

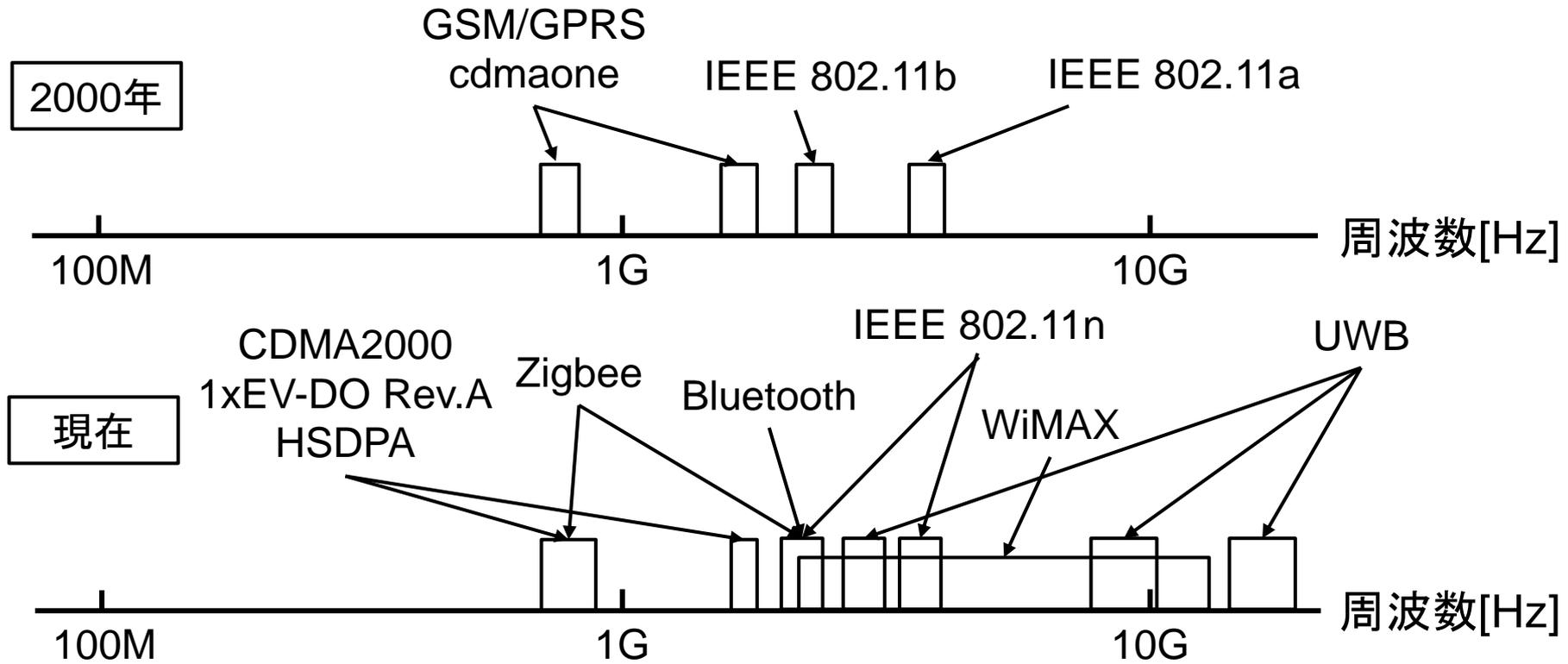
低雑音増幅器の歪み解析

興大樹*, 小林春夫, 新津葵一, 高井伸和(群馬大学)
壇徹, 高橋伸夫, 内藤智洋, 北村真一, 坂田浩司(三洋半導体)

