

演算増幅器設計の詳細と シミュレーション

B4 小島光

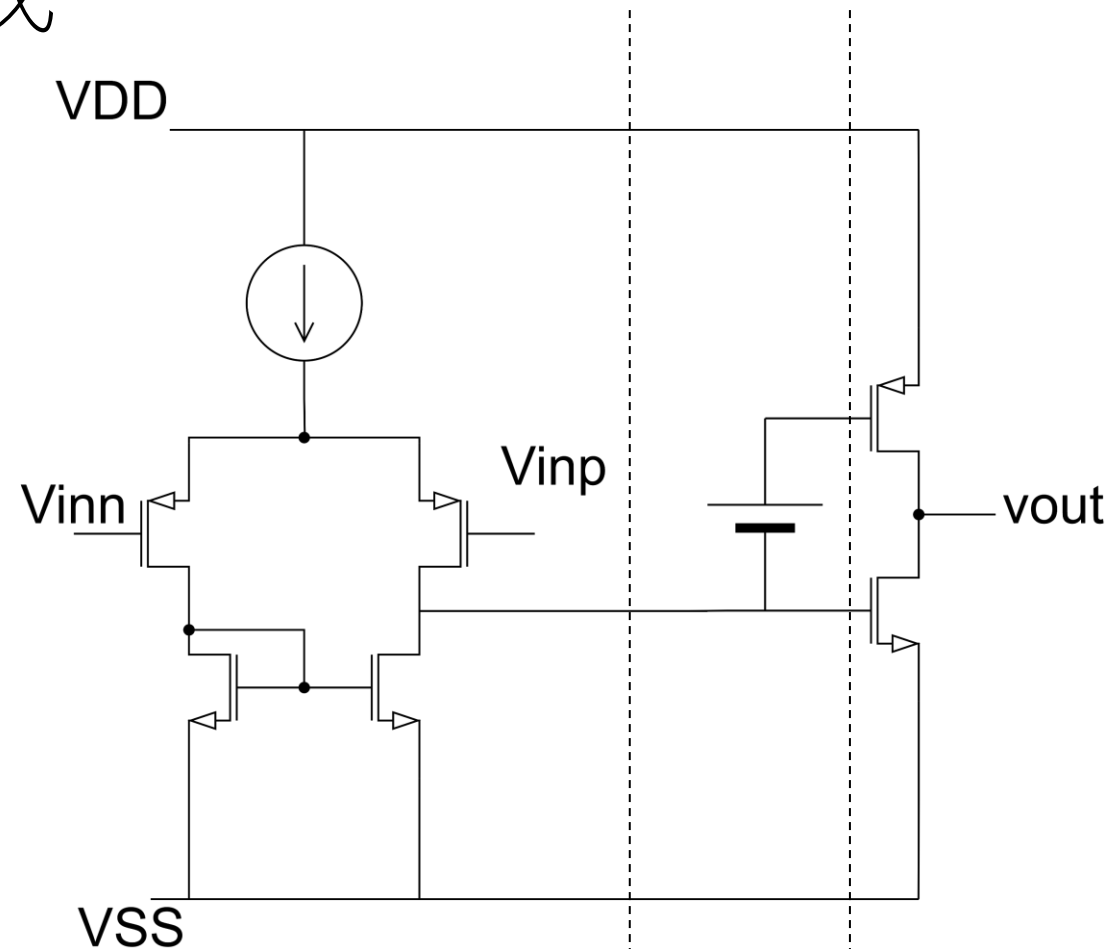
目次

1. 目的
2. 回路構成
3. 各段の詳細
4. シミュレーション

1.目的

- 演算増幅器コンテストに向けて
- シミュレーションの部のために

2.回路構成

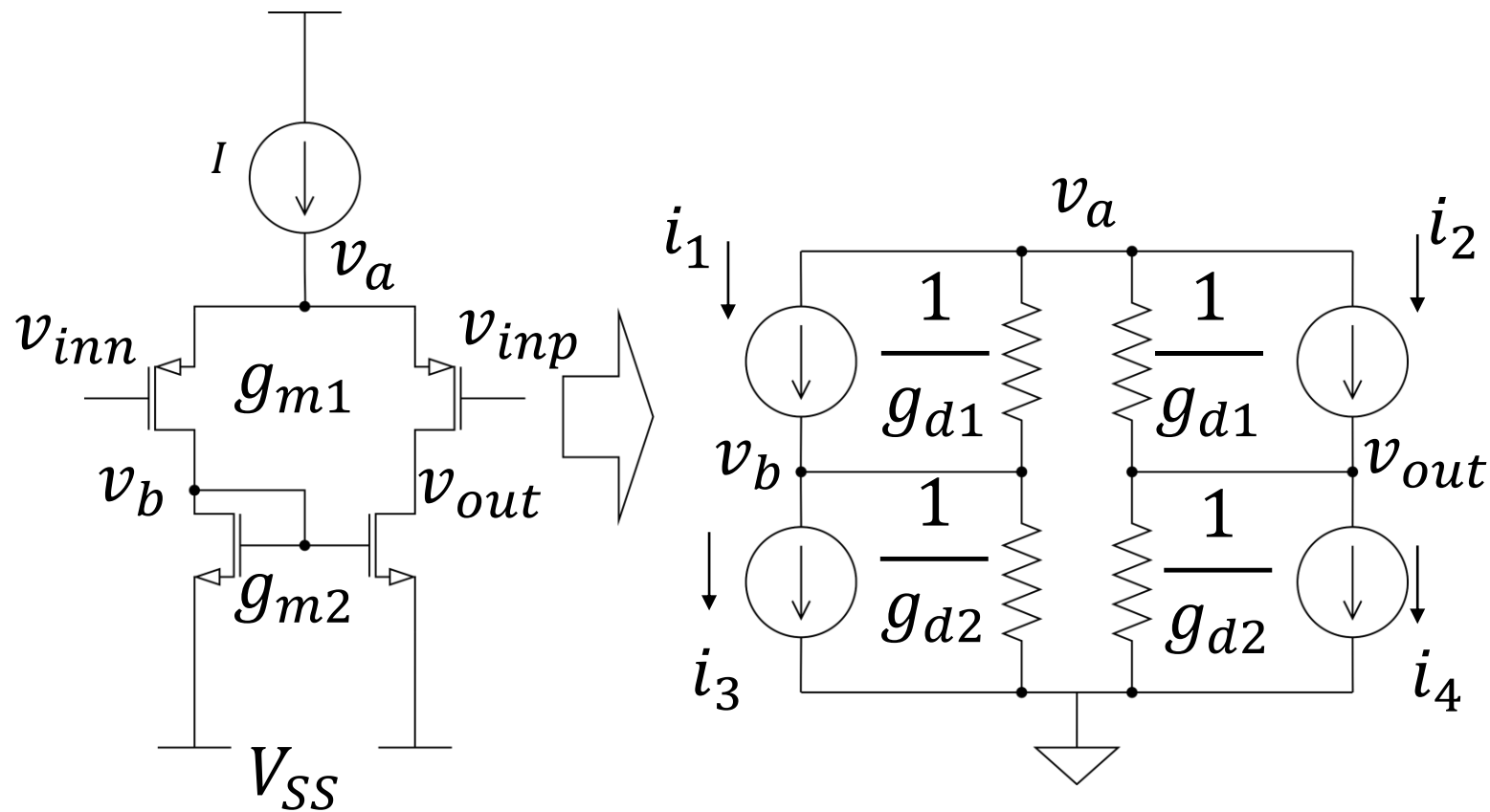


差動増幅回路

レベルシフタ

AB級出力段

3.1 差動增幅回路



$$i_1 = g_{m1}(v_a - v_{inn})$$

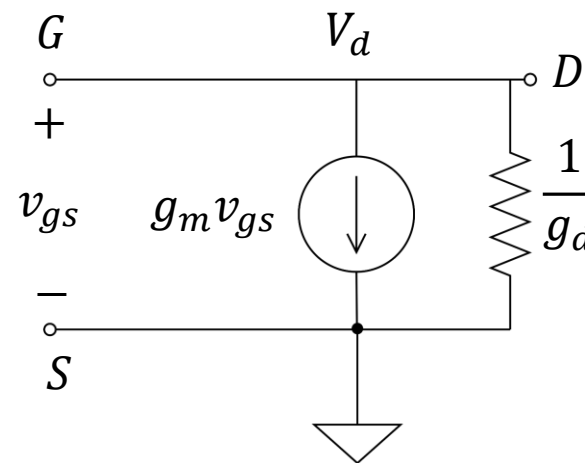
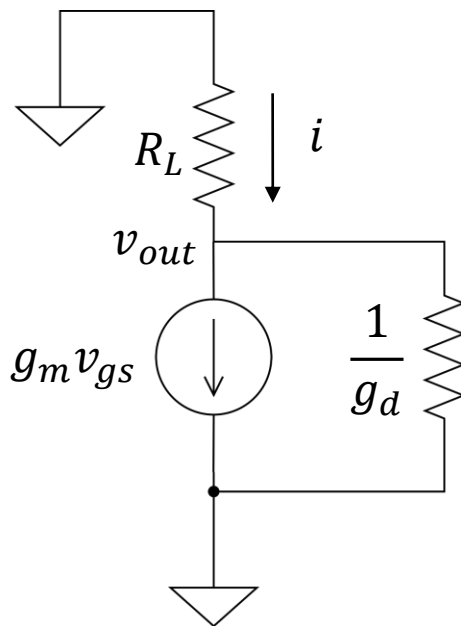
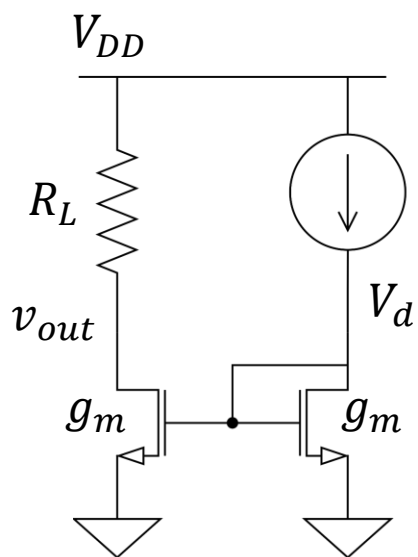
$$i_2 = g_{m1}(v_a - v_{inp})$$

$$i_3 = g_{m2}(v_b - V_{SS})$$

$$i_4 = g_{m2}(v_b - V_{SS})$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_{m1}}{g_{d1} + g_{d2}}$$

3.2 能動負荷



$$v_{gs} = V_d$$

$$g_m v_{gs} + g_d v_{out} = i$$

$$v_{out} = \frac{i - g_m V_d}{g_d}$$

g_d 減 \Rightarrow ソース電位が動きやすい
 \Rightarrow 利得増

3.3 チャンネル長と g_d

V_{ds} が増加したとき、チャンネル長が ΔL だけ短くなったとすると

$$\begin{aligned} I_d &= \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L - \Delta L} (v_{gs} - v_{th})^2 \\ &= \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L \left(1 - \frac{\Delta L}{L}\right)} (v_{gs} - v_{th})^2 \\ &= \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (v_{gs} - v_{th})^2 \cdot \left(1 - \frac{\Delta L}{L}\right)^{-1} \\ &\approx \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (v_{gs} - v_{th})^2 \left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right) = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (v_{gs} - v_{th})^2 (1 + \lambda V_{ds}) \end{aligned}$$

3.3 チャネル長と g_d

ドレイントランスコンダクタンス g_d は以下で定義される

$$g_d = \frac{\partial I_d}{\partial V_{ds}}$$

$$I_d = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (v_{gs} - v_{th})^2 \cdot (1 + \lambda V_{ds}) \text{ であるので}$$

