

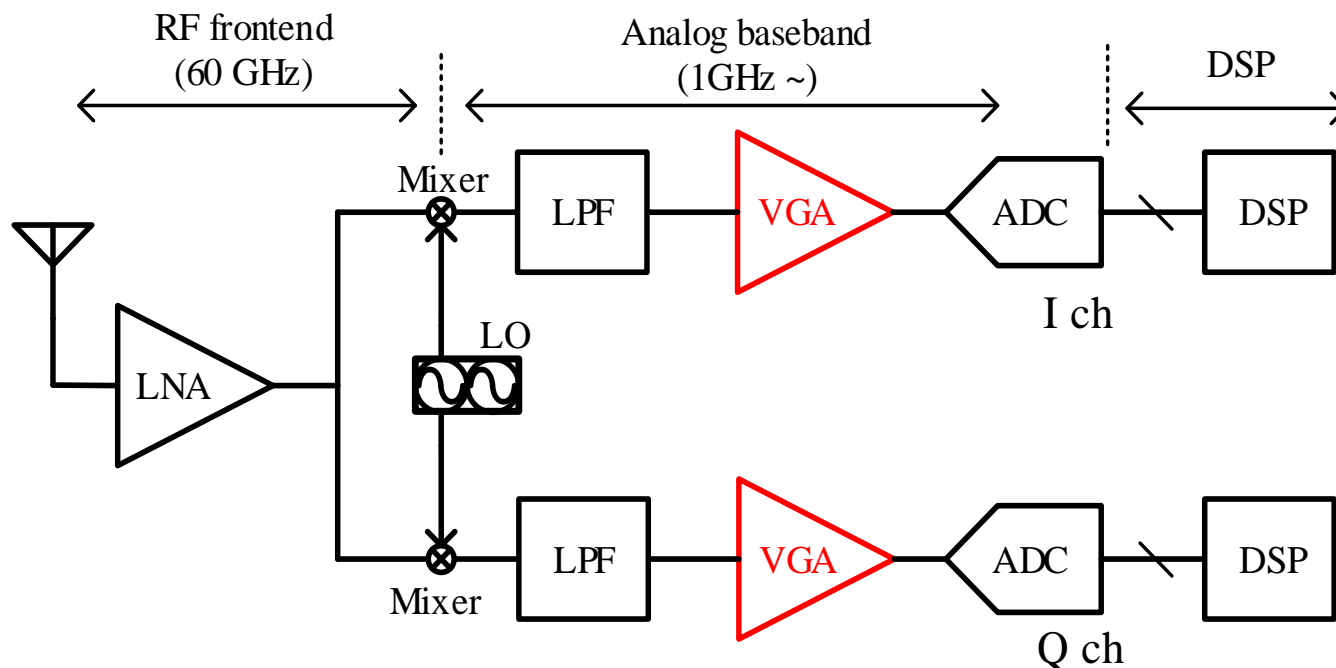
広帯域可変利得アンプの 高線形化に関する検討

○金子 徹, 宮原 正也, 松澤 昭

東京工業大学大学院理工学研究科
電子物理工学専攻

通信トラフィックの増大

→GHzオーダーの帯域が利用できるミリ波の高速無線通信



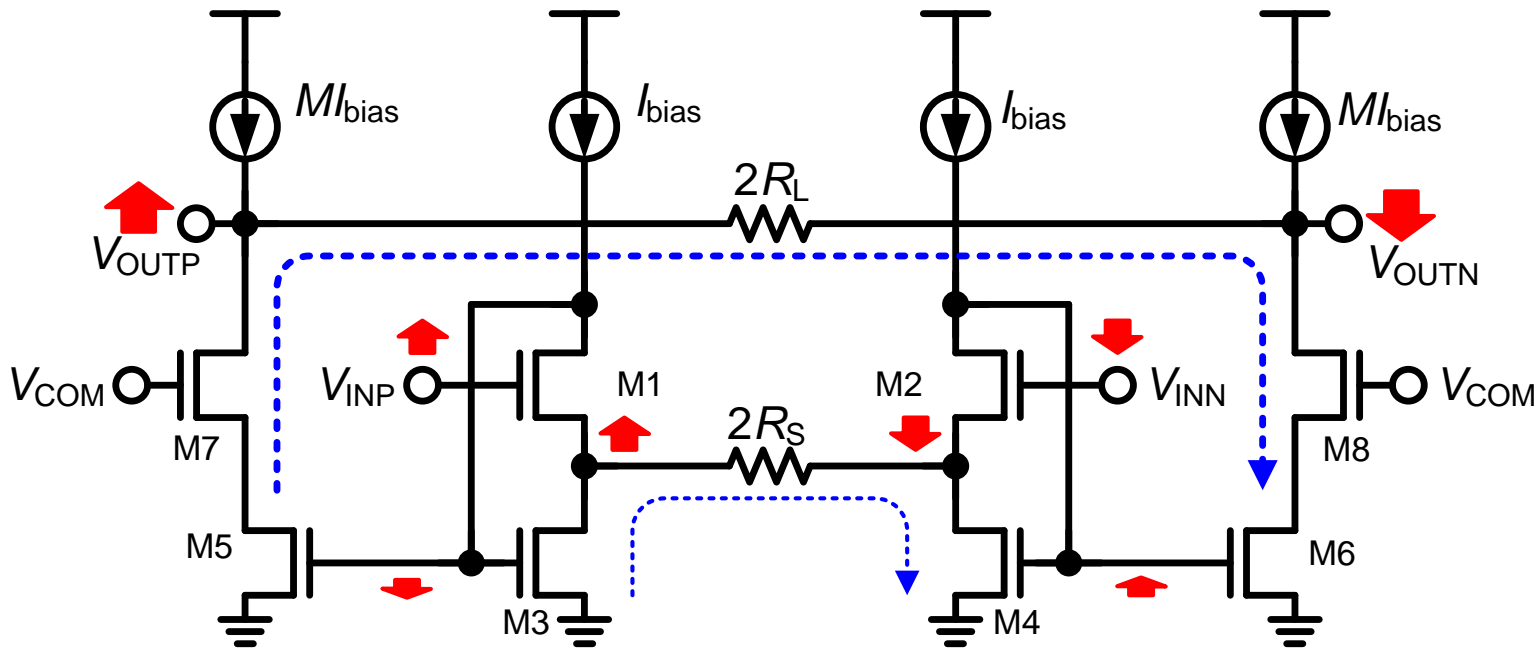
60GHz帯無線通信

☺ 高速な通信速度...1ch. 16QAMで7.0Gbps

☹ ベースバンド帯の帯域...60GHz帯では約1GHz/ch

IQ振幅誤差の補償⇒VGAに細かい利得切替機能が必要

- FVF構造を持つ増幅器は広帯域かつ高線形
 - 広帯域VGAに適した増幅器



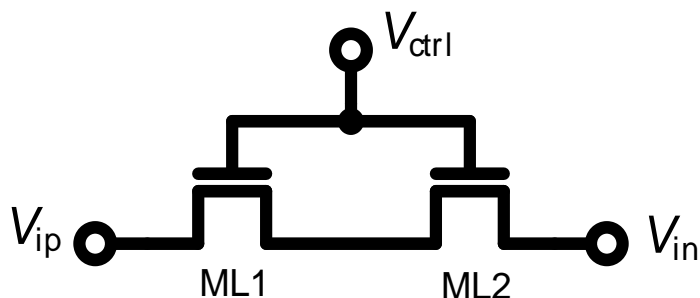
↑ 差動電圧
↓ 差動電流

$$A_V \approx M \frac{R_L}{R_S}$$

可変抵抗で利得を制御

[1] Tien-Yu Lo, Chung-Chin Hung, "1V CMOS Gm-C Filters," Springer, 2009.

