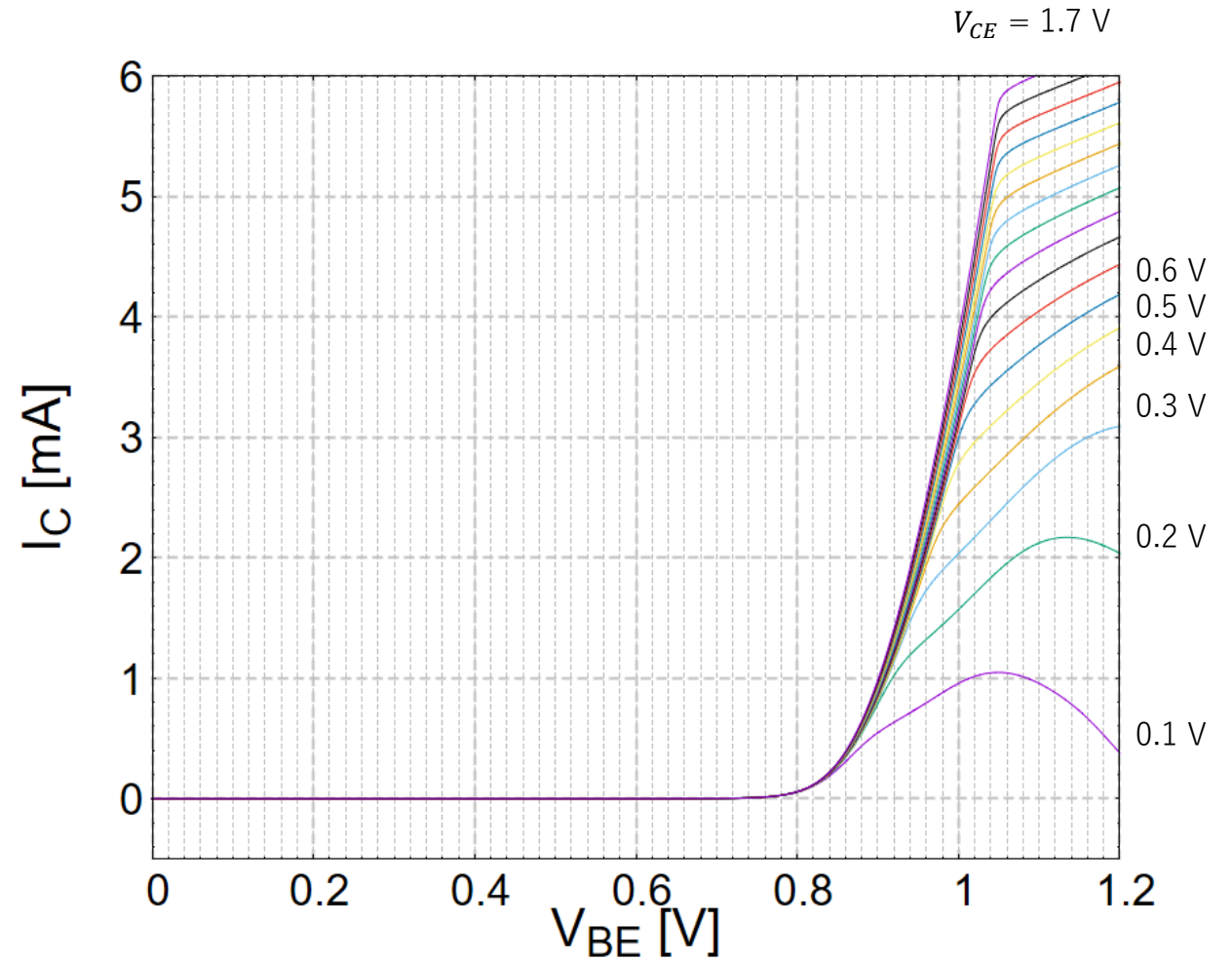
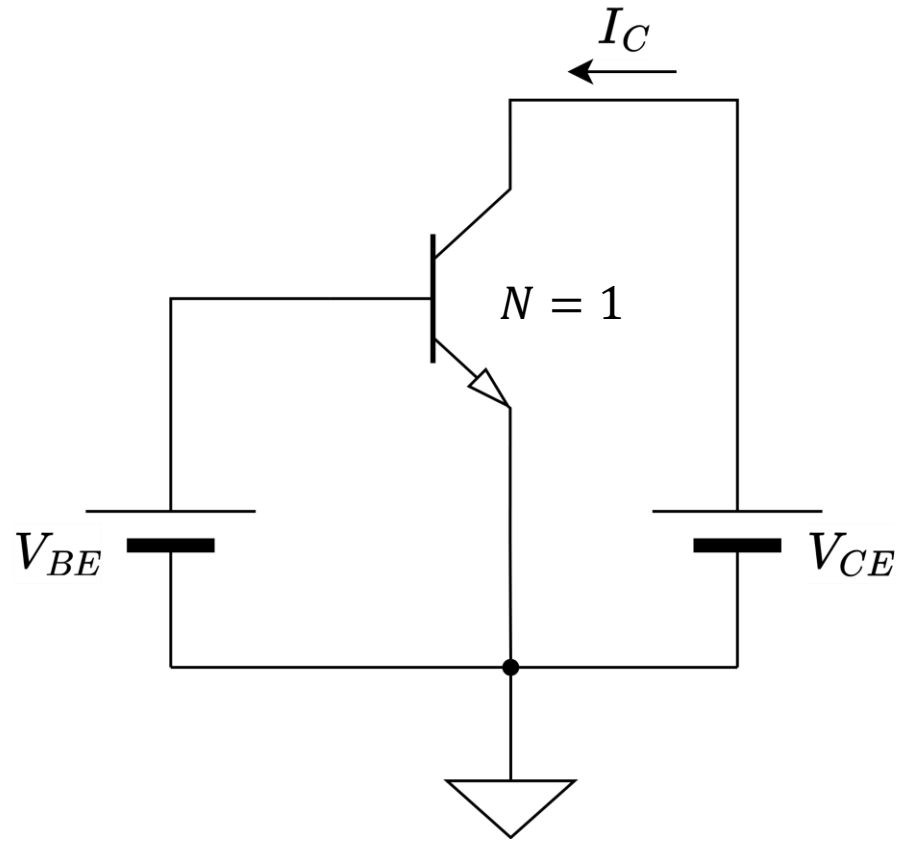