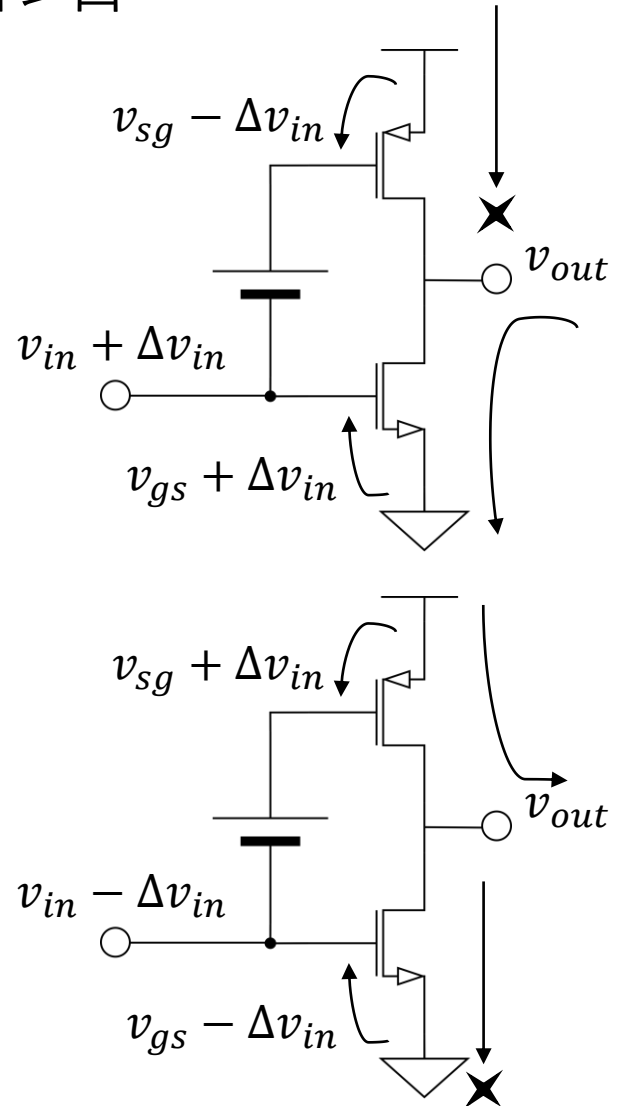
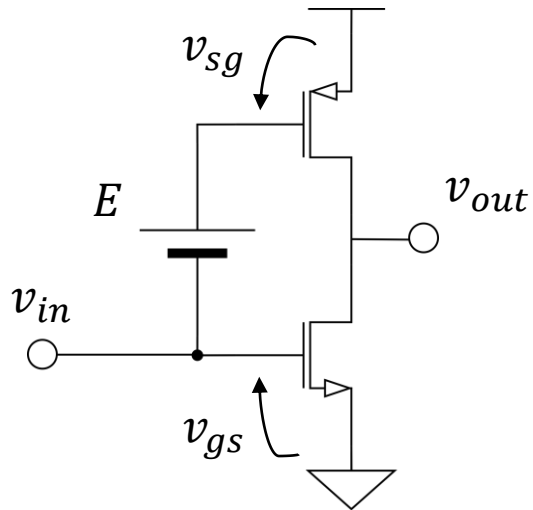
$$\therefore \frac{\partial I_d}{\partial V_{ds}} = \lambda \cdot \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (v_{gs} - v_{th})^2 = \frac{\lambda I_d}{1 + \lambda V_{ds}} \approx \lambda I_d = g_d$$

3.3 チャンネル長と g_d

差動増幅回路の利得を上げるには？

- 作動対の g_m を大きくする
- $\Rightarrow \frac{W}{L}$ 、 v_{gs} 、 v_{ds} を大きくする
- カレントミラーの g_d を小さくする
- $\Rightarrow \frac{L}{W}$ を大きくする