- 線形領域のMOSを抵抗として使用

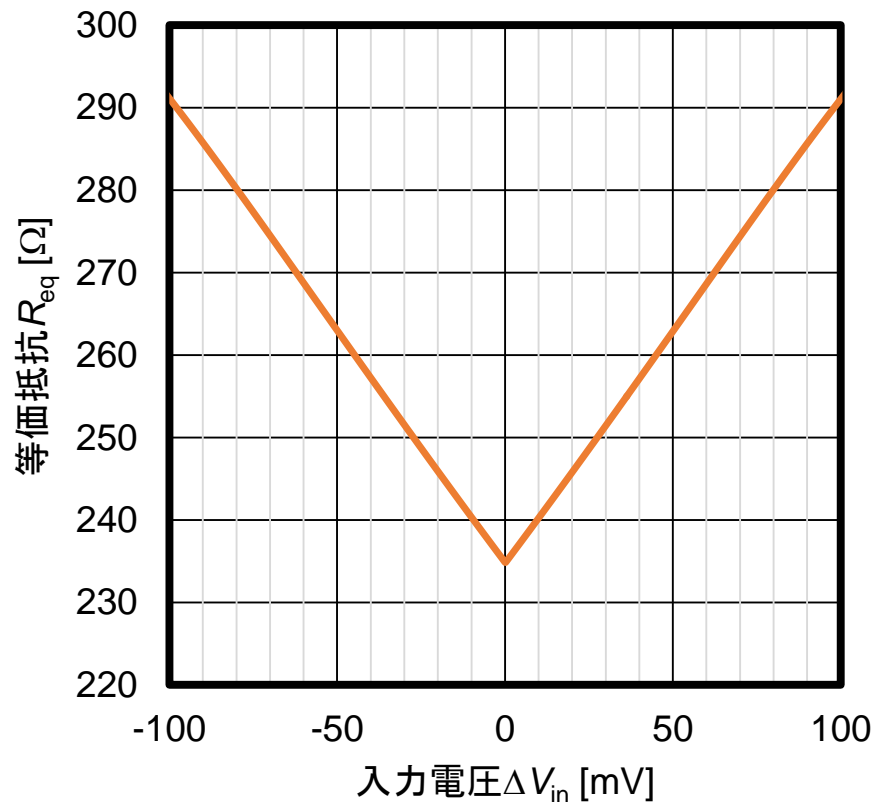


$$\begin{cases} V_{ip} = \Delta V_{in} + V_{icom} \\ V_{in} = -\Delta V_{in} + V_{icom} \end{cases} \quad I_{DS1} = K_L \frac{\left\{ (V_{GS} - V_{th})V_{DS} - \frac{m}{2}V_{DS}^2 \right\}}{1 + \theta(V_{GS} - V_{th})}$$

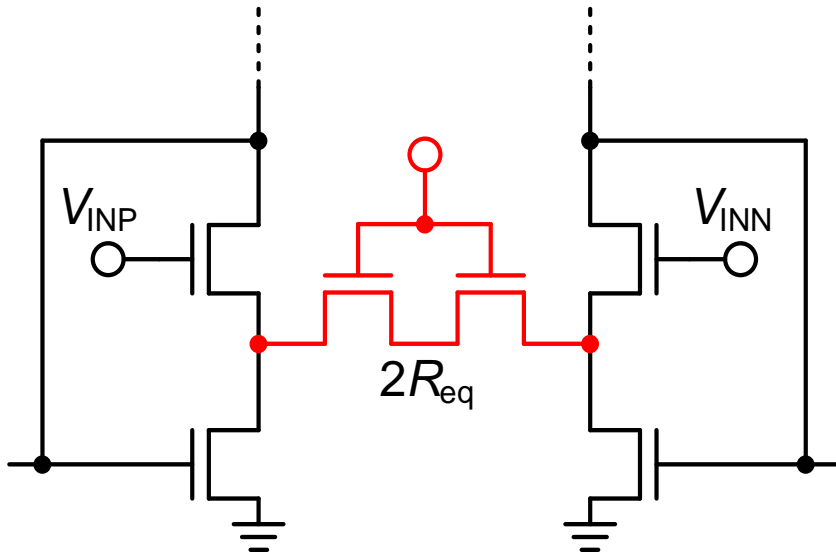
$$R_{eq} = \frac{1 + \theta \left(V_{ctrl} - V_{th} - V_{icom} + m \frac{|\Delta V_{in}|}{2} \right)}{K_L (V_{ctrl} - V_{th} - V_{icom})}$$