リザバミューティング HJTの I_C - V_{BE} 特性と乗算回路の設計

2024/04/11

$I_C - V_{BE}$ 特性



V_{CE} を0.1 Vずつ変化させたときの $I_C - V_{BE}$ 特性。

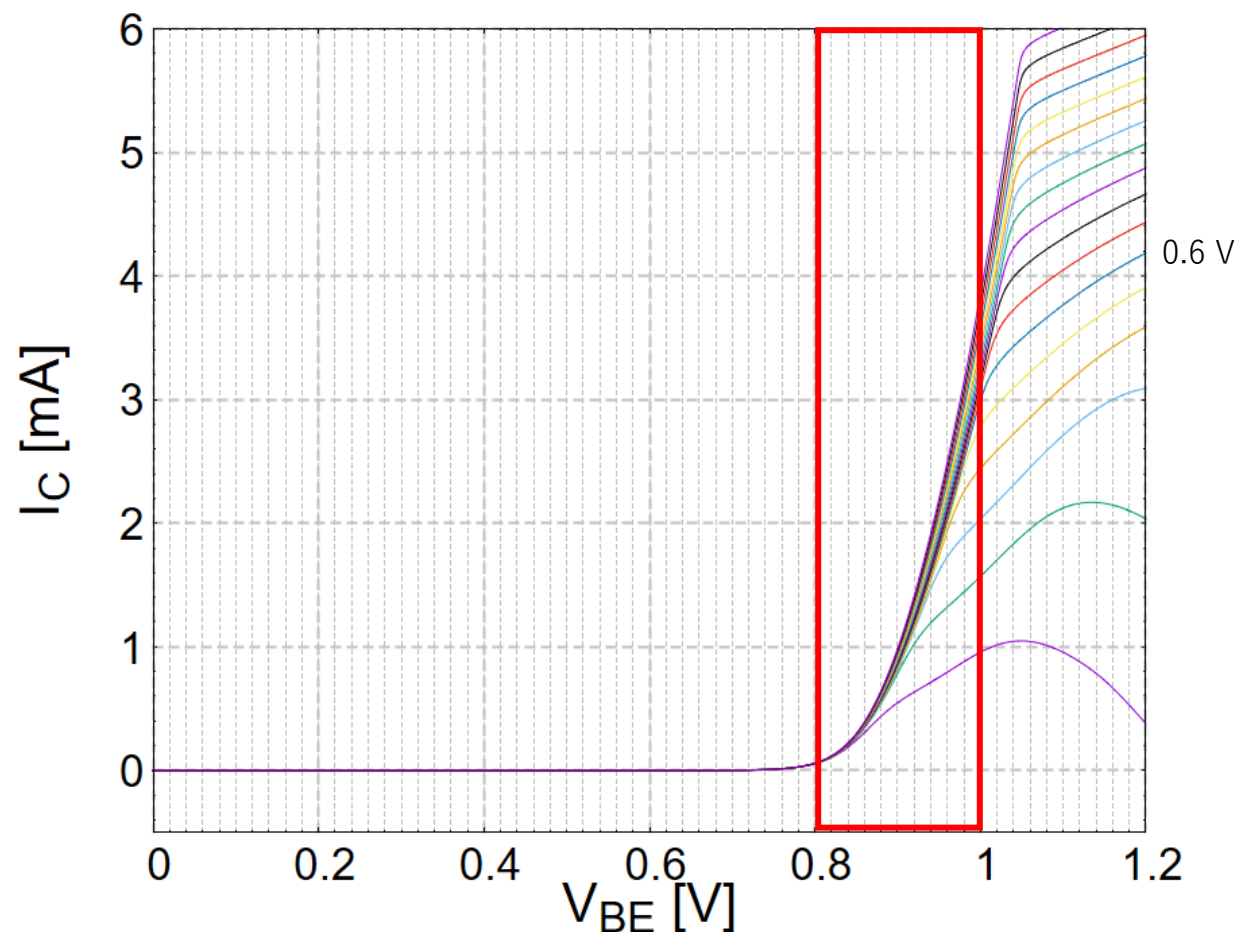
$I_C - V_{BE}$ 特性

今回は0.9 Vから0.01 Vだけ大きい0.91 Vまでで考えた。

急激に傾きが減少する点が1 Vよりも大きくなる
 $0.6\text{ V} < V_{CE}$ で $0\text{ V} \leq V_{BE} \leq 0.91\text{ V}$ の範囲においてgnuplotのfitコマンドを用いた最小二乗近似を行い、平均をとった。

