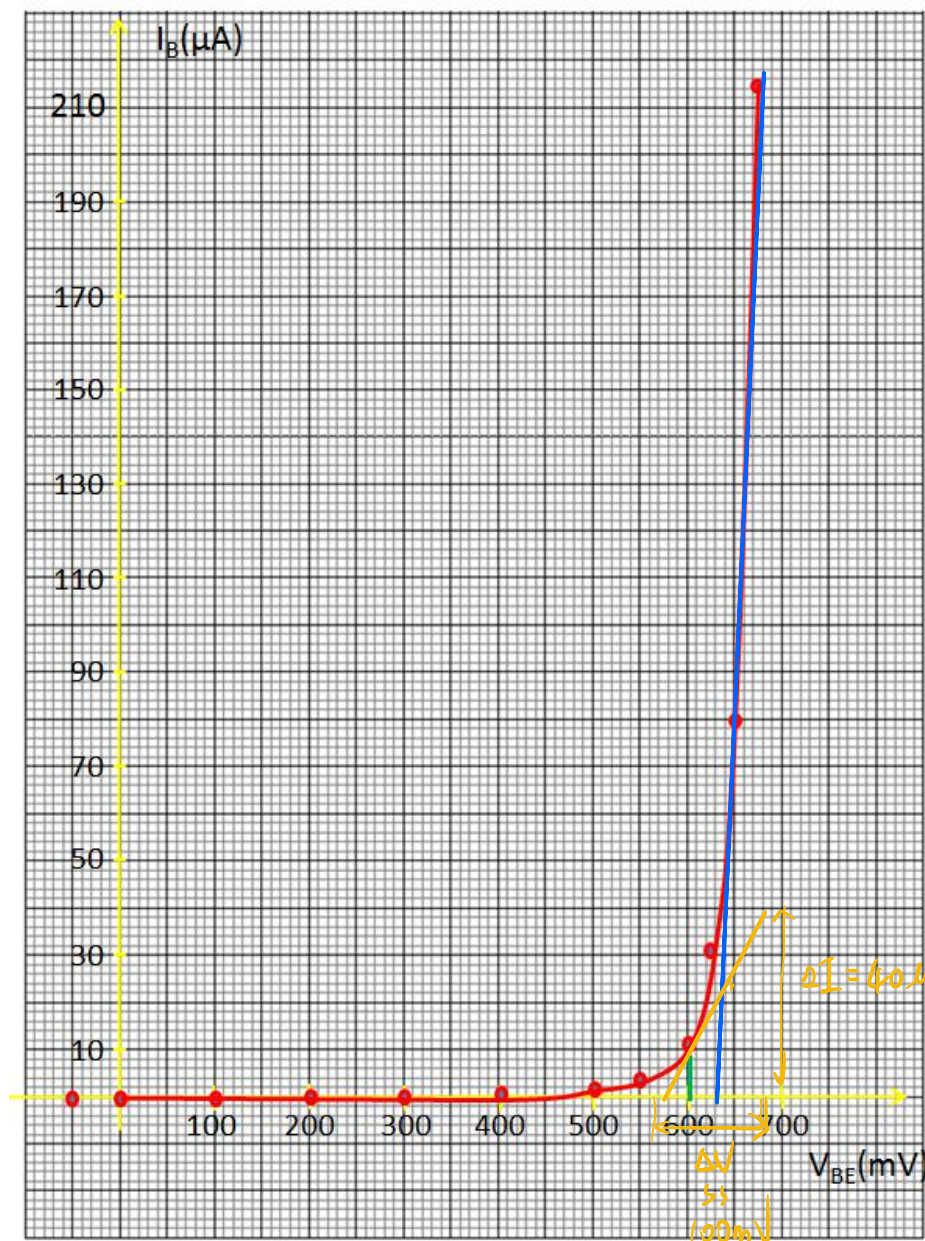


TD 3 – Transistors NPN

Question 1 : Etude d'un transistor NPN

On considère le transistor NPN ayant la caractéristique d'entrée suivante :



$$V_{sat} = 629 \text{ mV}$$

$$h_{11} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{100 \text{ mV}}{40 \mu A} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