3.4 AB級増幅回路



v_{in} が上下することで
プッシュプルを行う

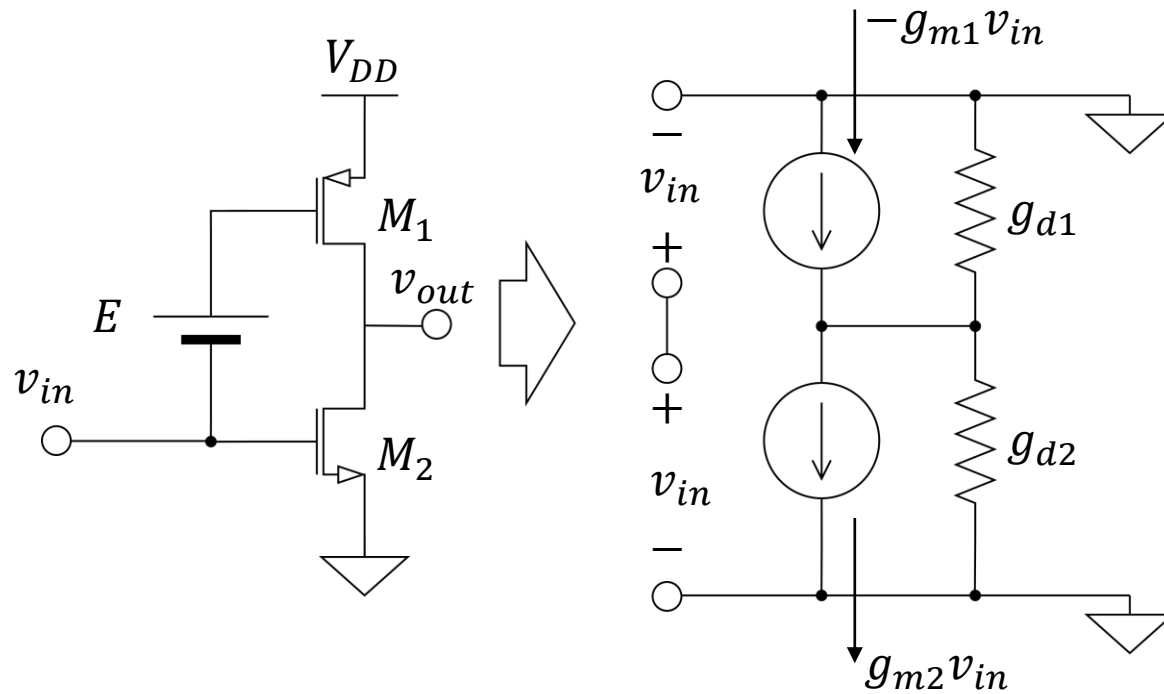
省電力
歪みが少ない

適切な電圧源 E が必要



レベルシフタ

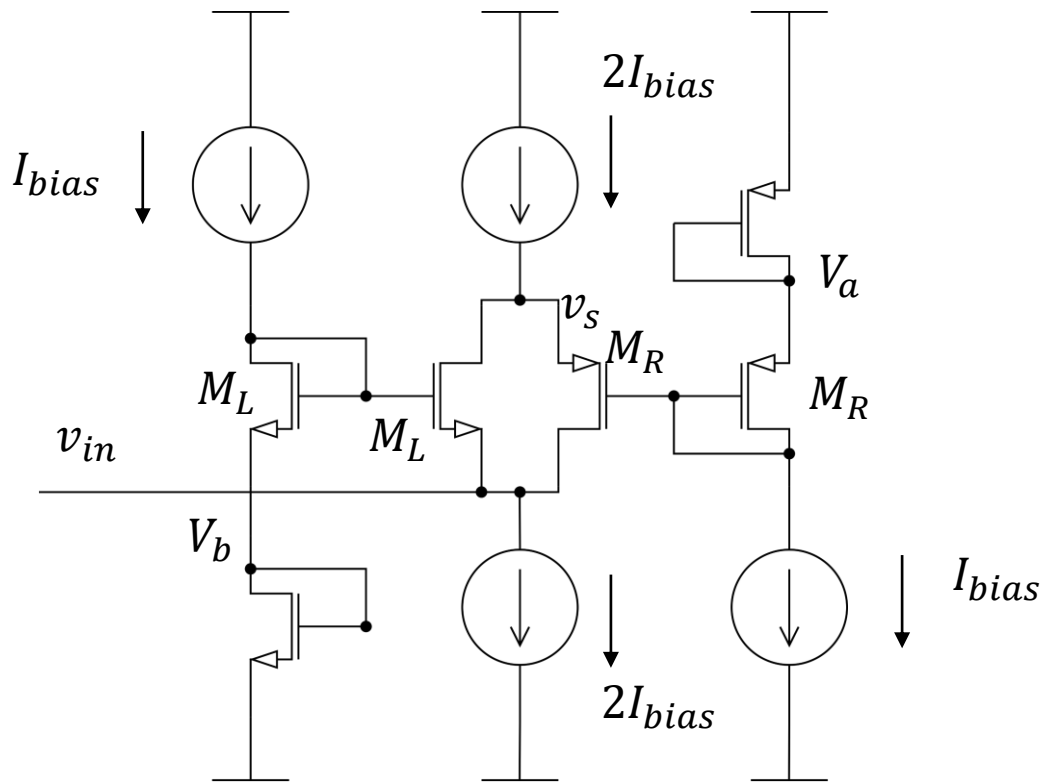
3.4 AB級增幅回路



$$g_{m2}v_{in} + (g_{d1} + g_{d2})v_{out} = g_{m1}v_{in}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_{m1} - g_{m2}}{g_{d1} + g_{d2}}$$