ターゲットとなる近似式は

$$I_C = I_S \times \left\{ \exp\left(\frac{V_{BE}}{nV_T}\right) - 1 \right\}$$



$I_C - V_{BE}$ 特性

最小二乗近似の結果

$$I_S \approx 373.8222 \text{ fA}$$

$$n \cdot V_T \approx 41.56767 \text{ mV}$$

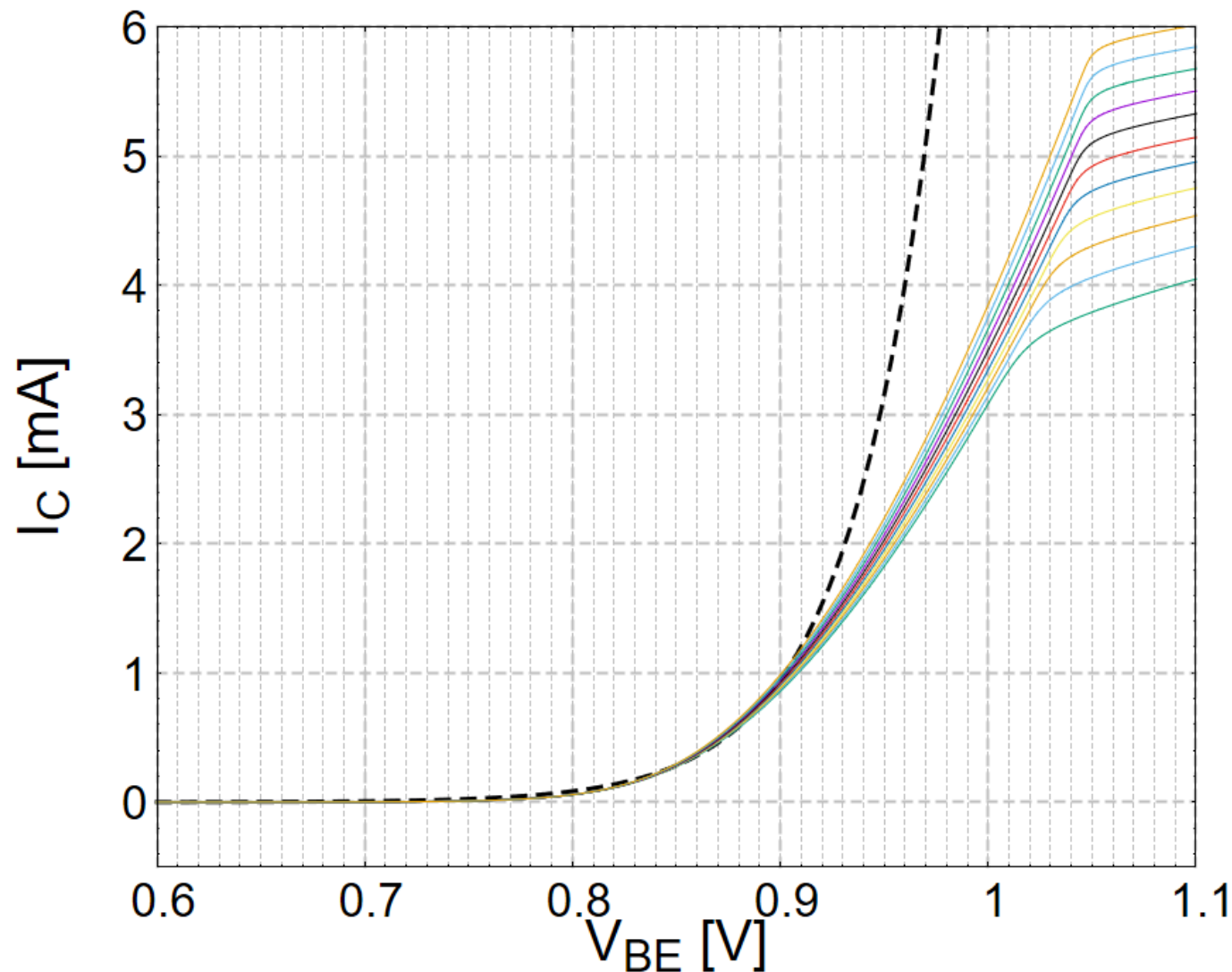
となった。

黒い破線がターゲットとなる関数に上の値を用いた時のプロット。

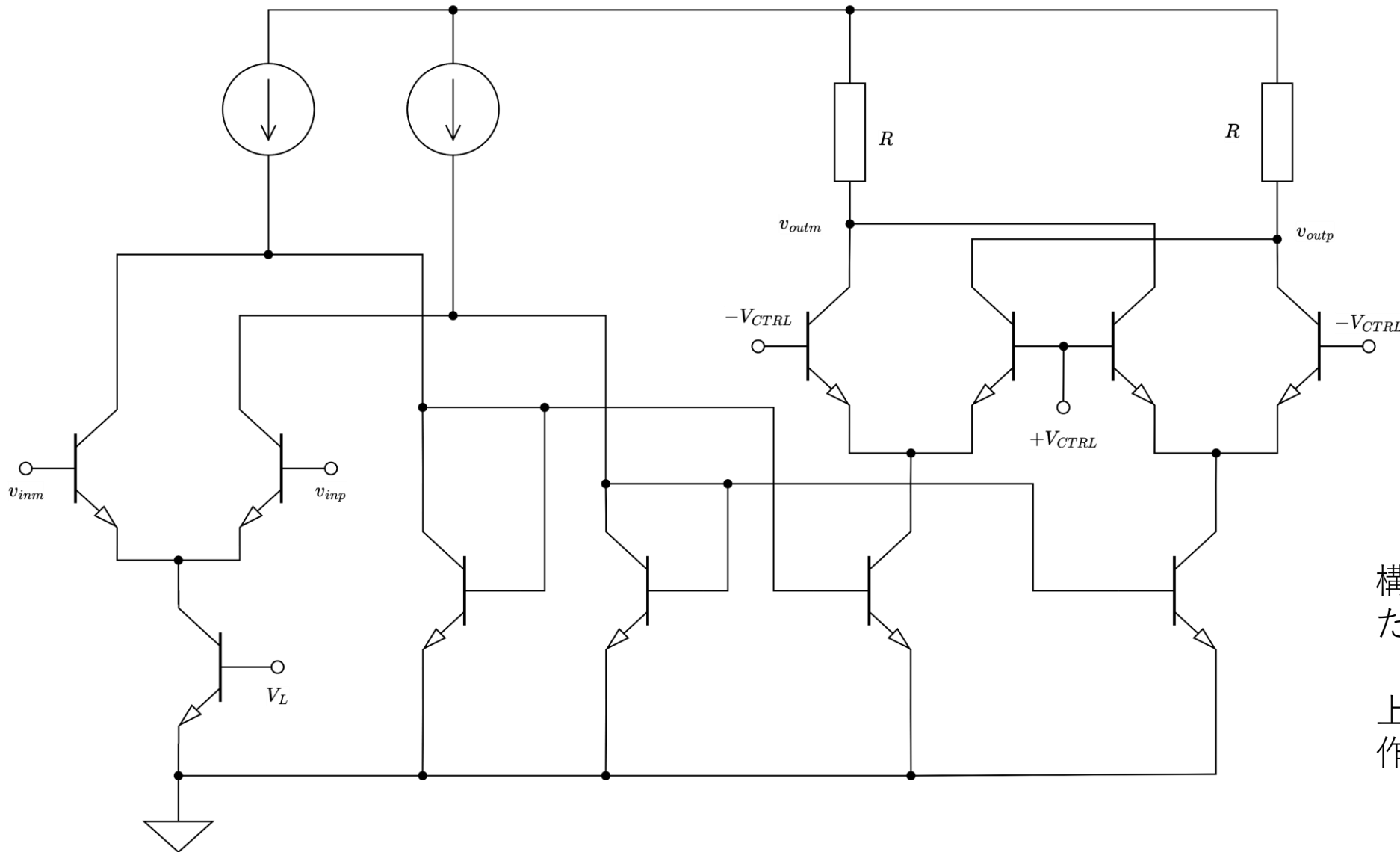
$$(n \cdot V_T \approx 2 \times 20.78383 \dots \text{ mV})$$