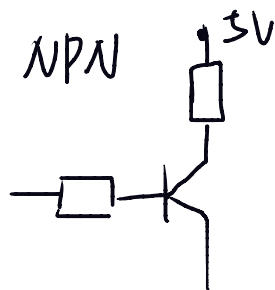
$$h_{11} = \frac{U_T}{I_B} = \frac{26}{12} = 2.2 \text{ k}\Omega$$

Sous Lushprojects, tracer cette caractéristique d'entrée (Retrouver ainsi le graphe ci-dessus).

Déterminez les paramètres V_{seuil} et h_{11} pour $V_{BE} = 0.6 \text{ V}$.

Visualisez la caractéristique $I_C = f(V_{CE})$ pour $I_B = 10$ et $30 \mu A$.

Q1:



[Equation approchée] $I = I_S \left(e^{\frac{V}{U_T}} - 1 \right)$
近似方程

5) Avec : $U_T = \frac{kT}{q} = 25,7 \text{ mV à } 300 \text{ K}$

[En polarisation directe] $I \approx I_S e^{\frac{V}{U_T}}$
正向极化.

$V_{seuil} = 600 \text{ mV}$

求 h_{11} : 1) $h_{11} \big|_{V_{BE}=0.6 \text{ V}} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \approx \frac{100 \text{ mV}}{40 \mu \text{ A}} = 2.5 \text{ k}\Omega$

2) equation approchée: $I = I_S \left(e^{\frac{V}{U_T}} - 1 \right)$, $I \rightarrow I_B$, $V \rightarrow U_{BE}$
↓

En polarisation directe: $I \approx I_S e^{\frac{V}{U_T}}$

$V_{BE} = 0.6 \text{ V}$

$I_B \approx 12 \mu \text{ A}$

$\frac{1}{r_d} = \frac{\partial I}{\partial V} = \frac{1}{U_T} I_S e^{\frac{V}{U_T}} = \frac{I}{U_T} = \frac{10 \mu \text{ A}}{\frac{kT}{q}} \approx \frac{12 \mu \text{ A}}{25.7 \text{ mV}}$

$h_{11} = r_d \approx 2.2 \text{ k}\Omega$

Question 2 : Inverseur RTL

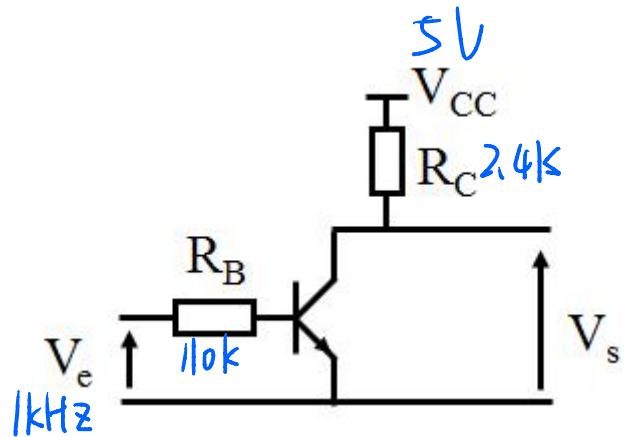
On considère le montage ci-contre :

Avec $V_{CC}=5V$

$R_B=110k\Omega$ et $R_C=2,4k\Omega$

(1) Déterminer I_{Csat}

(2) Tracer V_s en fonction de V_e pour $-1V \leq V_e \leq V_{CC}=5V$



(3) Simuler sous lushprojects. Estimez V_{CEsat}
Conclusion

On remplace le générateur V_e par un générateur « carré », compatible TTL (0-5V) (+LED)

Tracer V_s et V_e .