- 研究背景と目的
- 並列抵抗帰還型LNAの2次相互作用
- シミュレーション解析
- まとめと今後の課題

・研究背景と目的

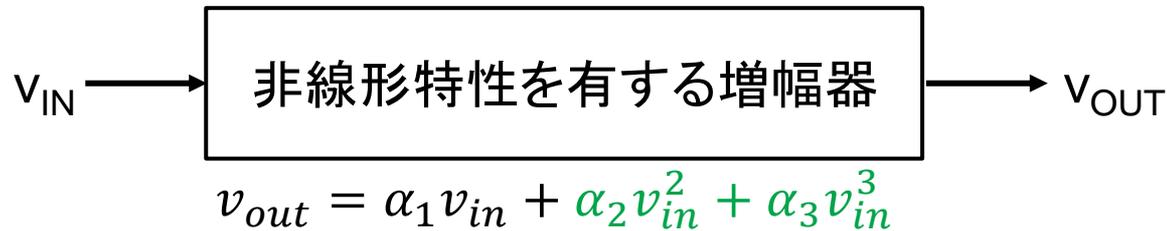
- ・並列抵抗帰還型LNAの2次相互作用
- ・シミュレーション解析
- ・まとめと今後の課題



- ・使用周波数の密接化
- ・使用可能周波数の制限



妨害波に強い受信機の需要が増大



$$v_{IN} = A_1 \cos(\omega_1 t) + A_2 \cos(\omega_2 t)$$

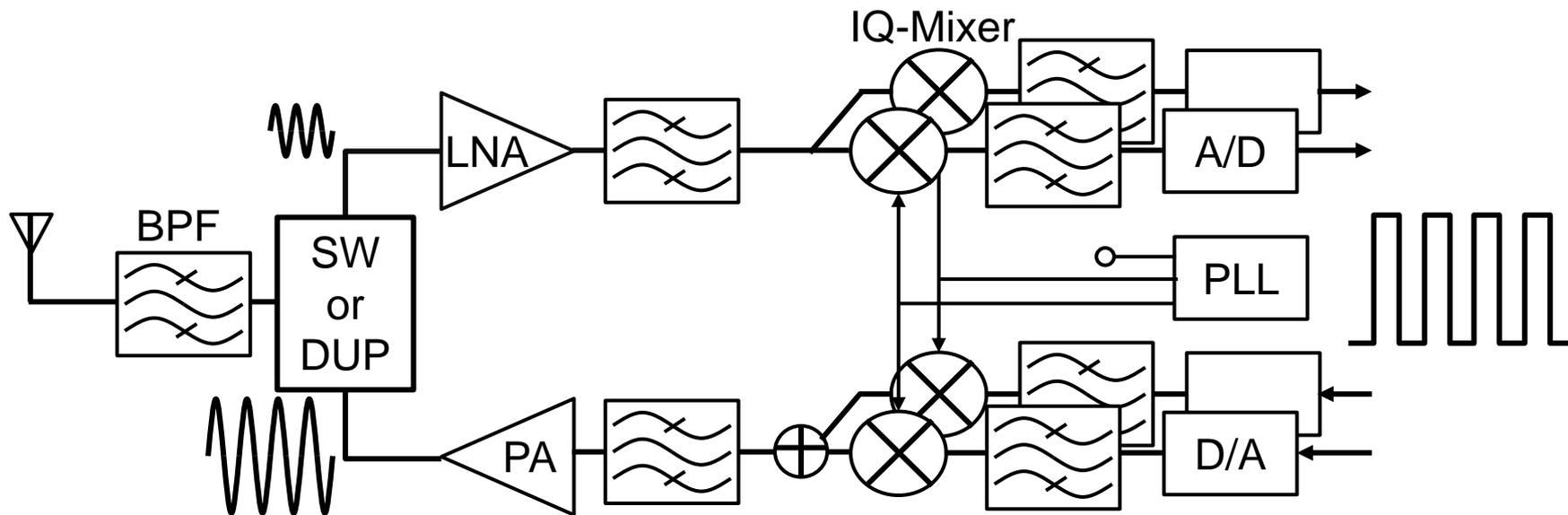
$$\longrightarrow v_{OUT} = \left(\alpha_1 + \frac{3\alpha_3}{4} A_1^2 + \frac{3\alpha_3}{2} A_2^2 \right) A_1 \cos(\omega_1 t) \dots$$