$V_{BE} = 0.9 \text{ V}$ 付近では近似曲線とシミュレーションに近い値になる。

かなり元の曲線とずれがあるが、 $V_{BE} = 0.9 \text{ V}$ 付近で使用することを考えれば直流では問題ないと考えて設計を行った。



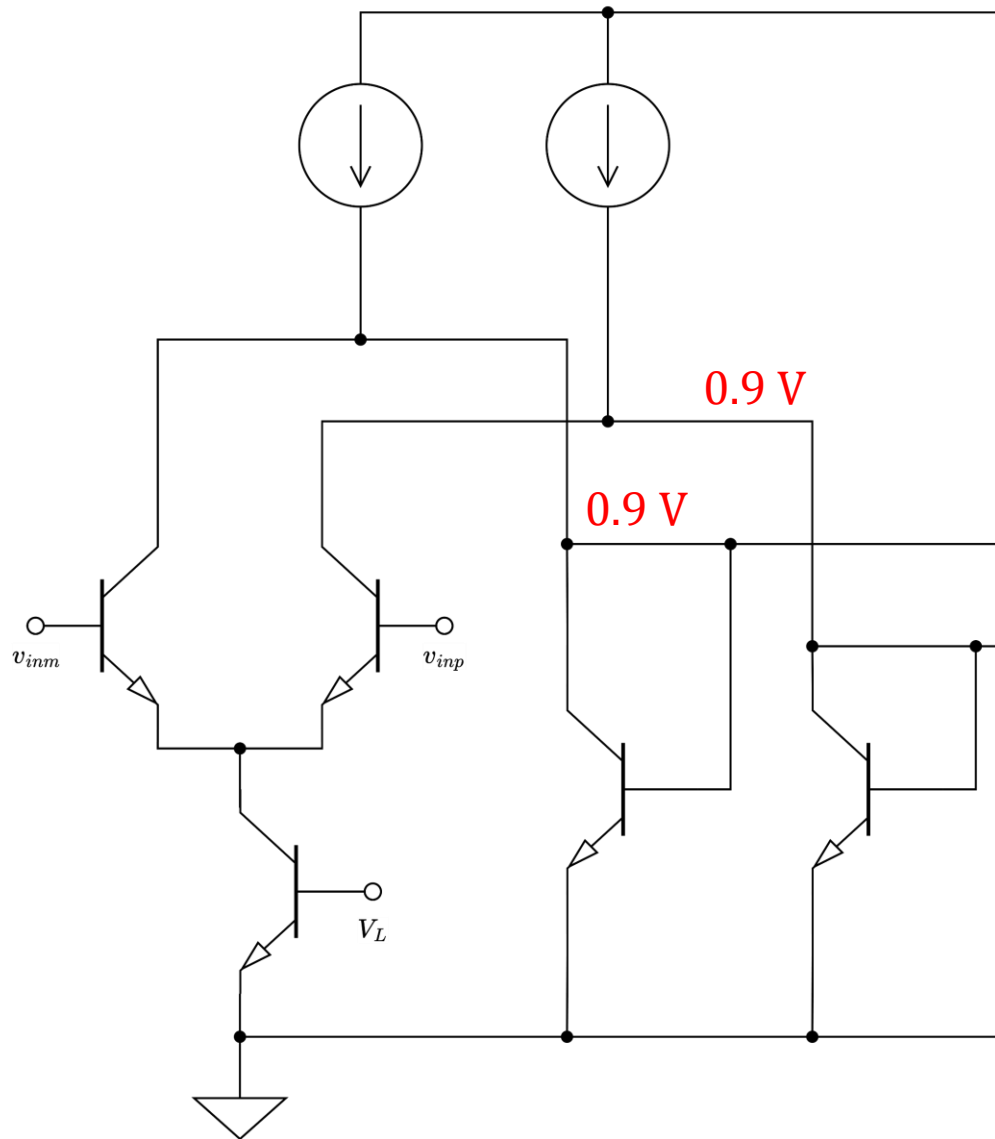
回路構成



構成は以前までの考えていたものと変更なし。

上側の電流源のみmosfetで作ることになると思われる。

直流設計-カレントミラー