3.5 レベルシフトタ



M_L 、 M_R にそれぞれ I_{bias} が流れる

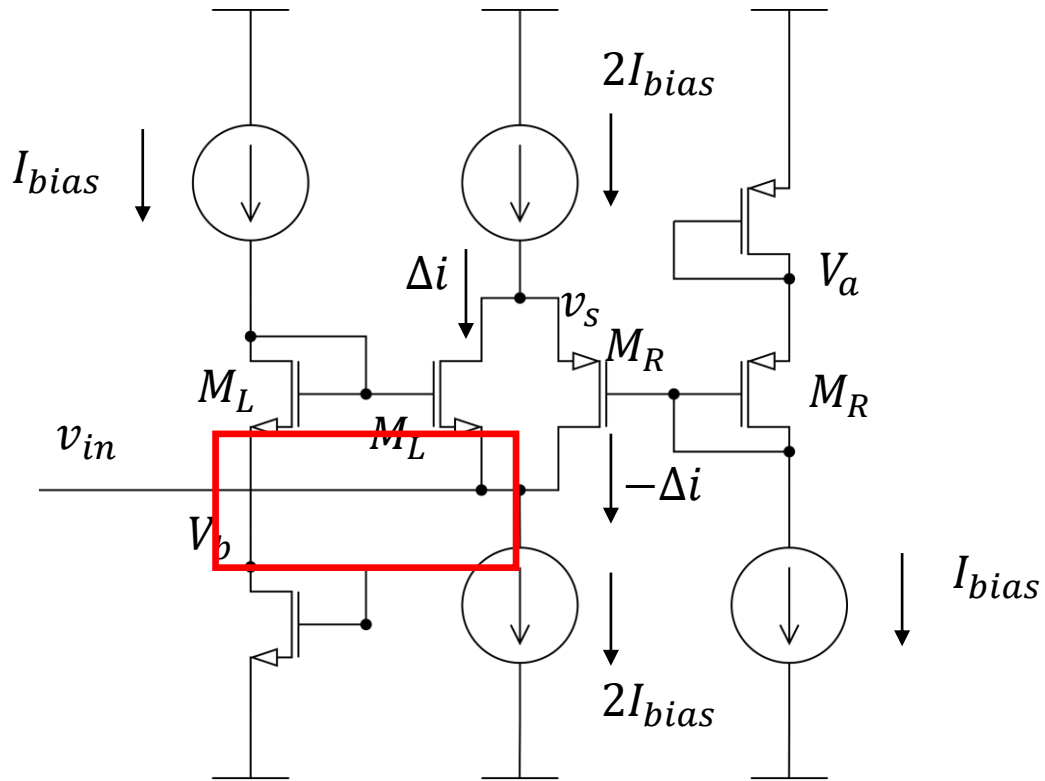
ゲート・ソース間電圧が
それぞれ等しい

$v_{in} = V_b$ 、 $v_s = V_a$ になる

↓

V_a と V_b の電位で電圧源の様に扱える

3.5 レベルシフトタ



課題

シフトの幅が広い

