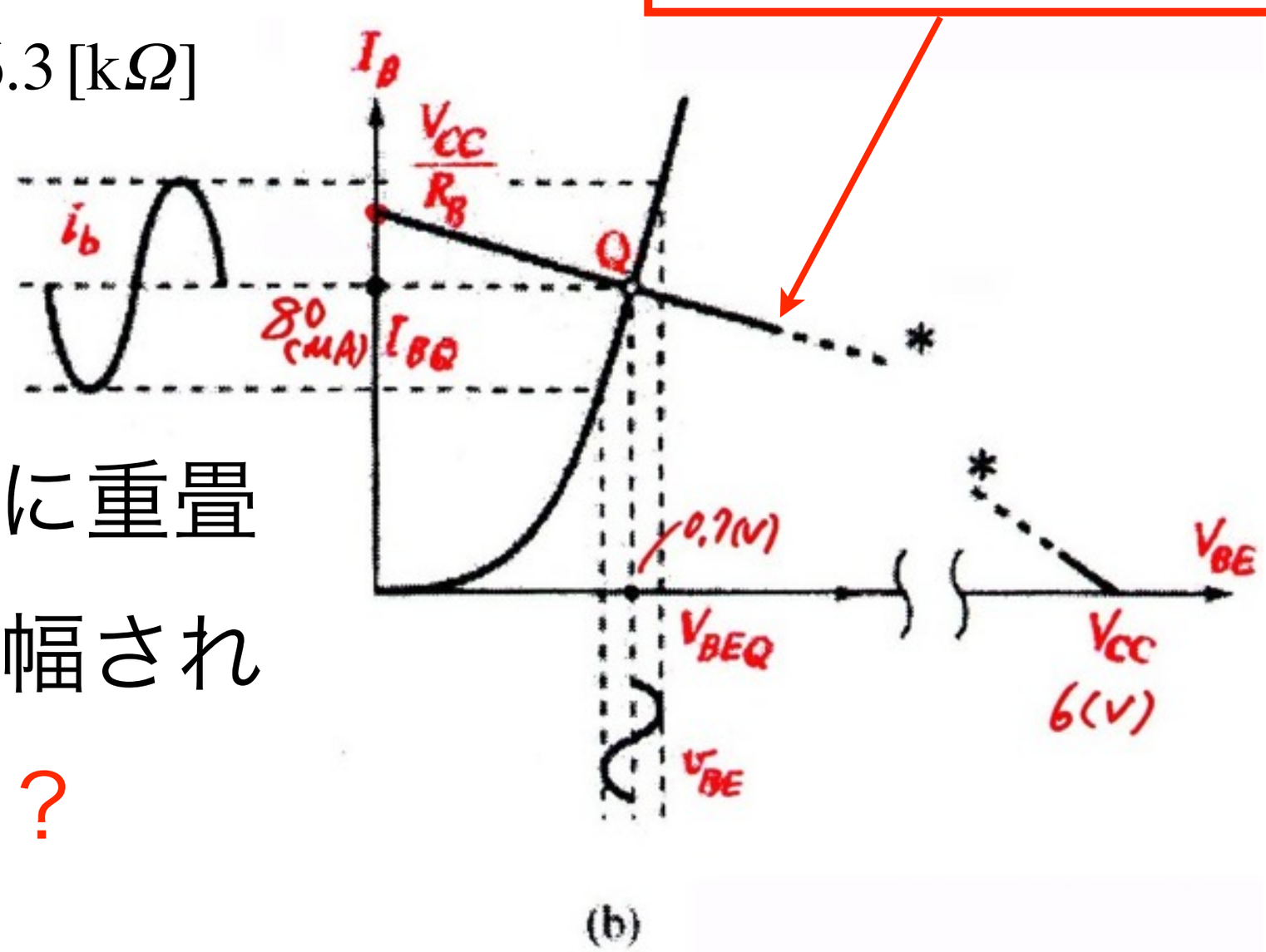
動作点：I_B=80μA, I_C=8mA, V_{CEQ}=3V

9.3.2　R_Bの決定

- V_{CC}→Q→y軸へ直線
- (y切片＝V_{CC}/R_B)