Estimez V_{CEsat}

Conclusion

Question 3 : Etude caractéristiques dynamiques

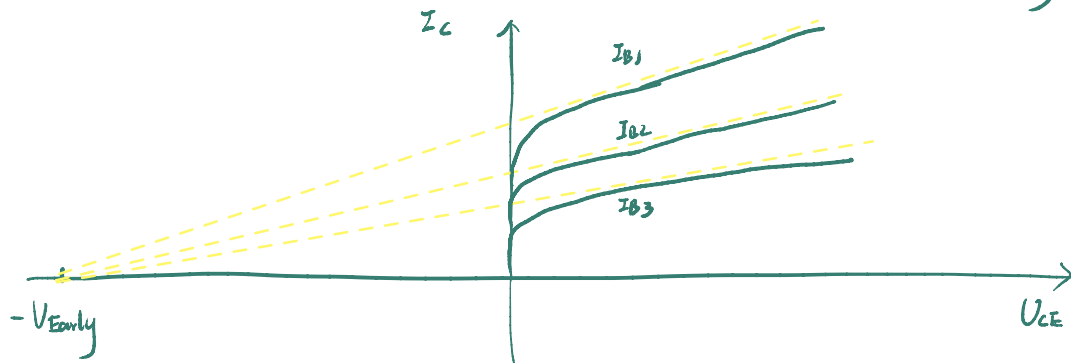
Reprendre la caractéristique $I_C=f(V_{CE})$ pour $I_B=10, 20$ et $30\mu A$, en modifiant le modèle du transistor ($V_{Early}=30V$).

Déterminer graphiquement h_{22} pour ces 3 valeurs de courant (on mettra V_{Early} en évidence sur le graphique)

Proposer une méthode pour déterminer h_{11} . On choisira deux valeurs de I_B , que l'on comparera à la valeur théorique.

Estimer la valeur maximale de la tension d'entrée « petits signaux ». Que se passe-t-il alors sur la valeur expérimentale de h_{11} , si on prend $V_e \gg V_{emax}$?

V_{Early} : 艾利电压, 表示 集电极电压 (V_{CE}) 的变化对集电极电流 (I_C) 产生的早期效应, V_{Early} 影响 特性曲线 (I_C-V_{CE}) 的斜率, 使 I_C-V_{CE} 曲线的反向延长线在不同 I_B 下都交于 I_C-V_{CE} 图象负半轴的一点 $-V_{Early}$



理想情况: $V_{Early} = \infty \Rightarrow h_{22} = 0$

饱和分析

$$Q_2: 1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

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

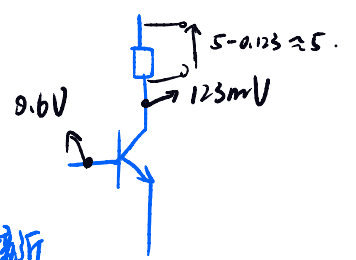
$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC} - V_{CE_{sat}}}{R_C} = \frac{5 - 0.14}{2.4k} \times 1.8mA \quad \text{②} \quad \# \quad \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{5}{2.4k} = 2.08mA$$

① $V_{CE_{sat}} \neq V_{BE}$, $V_{CE_{sat}} = 0.14mV$ 或者

$$I_{C_{sat}} = \frac{5 - 0.14}{2.4k} = 2.03mA$$

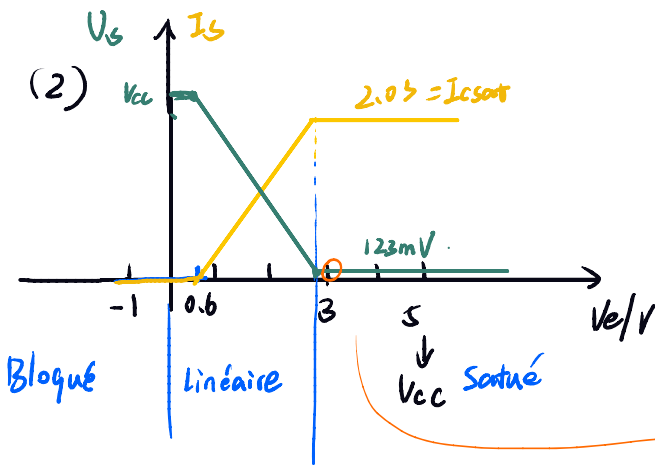
$$I_C = \beta I_B \rightarrow I_{B_{sat}} = \frac{I_{C_{sat}}}{\beta} = \frac{2.03mA}{100} = 20.3\mu A$$

$$V_E = V_{BE} + I_B R_B \rightarrow V_{E_{sat}} = V_{BE} + I_{B_{sat}} \cdot R_B = 0.6 + 20.3\mu \cdot 110k = 2.8V$$