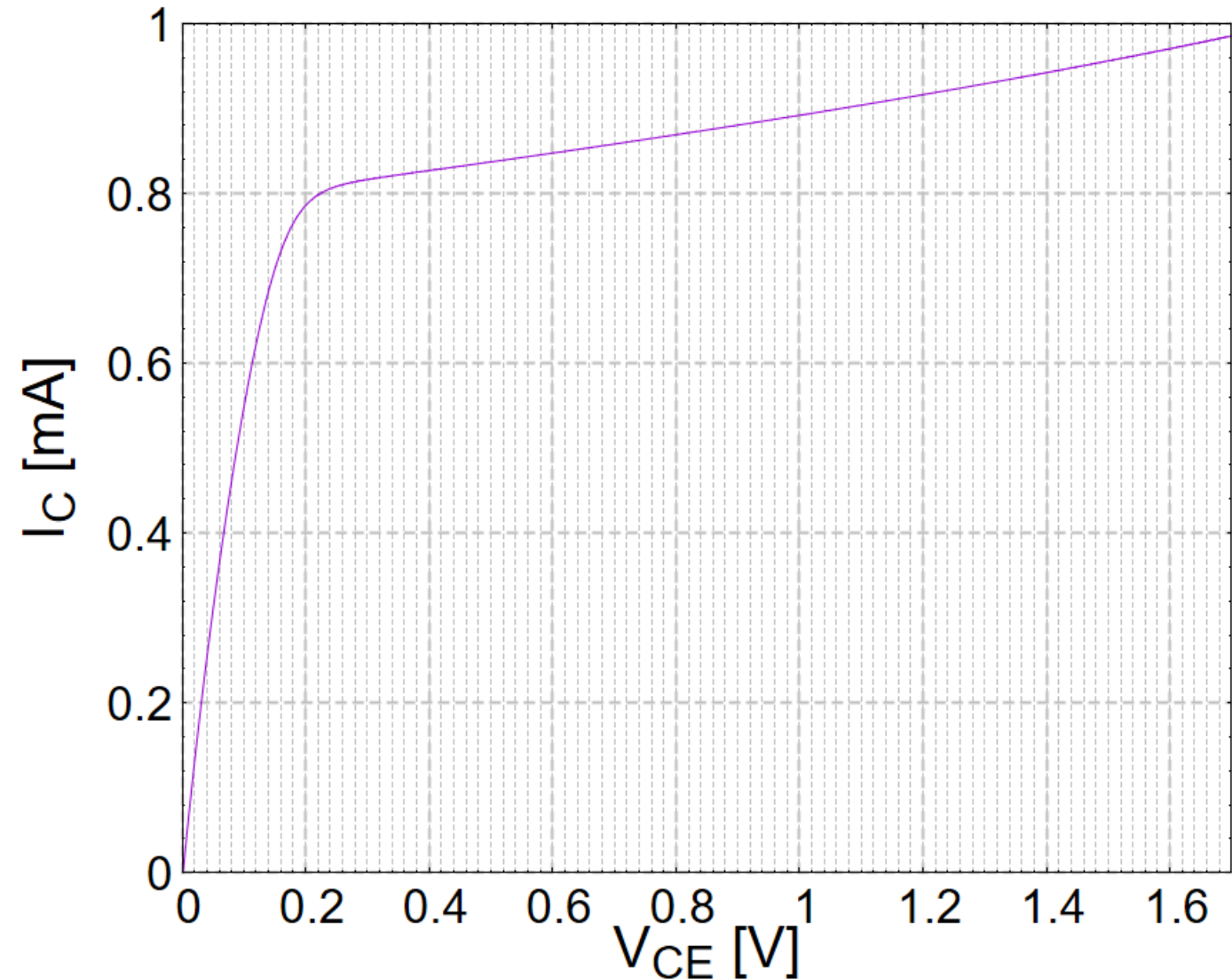
前述のシミュレーションでベースエミッタ間は 0.9 V で使用することとしたのでカレントミラー部分の電位を 0.9 V とする。

直流設計-入力差動対

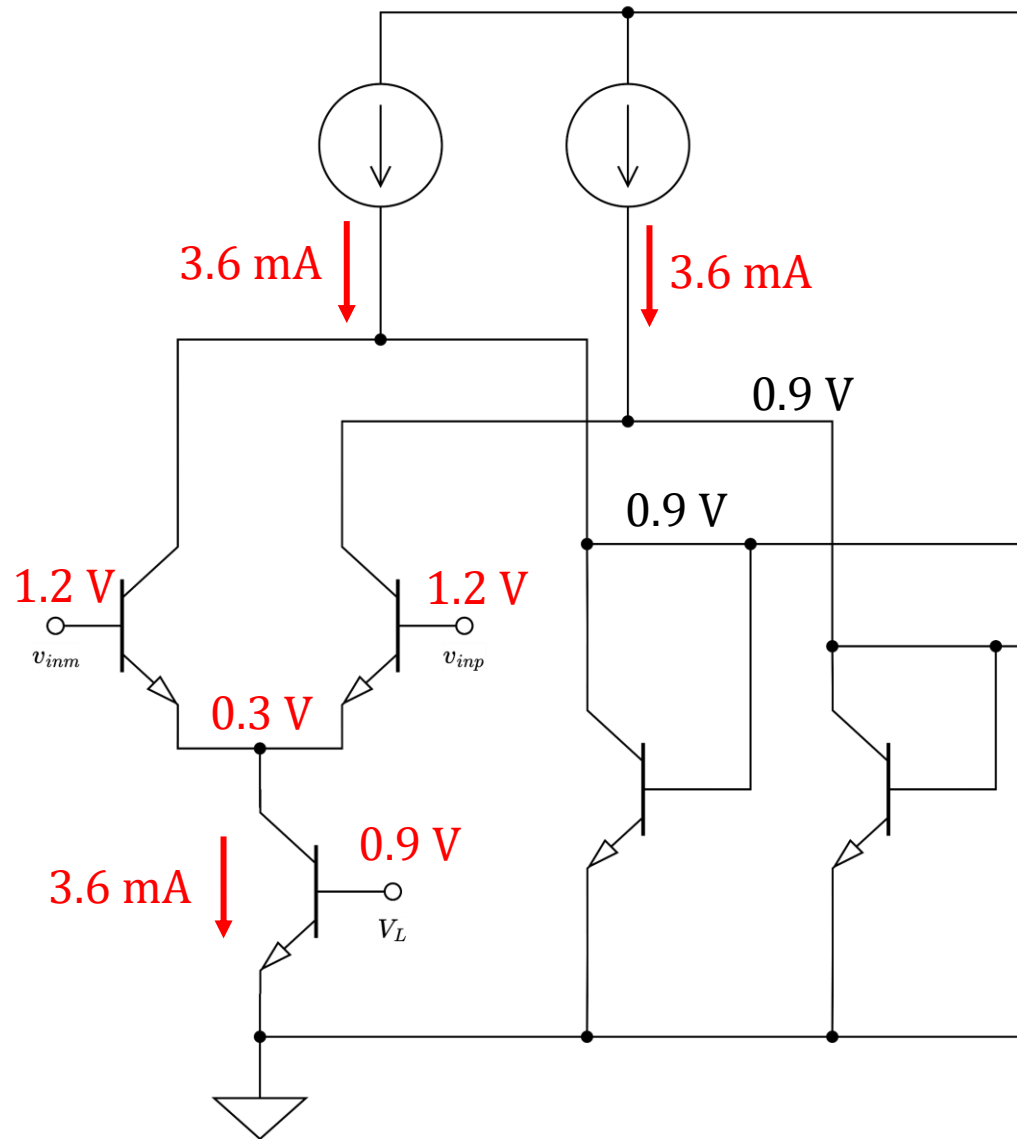
冒頭のエミッタ接地増幅回路における $V_{BE} = 0.9\text{ V}$ の時の $I_C - V_{CE}$ 特性を拡大したグラフを右に示す。