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{I_{BQ}}$$

$$R_B = \frac{6 - 0.7\,[\mathrm{V}]}{80\,[\mu\mathrm{A}]} = 66.3\,[\mathrm{k}\Omega]$$

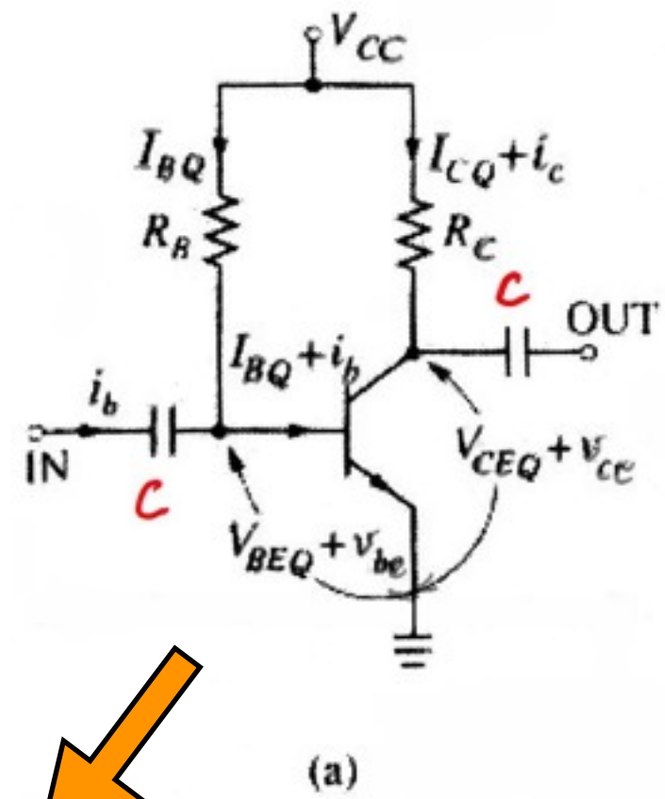


(b)

- 直流バイアスに重畳した交流が増幅される。増幅率は？

9.3.3　小信号等価回路

- V_{CC}＋$e_s(t)$→重ねの理→V_{CC}=0
- R_Bへの信号電流は無視できる
- 結合コンデンサも無視
- C側にはv_1で制御される電流源



(a)