仿真与这个更接近

$I_{C_{sat}}$ 直接用这个



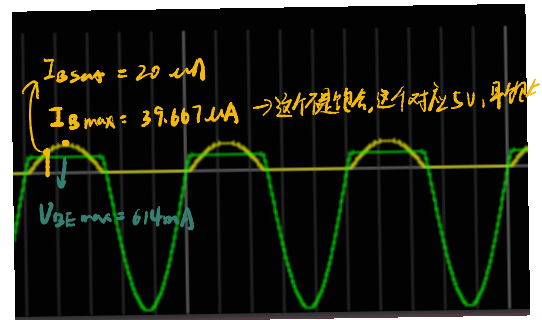
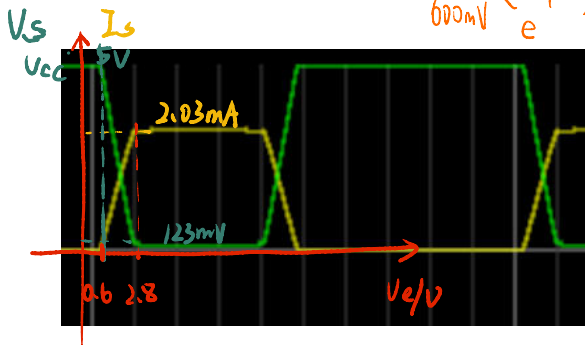
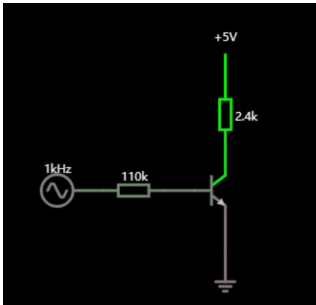
$$I_C = \beta I_B = \beta \frac{V_E - V_{BE}}{R_B}$$

$$V_S = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - \beta R_C \cdot \frac{V_E - V_{BE}}{R_B}$$

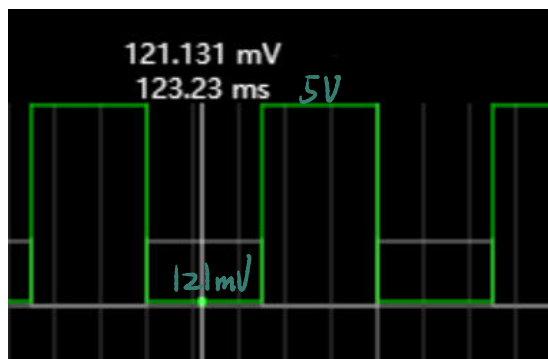
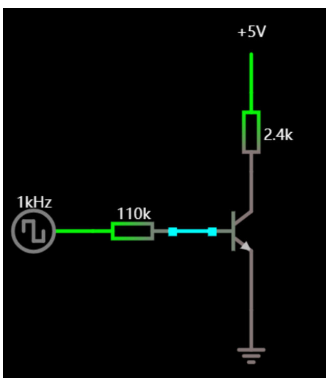
$$= 5 - 100 \frac{2.4}{110} (V_E - 0.6)$$