入力差動対の下の電流源について

$V_{CE} > 0.2\text{ V}$ のあたりで $\frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}}$ が小さくなるので、 0.1 V 余裕を見て入力バイポーラのエミッタ電位は 0.3 V とした。



直流設計-入力差動対

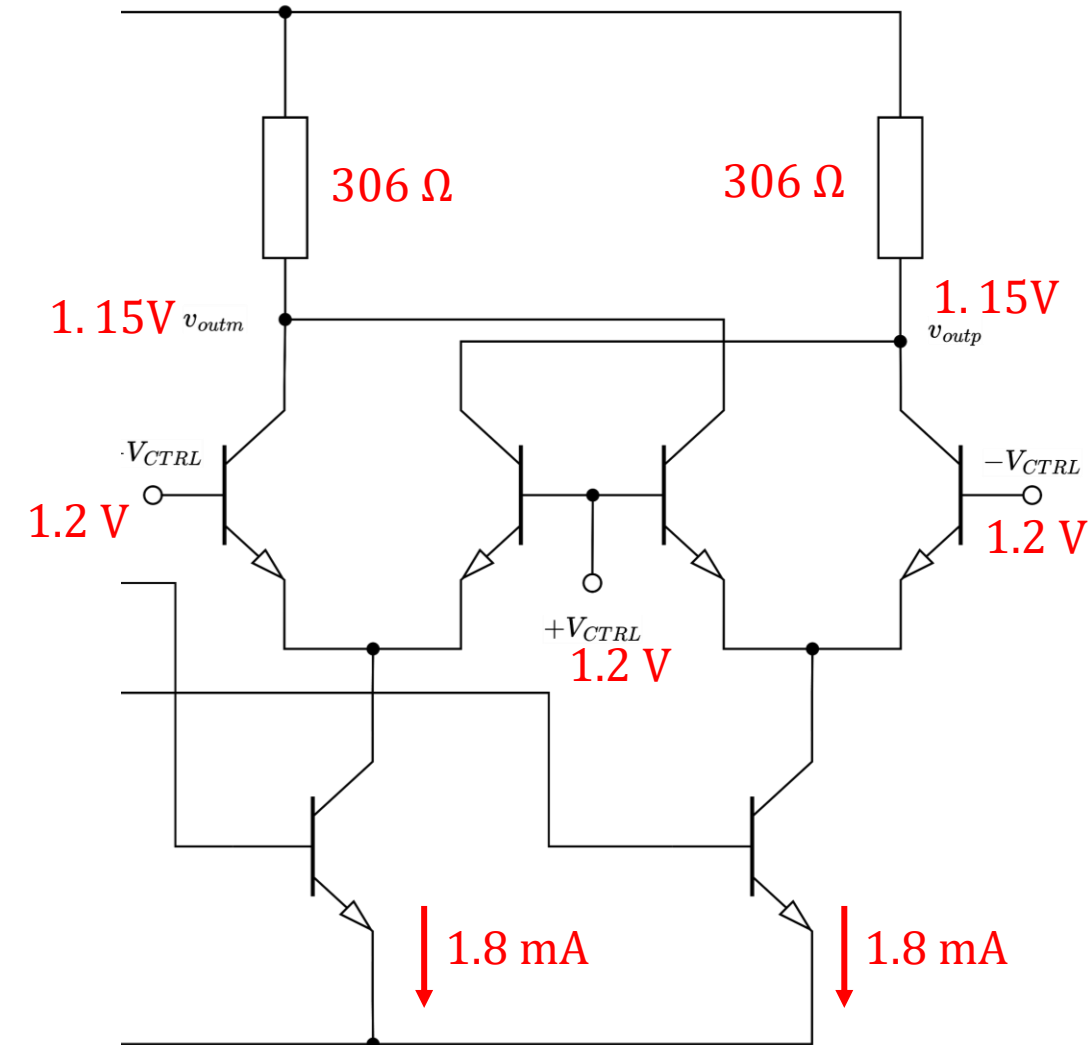


入力差動対のエミッタ端子が 0.3 V と決まったので、ベース電位はそこから 0.9 V 高い 1.2 V となる。

また、この時それぞれのトランジスタに流れる電流は前述の近似値より $945.7294 \dots \mu\text{A}$ となる。

並列数を2にすると倍の電流が流れるはずなので、各トランジスタには約 1.8 mA の電流を流し、電流源にはその倍の約 3.6 mA の電流を流すことにした。