↓

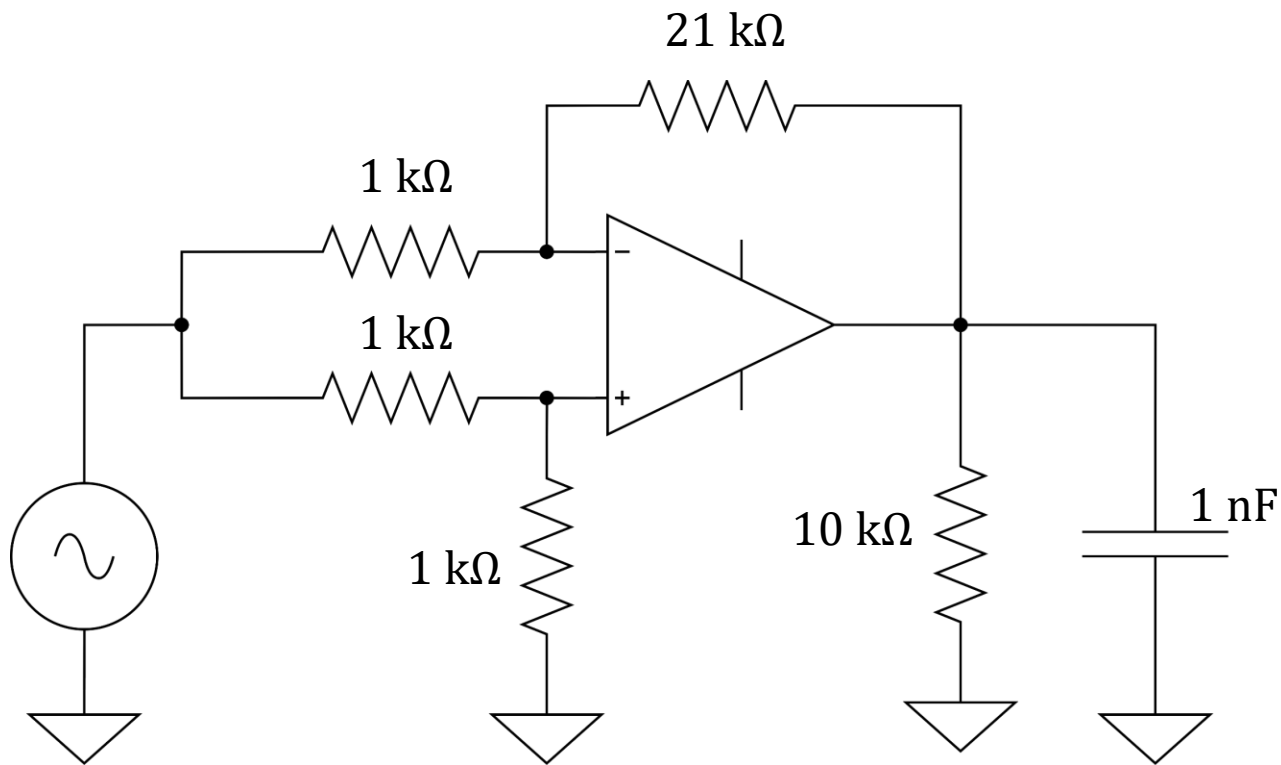
M_L のソース電位が下がる

↓

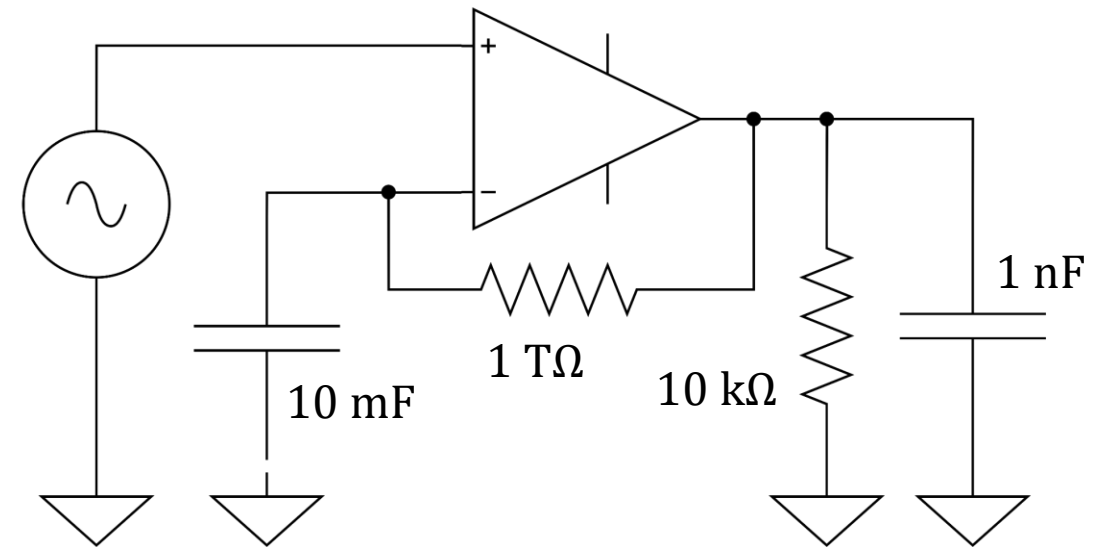
バイアス電流が増大

4 シミュレーション回路

位相余裕・直流利得のみb、
それ以外はaでシミュレーション



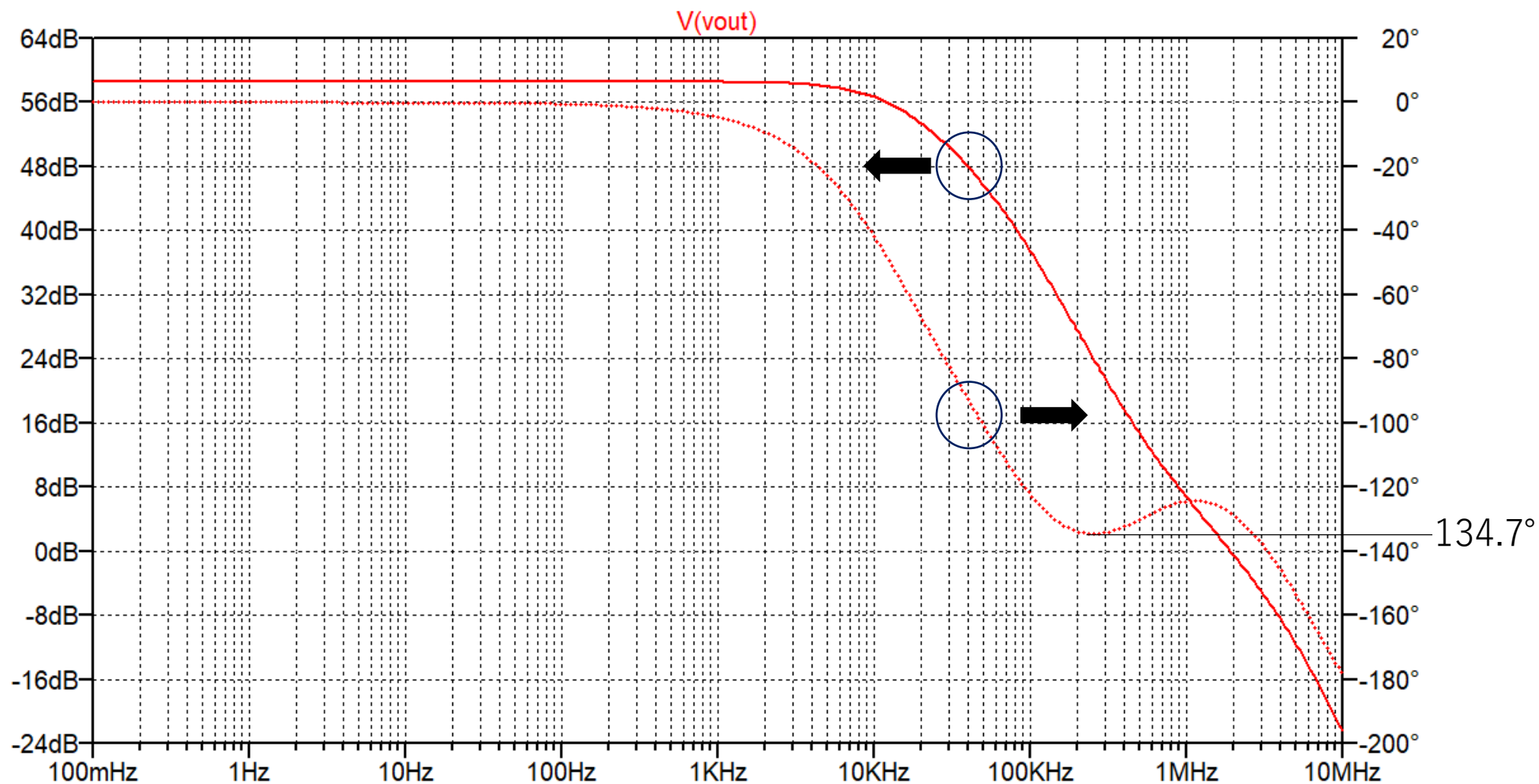