$$V_E \neq 2.9V \text{ 时 } V_S \neq 0$$

123mV → 一定存在电流源作用。



$$(3) V_{CE_{sat}} = 121mV$$

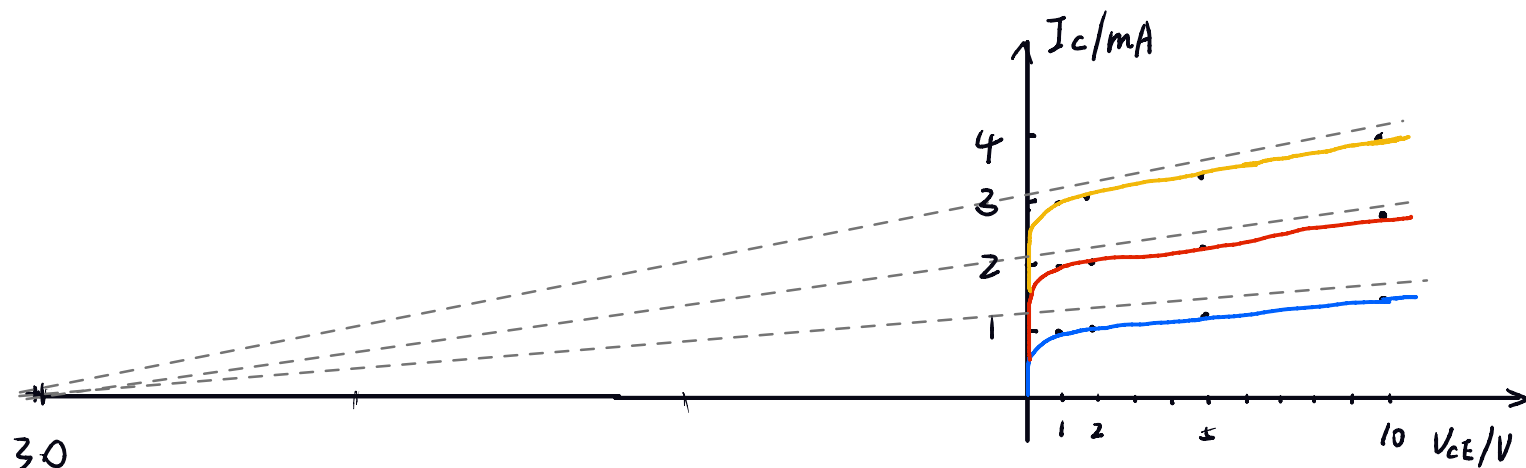
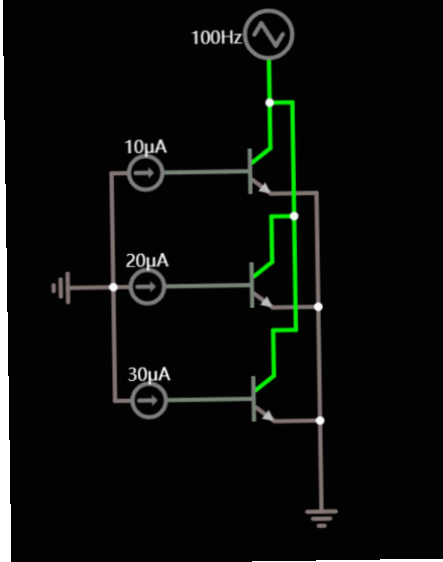