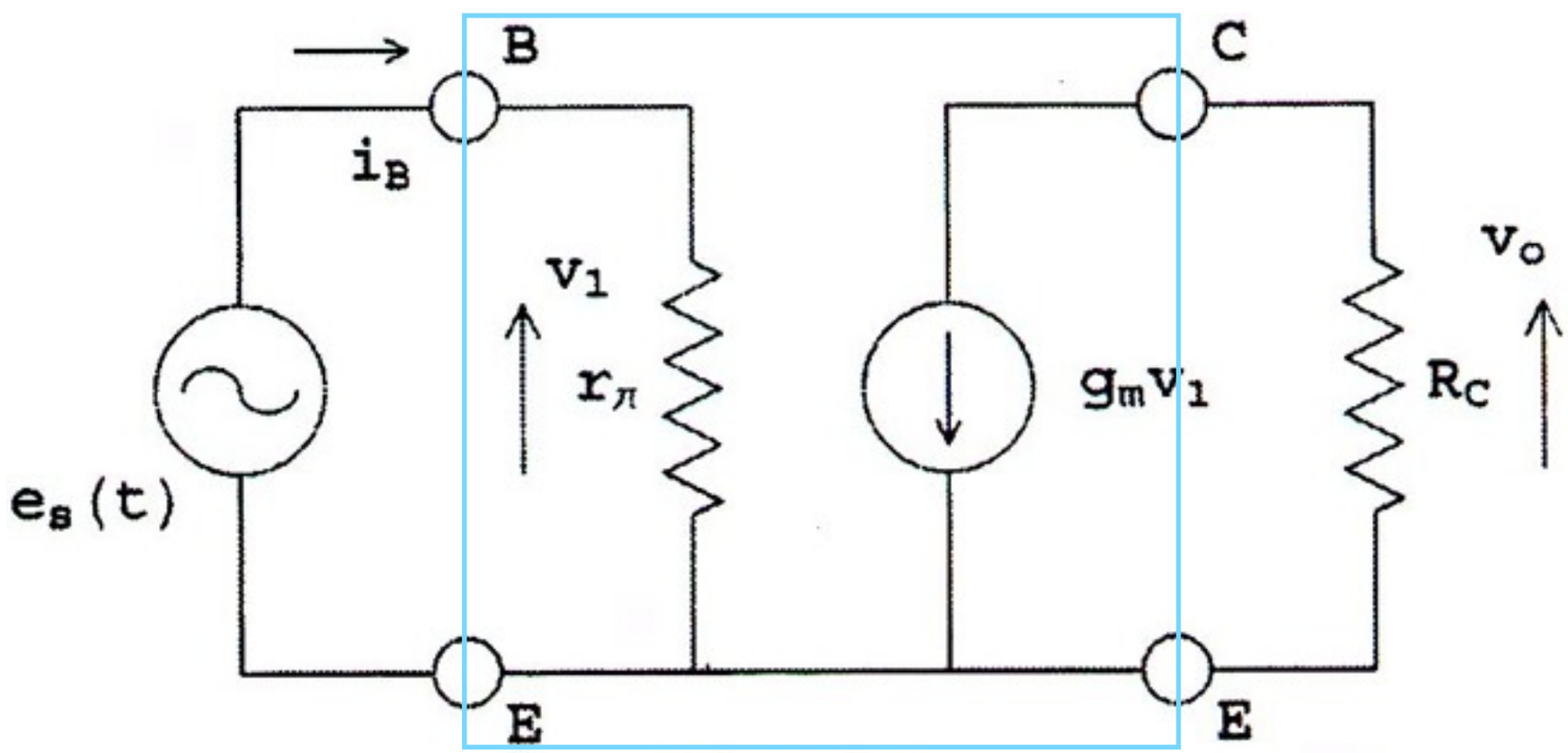


Fig. 9.5

V_{CC}とトランジスタのCE間のループのキルヒホッフ則は

$$V_{CC} = I_{CQ} \cdot R_C + V_{CEQ}$$

今、等価回路では直流成分を０として考えているから

$$0 = I_{CQ} \cdot R_C + V_{CEQ}$$

R_C=375Ωとして Q点の近傍でI_C、V_{CE}を微小変化させているから勾配は

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} = -\frac{1}{375} \qquad \therefore \Delta I_C \cdot 375 + \Delta V_{CE} = 0$$