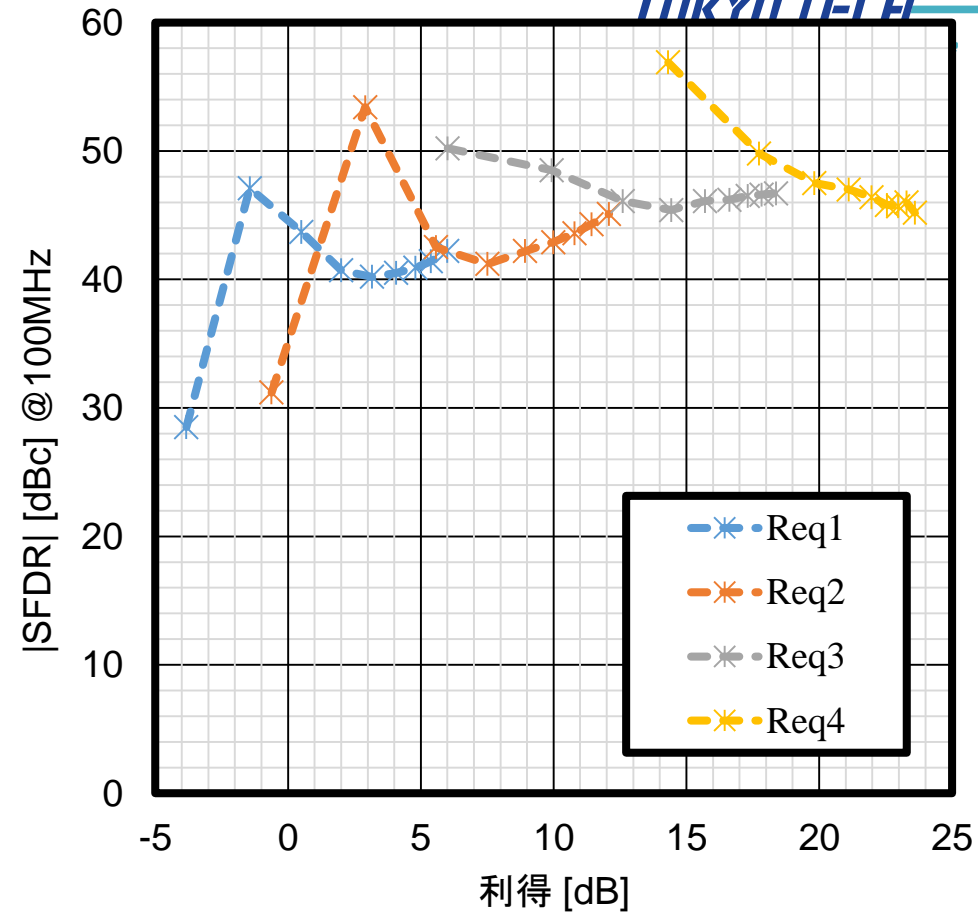
差動電圧に依存して抵抗値が変化



θ : 垂直電界による移動度の劣化
 m : Bulk-charge factor (1.2~1.3程度)