Q3 : $v_c = h_{21} i_B + h_{22} V_{CE}$

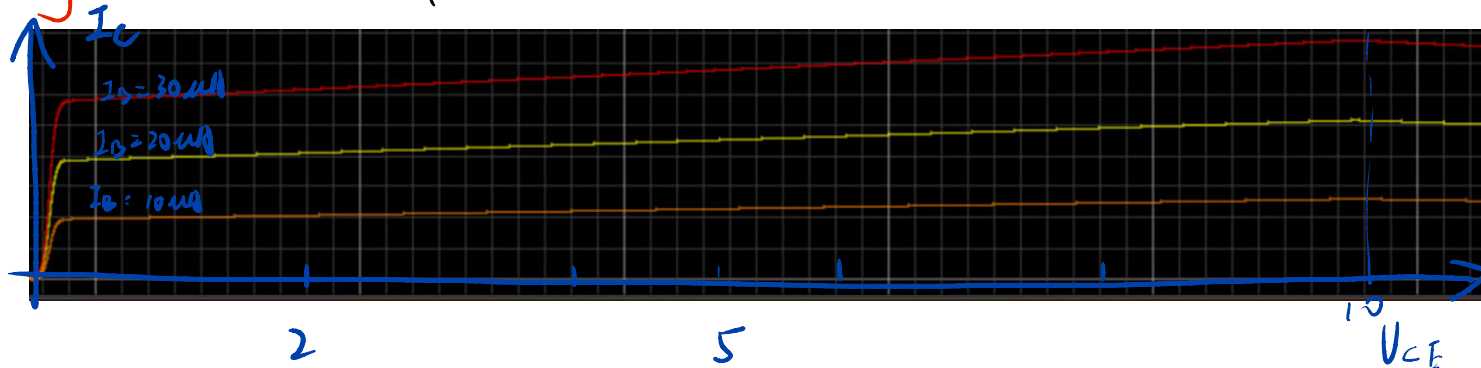
I_C

I_C 来源于仿真

$I_B \backslash V_{CE}$	1	2	5	10
10 μA	0.99 mA	1.03 mA	1.128 mA	1.293 mA
20 μA	1.98 mA	2.06 mA	2.25 mA	2.58 mA
30 μA	2.97 mA	3.06 mA	3.32 mA	3.87 mA



Nearly



$$I_B = 10 \mu A : h_{22} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} = \frac{(1.293 - 1.03) \text{ mA}}{8 \text{ V}} \rightarrow \frac{1}{h_{22}} = 30.4 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 20 \mu A : h_{22} = \frac{2.58 - 2.06}{8} = \rightarrow \frac{1}{h_{22}} = 15.4 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 30 \mu A : h_{22} = \frac{3.87 - 3.06}{8} = \rightarrow \frac{1}{h_{22}} = 9.9 \text{ k}\Omega$$

$$Q_3: \begin{cases} V_{BE} = h_{11} I_B + h_{12} V_{CE} \\ I_C = h_{21} I_B + h_{22} V_{CE} \end{cases} \quad \rightarrow \begin{cases} i_B \\ V_{CE} \end{cases} \quad \leftarrow \begin{cases} i_C \\ V_{BE} \end{cases}$$

$$h_{22} = \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} =$$

$$h_{11} = \frac{V_{BE}}{I_B} \quad I_B \neq I_S \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right)$$

$$\frac{1}{h_{11}} = \frac{\partial I_B}{\partial V_{BE}} = I_S \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right) \cdot \frac{1}{U_T} = \frac{I_B}{U_T} \Rightarrow h_{11} = \frac{U_T}{I_B}$$

petite signal, donc, on peut penser que : $i_B = \frac{V_{be}}{h_{11}}$

Mais, en réel : $I_B \neq I_S \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right)$

$$i_B \neq I_S \exp\left(\frac{V_{BE} + V_{be}}{U_T}\right) - I_S \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right)$$

$$= I_S \left(\exp\left(\frac{V_{be}}{U_T}\right) - 1 \right) \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right)$$

Taylor expansion: $f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!} (x - x_0)$

$$e^x = 1 + x + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{6}x^3$$

$$= I_S \left[\frac{V_{be}}{U_T} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_{be}}{U_T} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{V_{be}}{U_T} \right)^3 \dots \right] \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right)$$

$$= I_B \left[\frac{V_{be}}{U_T} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_{be}}{U_T} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{V_{be}}{U_T} \right)^3 \dots \right]$$

$$SI \neq I_B \frac{V_{be}}{U_T} \Rightarrow i_B = \frac{V_{be}}{h_{11}}$$

$$\text{donc, } \frac{V_{be}}{U_T} \gg \frac{1}{2} \left(\frac{V_{be}}{U_T} \right)^2$$

$V_{be, \max}$ pour avoir erreur relative de 10%

$$\frac{V_{be, \max}}{U_T} \geq 10 \frac{1}{2} \left(\frac{V_{be, \max}}{U_T} \right)^2$$

$$\Rightarrow V_{be, \max} \leq \frac{U_T}{5} \neq 5 \text{ mV} \quad (1\% \rightarrow 0.5 \text{ mV})$$