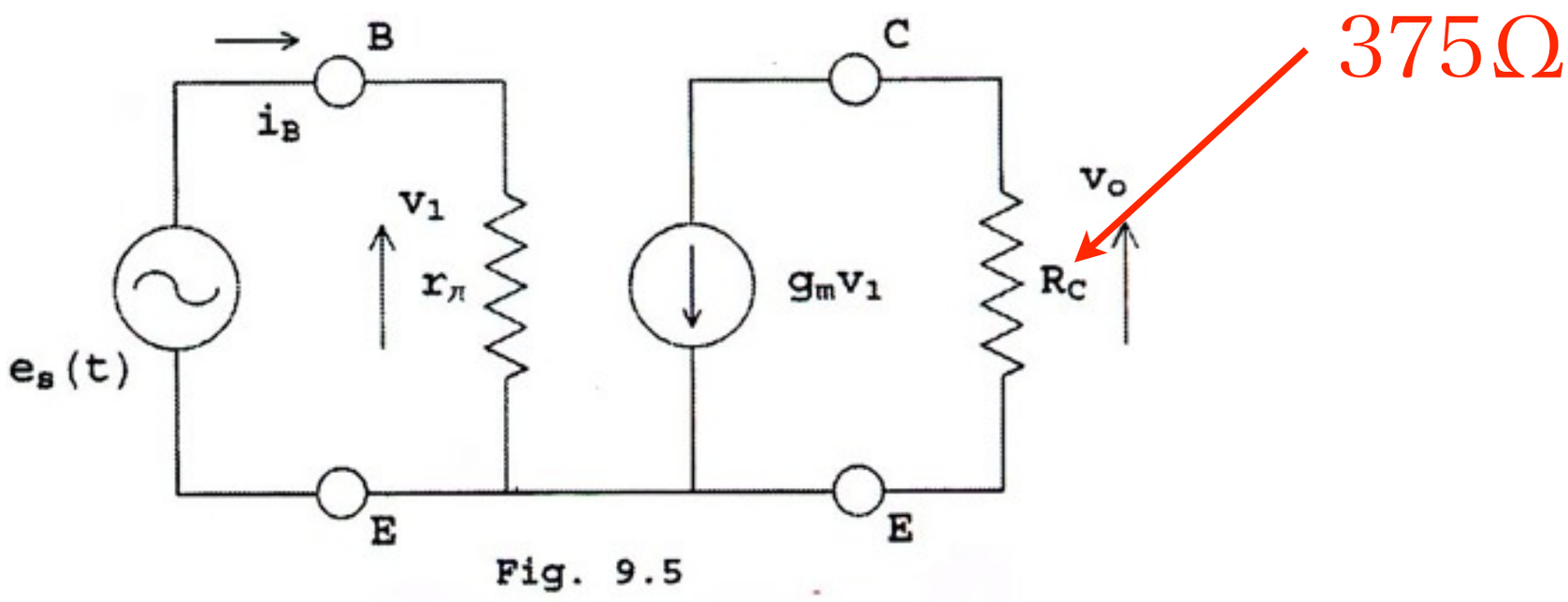


Fig. 9.5

微小電流変化ΔI_Cと相互コンダクタンスg_mの関係

入力のBE間の微小変化ΔV_{BE}によりΔI_Cが変化する

g_mの定義：　$g_m = \dfrac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}}$

I_BとV_{BE}の関係はダイオード特性により

$$I_B \cong I_S \varepsilon^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \quad ;(V_{BE} >> V_T)$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = \beta \cdot I_S \varepsilon^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

g_mを求める

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} = \beta \cdot I_S \cdot \frac{1}{V_T} \varepsilon^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = \frac{I_C}{V_T}$$

$$\boxed{g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad ;(V_T = 0.026\,[\mathrm{V}])}$$

入力回路の評価

- 入力抵抗の定義

$$r_\pi = \frac{\Delta V_{\mathrm{BE}}}{\Delta I_{\mathrm{B}}} = \frac{\Delta V_{\mathrm{BE}}}{\frac{\Delta I_{\mathrm{C}}}{\beta}} = \frac{\beta}{\left(\frac{\partial I_{\mathrm{C}}}{\partial V_{\mathrm{BE}}}\right)} = \frac{\beta}{g_{\mathrm{m}}}$$

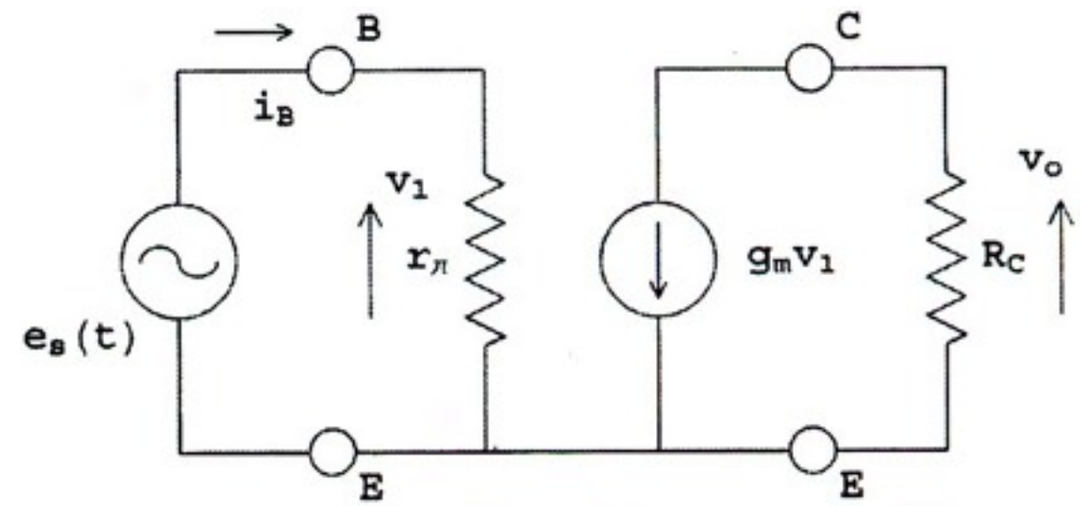


Fig. 9.5

- 入力及び出力回路の等価回路（$\Delta V_{\mathrm{BE}} \rightarrow v_1$）

- I_{C}=8mA、V_{T}＝26mV、β＝100とすると

$$g_{\mathrm{m}} = \frac{8\,[\mathrm{mA}]}{26\,[\mathrm{mV}]} = 0.307\,[\mathrm{S}]$$