電圧振幅が小さい R_S に適用

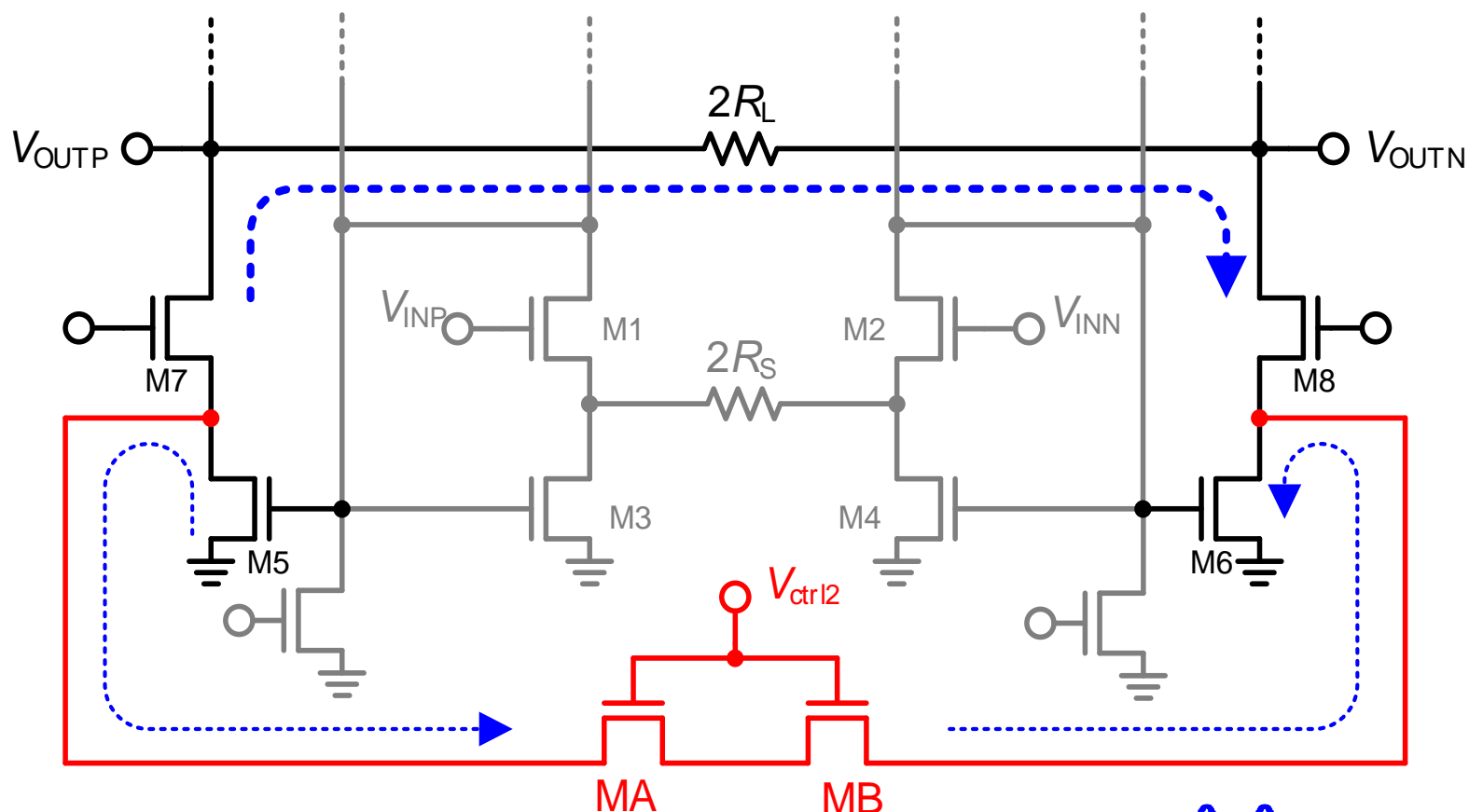


☹️ 低利得側で線形性が大きく劣化 (40dBc、ワーストで30dBc)