非線形 + 妨害波 ⇒ 利得の劣化



妨害波に強い = 線形性が高い

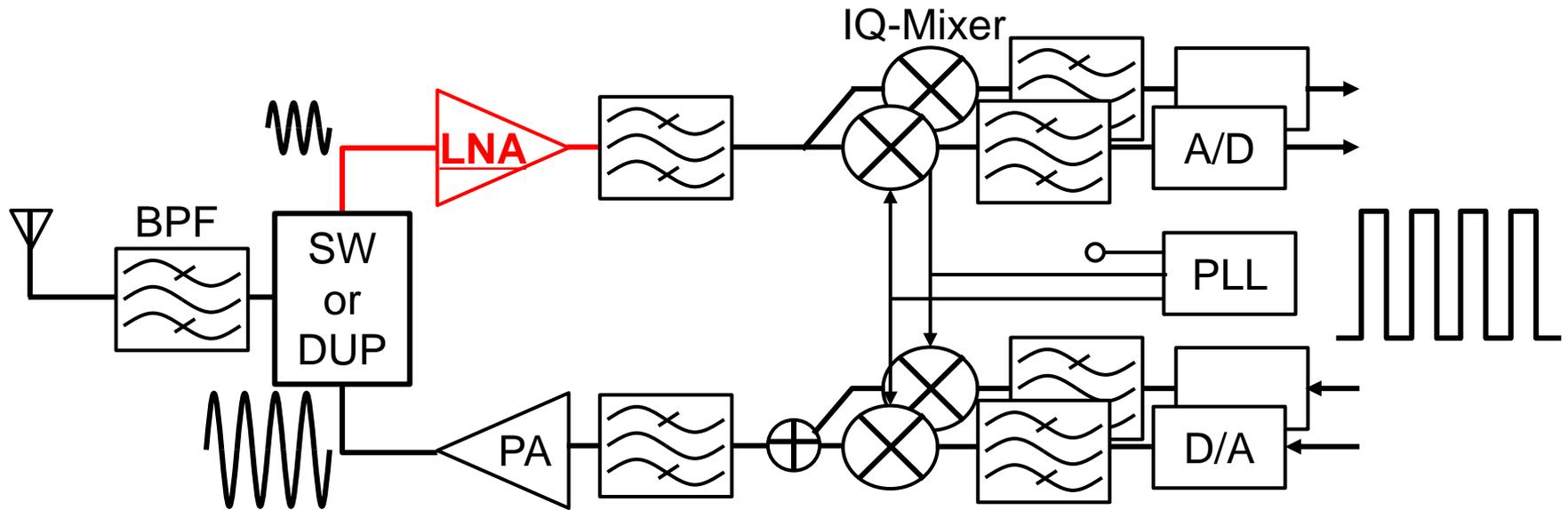
ダイレクトコンバージョン方式の送受信アーキテクチャ 6



BPF:バンドパスフィルタ