$$r_\pi = \frac{100}{0.307} = 326\,[\Omega]$$

入力及び出力回路の等価回路

- $\Delta V_{BE} \rightarrow v_1$と書き直す
- 出力電圧

$$v_o = -g_m v_1 \cdot R_C$$

- 増幅度

$$A_v = \frac{v_o}{v_1} = -g_m R_C$$

$$A_v = -0.307 \times 375 = -115$$

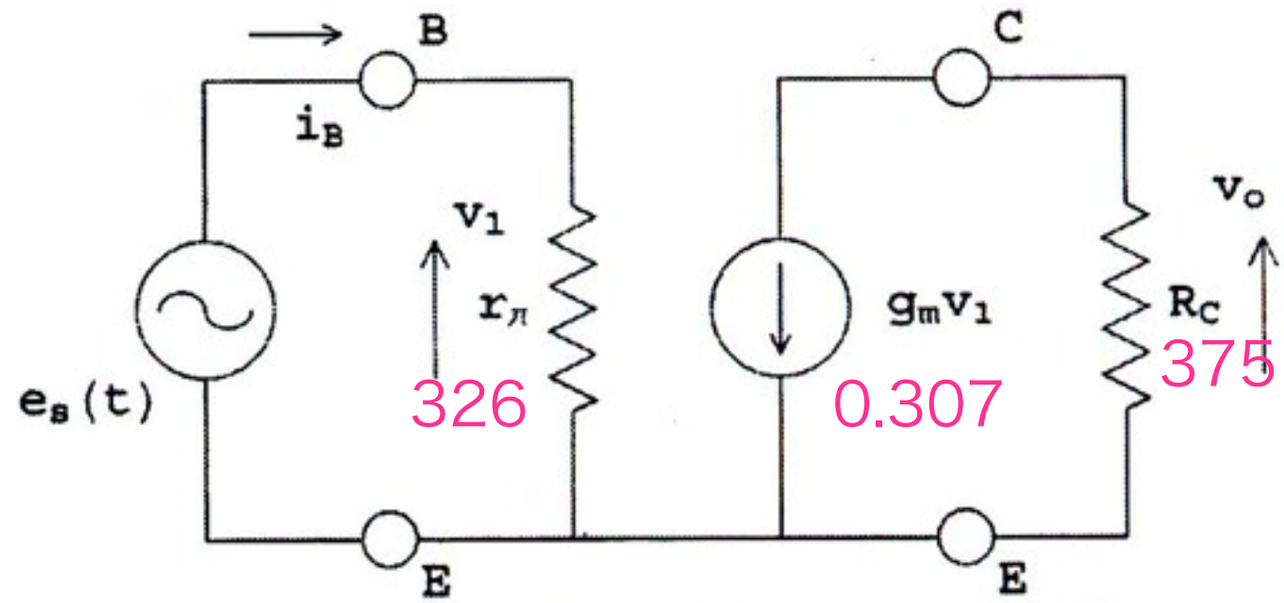


Fig. 9.5

- 入力電圧$e_s(t)$の115倍の電圧がR_Cの両端にあらわれる。(位相は逆)（しかし、この回路は不安定なので、通常は使われない）。。。。(o_ _)oドテッ

今回のポイント

- バイポーラートランジスタの原理
- トランジスタの静特性
- トランジスタの増幅作用
  - 動作点の決定
  - バイアス抵抗の設定

    トランジスタの等価回路

次回のポイント

- FETの原理
- FETの種類
- FET回路の動作
  - 動作点の決定
  - バイアス抵抗の設定

    FETの等価回路

オペアンプ回路に少し入るかも？