直流設計-出力差動対



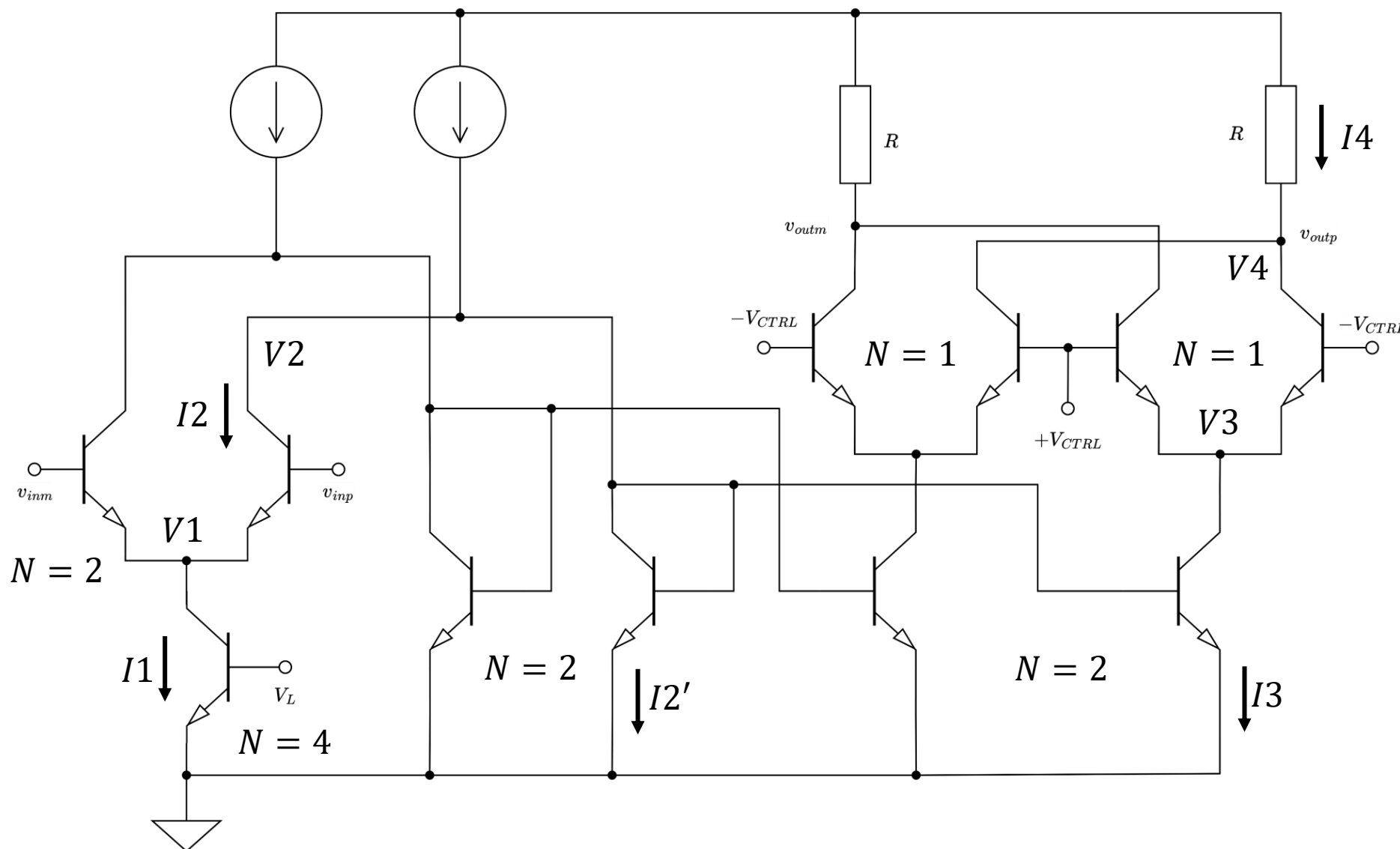
カレントミラーのベース電位は 0.9 V であるので、同様にしてカレントミラーに流れる電流は同じく約 1.8 mA である。この部分並列数は2としている。

入力差動対での議論と同様にカレントミラーのコレクタ端子は 0.3 V とすれば、出力側の差動対の入力は直流で 1.2 V となる。

さらに、出力端子は差動対のコレクタ-エミッタ間電圧を 0.3 V とすれば出力電位の下限は 0.6 V となる。

無入力時、負荷抵抗には 1.8 mA の電流が流れるので、出力電位が電源(1.7 V)と差動対のコレクタ電位(0.6 V)の間になるようにすると、抵抗値は $305.555\dots \approx 306\ \Omega$ となる。