a



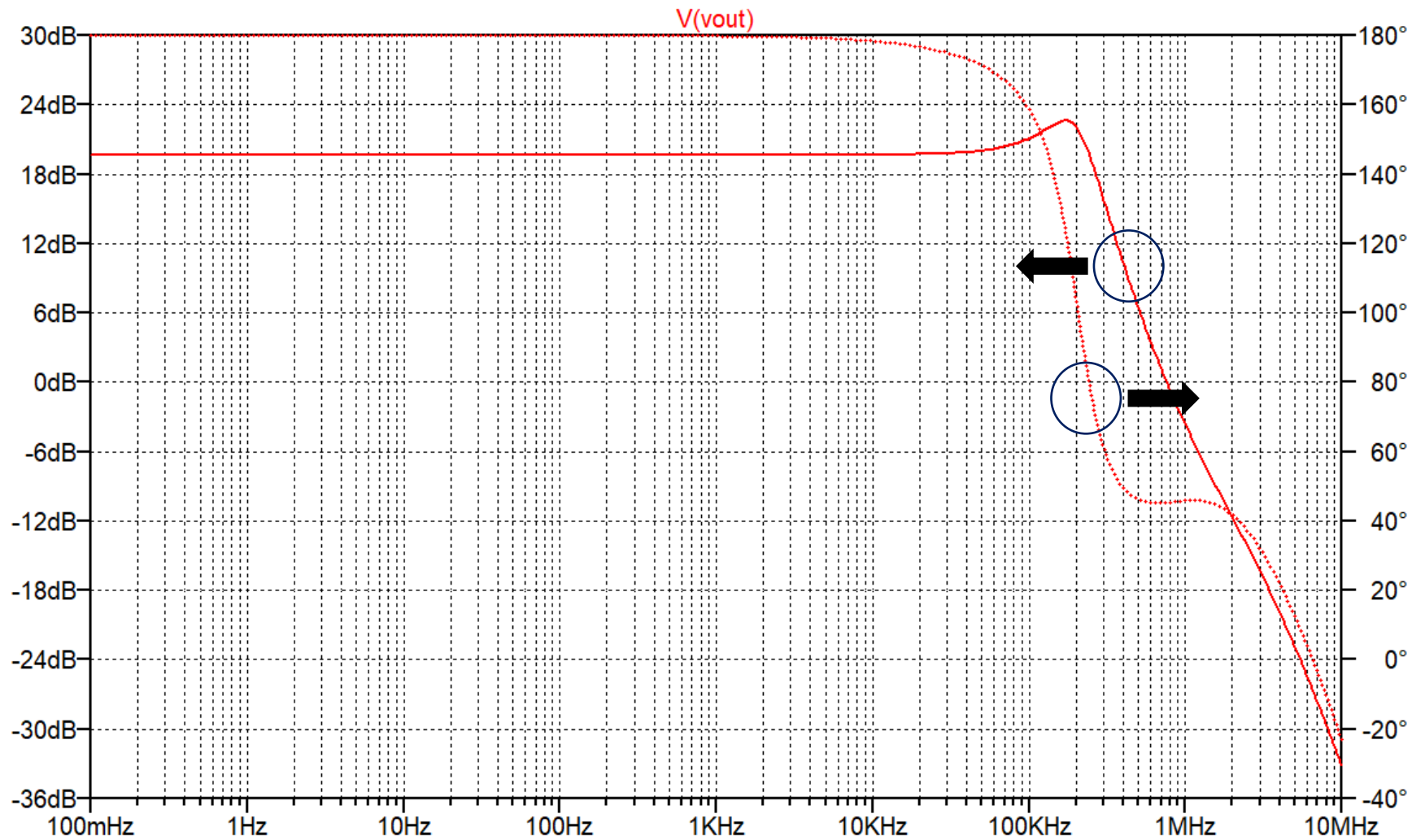
b

4.1 位相余裕、直流利得

約58 dB



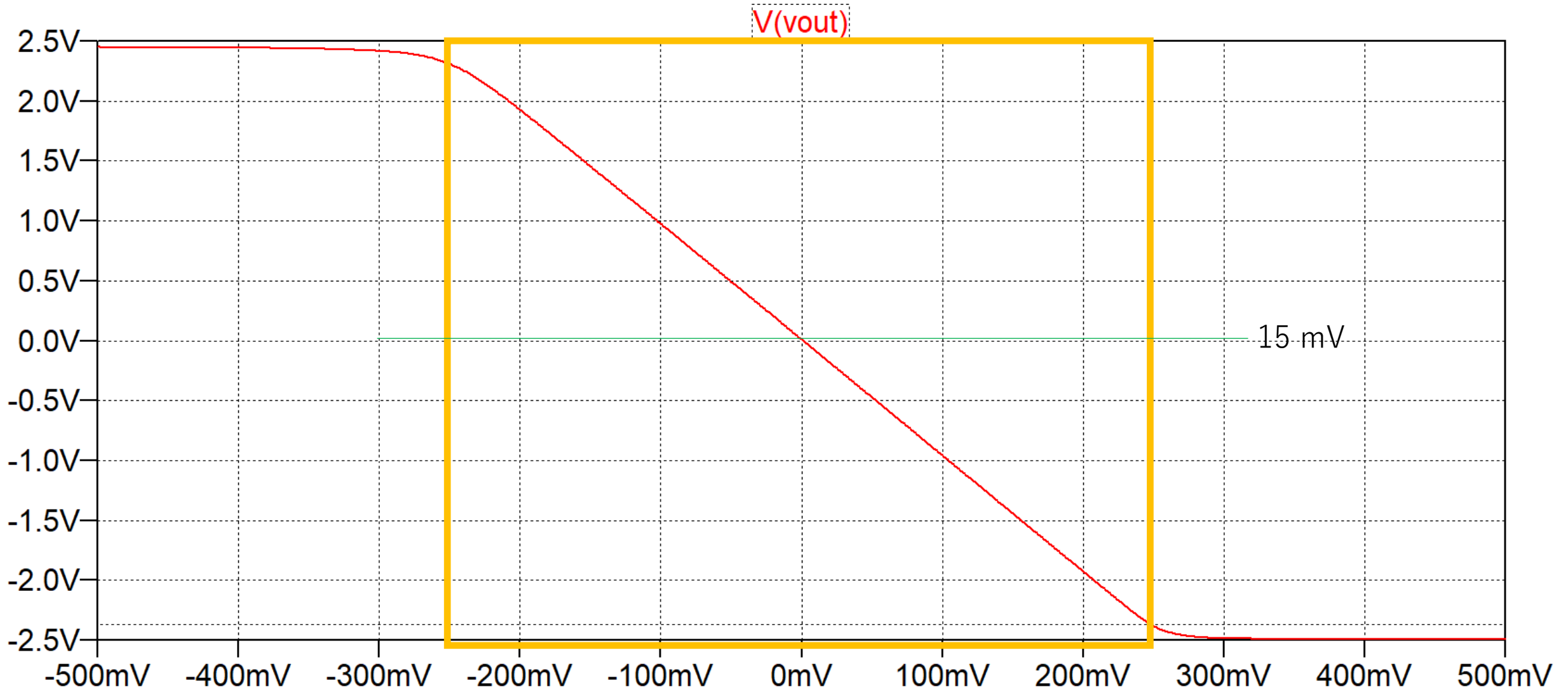
4.2 帯域幅



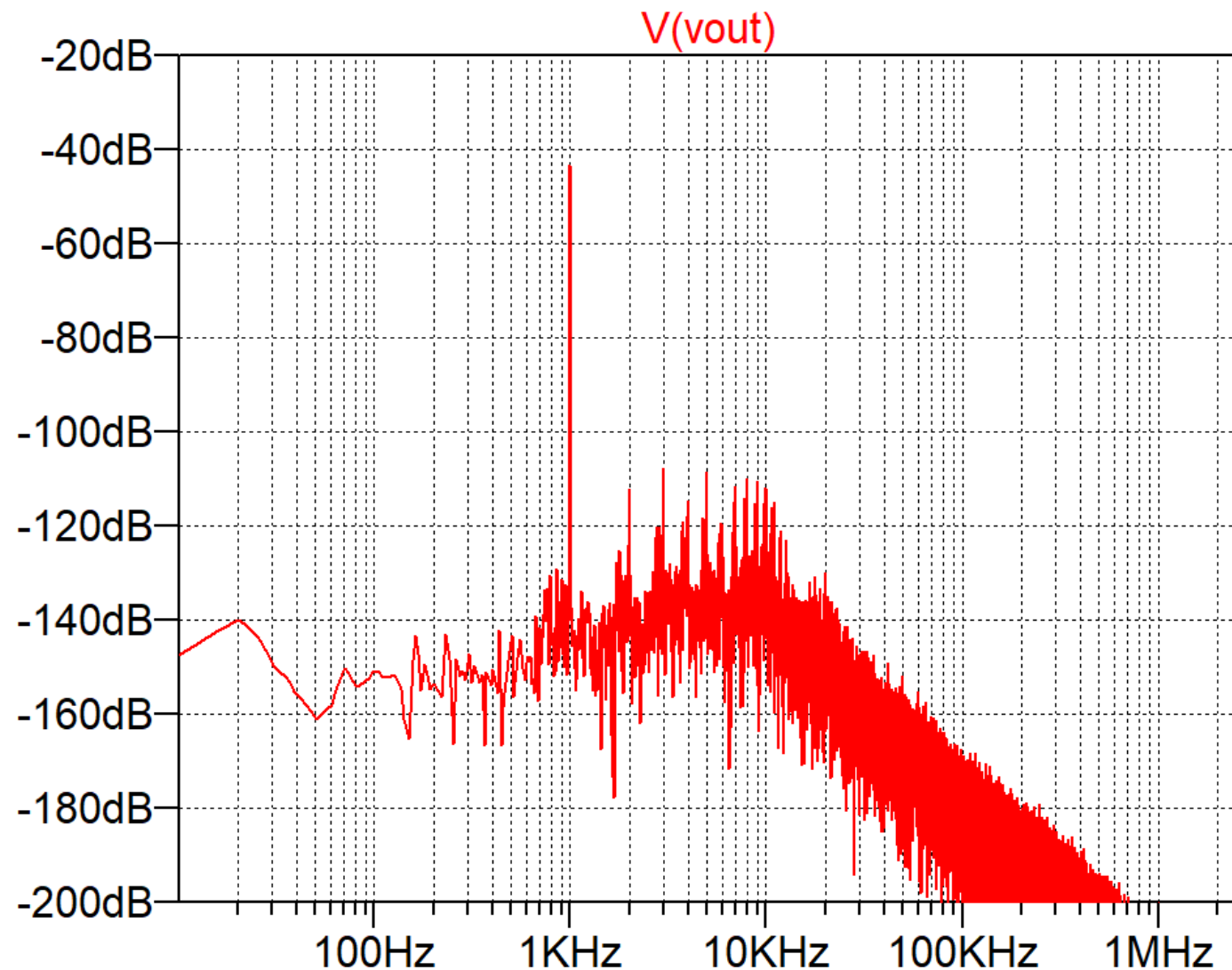
コンテストの基準
では200 kHz程度