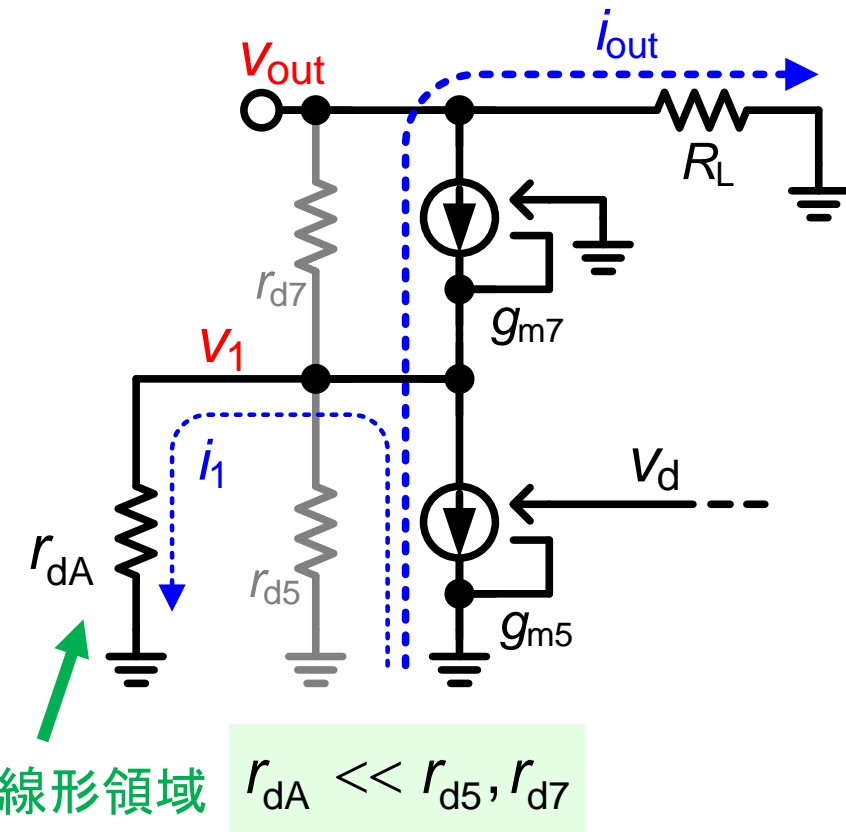
– 入力振幅が大きくなり、**抵抗値変動が大きくなる**ため

低利得側の線形性改善が必要

- 従来手法は R_S の値を直接可変にして可変利得を実現
- 提案手法では、出力側で**差動電流の一部を逃がす**ことで可変利得を実現



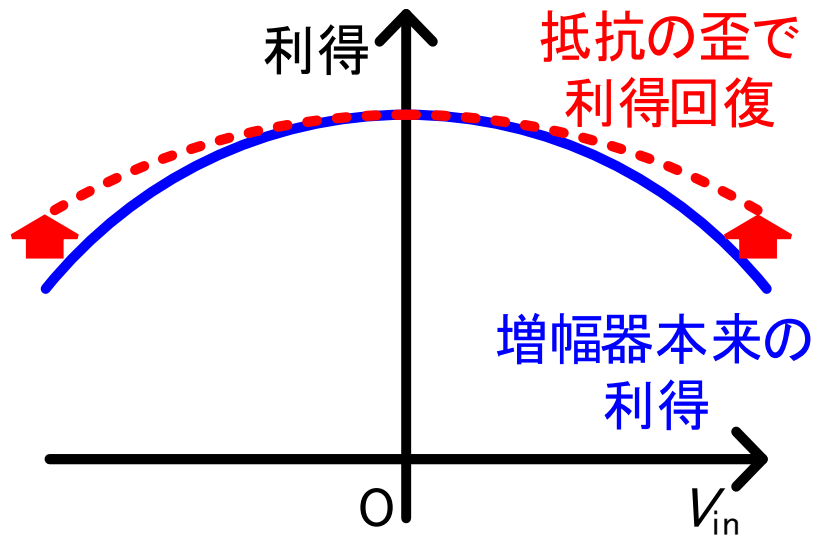
小信号等価回路解析



$$V_{out} \approx M \frac{R_L}{R_S} \frac{1}{1 + \frac{1}{g_{m7} r_{dA}}} V_{in}$$