SW:送受信切換スイッチ
DUP:分波回路
LNA:低雑音増幅器

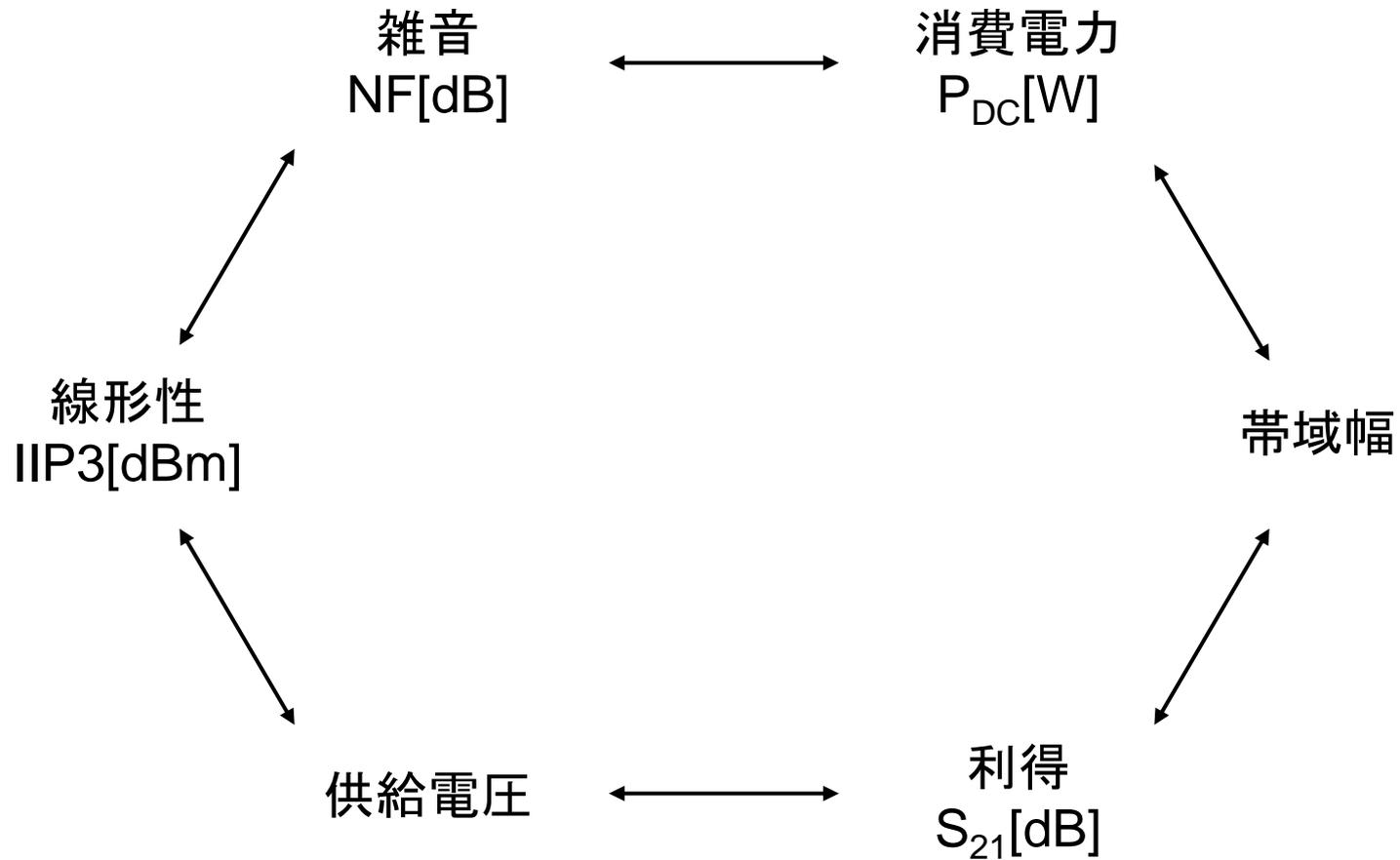
PA:電力増幅器
A/D:A/D変換器
D/A:D/A変換器
PLL:PLL回路