シミュレーション結果-直流解析



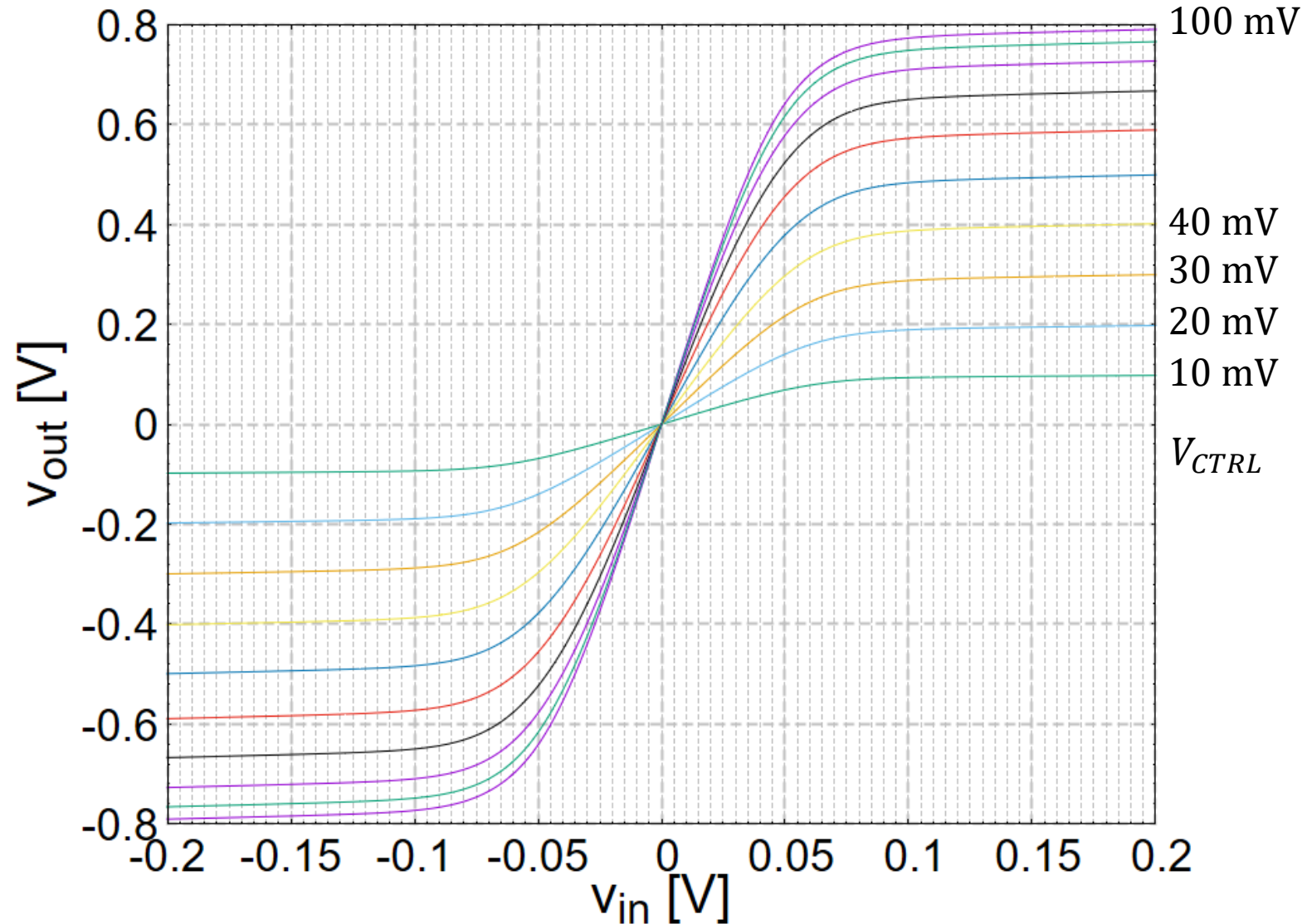
	設計値	シミュレーション
V1	0.3 V	0.3022 V
V2	0.9 V	0.9054 V
V3	0.3 V	0.2987 V
V4	1.15 V	1.151 V
I1	3.6 mA	3.278 mA
I2	1.8 mA	1.635 mA
I2'	1.8 mA	1.955 mA
I3	1.8 mA	1.798 mA
I4	1.8 mA	1.793 mA

倍率は167.485...倍
(44.4795... dB)

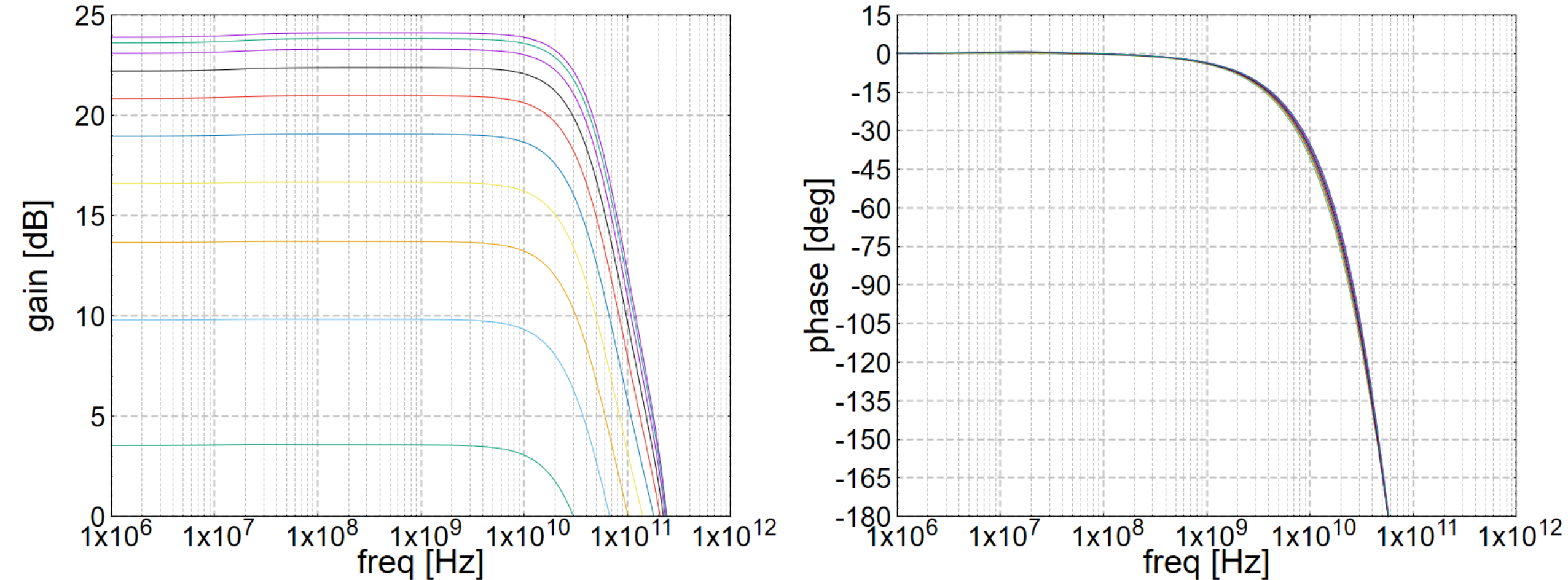
シミュレーション結果-直流解析

乗算ができていることがわかる。
入力は $\pm 50 \text{ mV}$ 程度、制御電圧は
 $0 \text{ V} \leq V_{CTRL} \leq 0.7 \text{ V}$ 程度まで線形に
見える。

設計の時、出力の端子は 0.6 V から
電源電圧まで振れる想定だったの
で、 1.1 V まで出るはずだが、出力
範囲はそれよりも小さかった。



シミュレーション結果-交流解析



利得的には遮断周波数は30 GHz程度。しかし、位相遅れが先に大きくなる。10 GHzではおよそ38 deg程度。

$V_{CTRL} = 0.01 V (= -40 \text{ dB})$ の時44.4795... - 40 \approx 4.5 dBとおおよそ計算通りの出力が得られている。