実際は20 kHz程度

4.3 同相入力範囲・オフセット

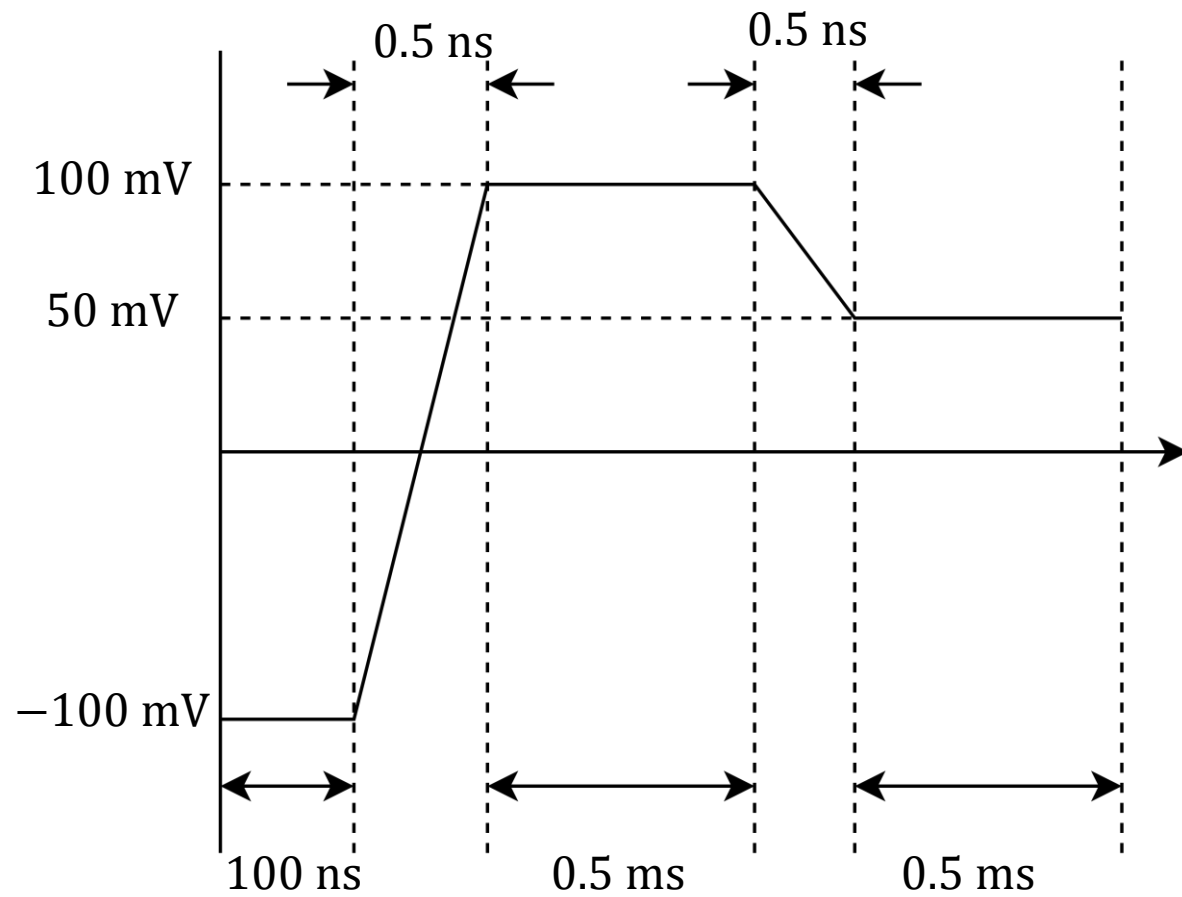


4.4 全高調波歪み

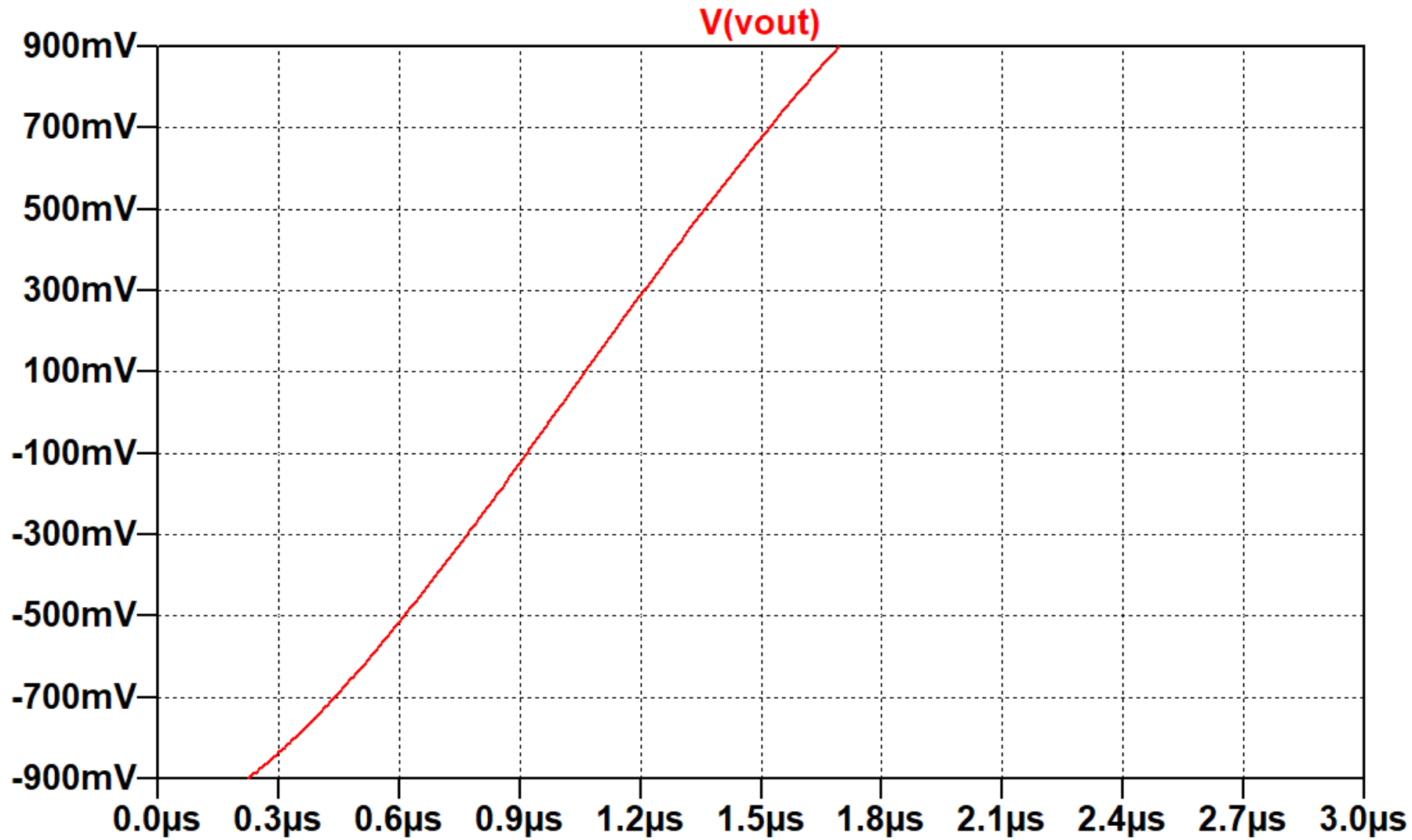


0.118 % (基本波に対する第10次
高調波までの総和で算出)

4.5 スルーレート



4.5 スルーレート



約1.2 V/ μs