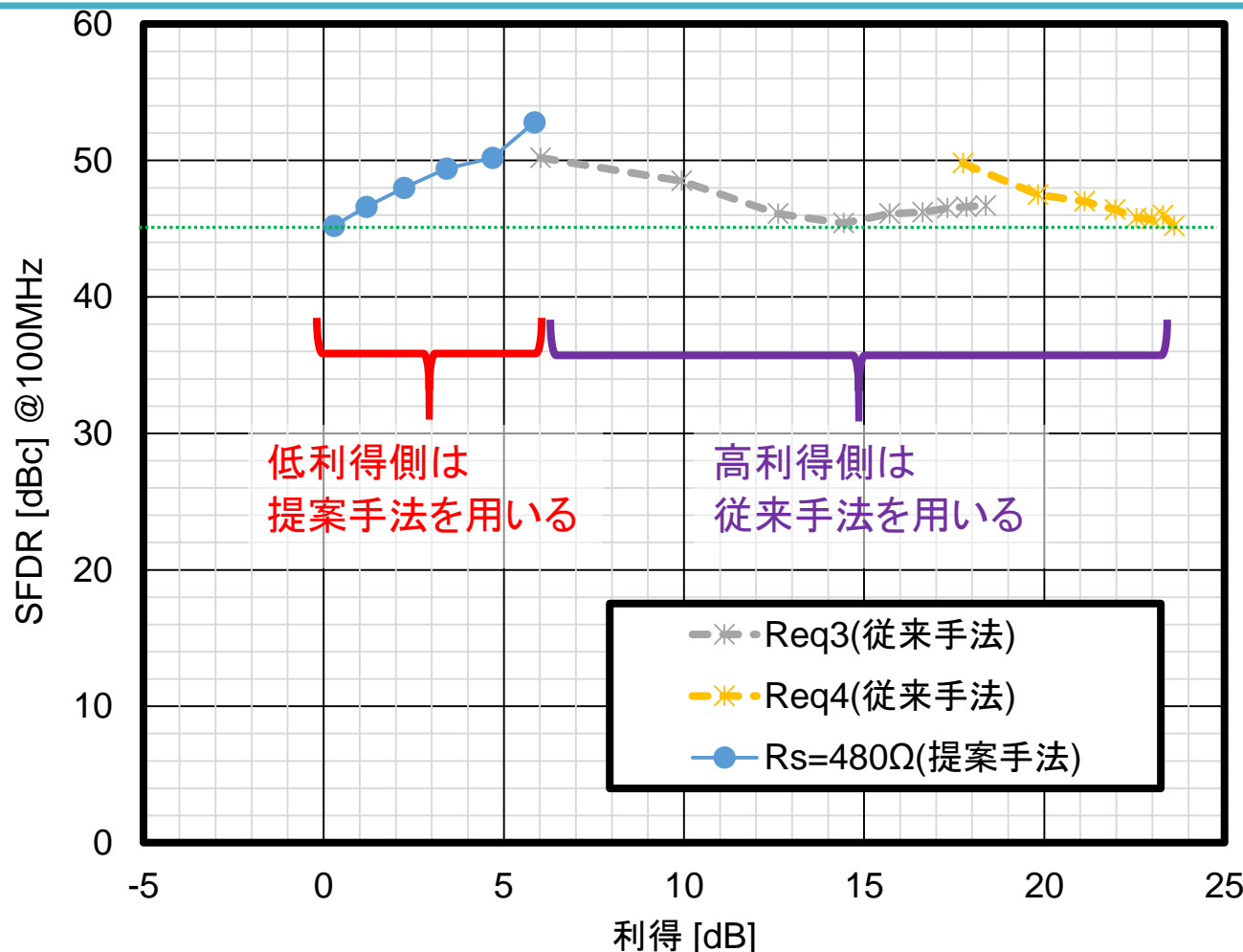
r_{dA} による減衰

$$V_1 \approx \frac{1}{g_{m7} R_L} V_{out} \quad V_{out} \text{にのみ依存}$$



- ☺ 抵抗値の変動量は小さい
- ☺ MOS抵抗の歪は線形性を改善
- ☹ 初段の歪自体は劣化して見える

シミュレーション結果



|SFDR| > 45dBc

プロセス	65nm CMOS
電源電圧	1.2 V
消費電力	2.0 mW
帯域	約1.3 GHz
負荷容量	100 fF

- 提案手法を用いた低利得側の改善により

常時45dBを越える高い線形性を達成

- 広帯域アナログフロントエンドに適用するためのVGAの可変利得化手法について検討を行った
- 従来手法はMOS抵抗の抵抗値変動により、低利得時に線形性が大きく劣化してしまう
- 提案手法は抵抗値の変動が小さく、歪を打ち消すように抵抗値が変化する
- 低利得側で提案手法を用いることで、5dB以上の線形性向上を確認した
- 実際に使用するためにはログリニア特性が必要
 - DACの設計