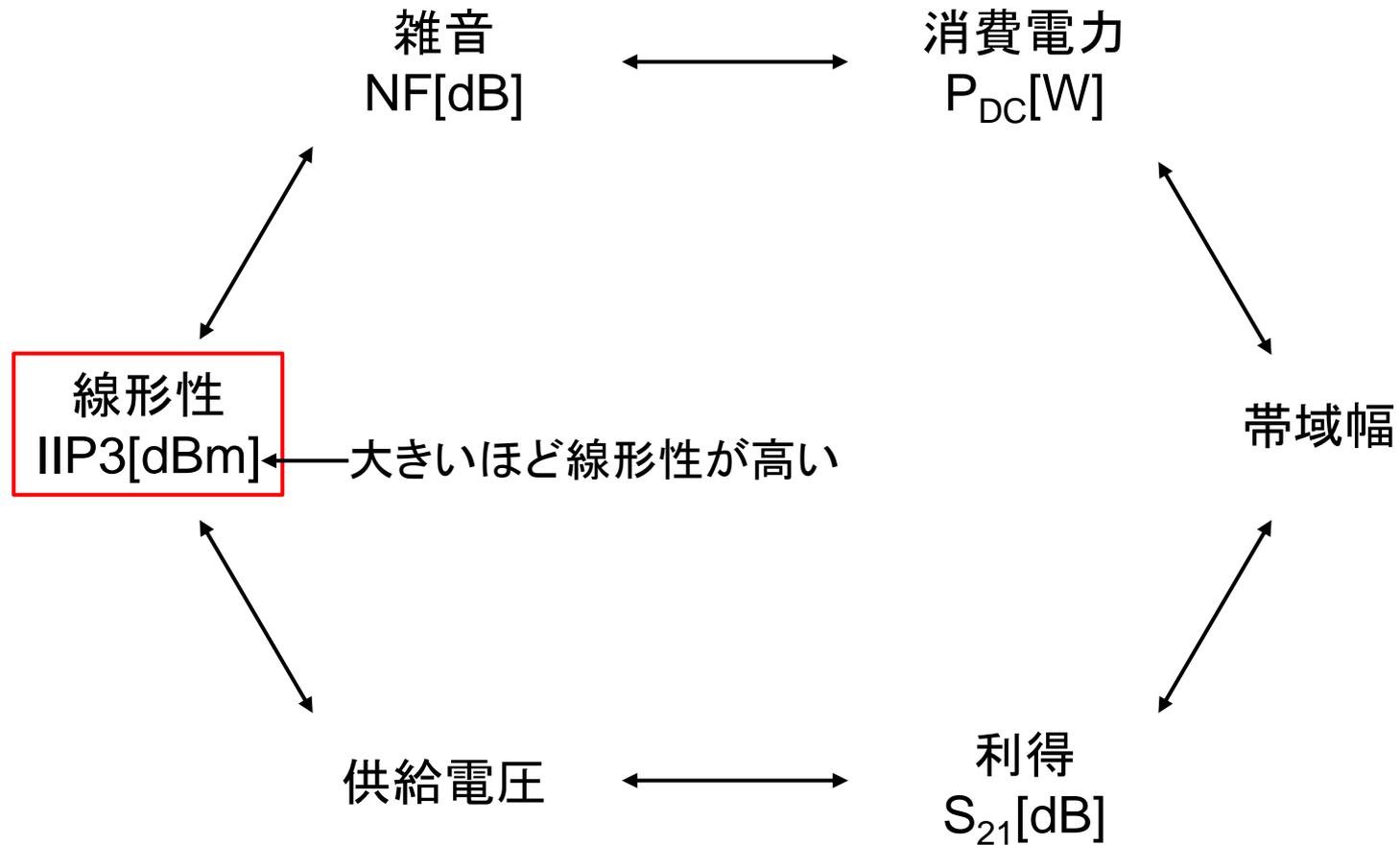
ダイレクトコンバージョン方式の送受信アーキテクチャ 7



LNA: Low Noise Amplifier(低雑音増幅器)

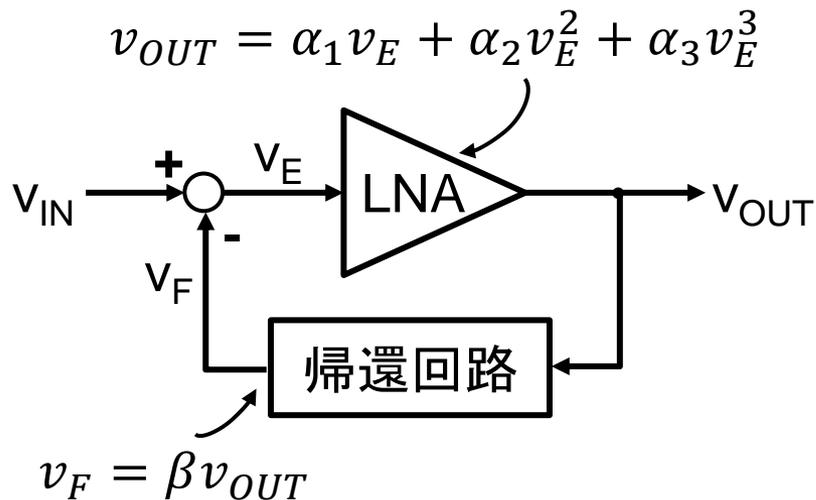
・・・後段で処理できるレベルまで、雑音・歪みを付加することなく信号を増幅する





線形化技術	特徴
負帰還	出力を入力へ帰還する, 2次相互作用が発生
高調波終端	帯域外の線形ループ利得を調整し歪みを改善
最適バイアス	歪み成分が小さくなるようにバイアスをかける
フィードフォワード	予想される歪みを補助の増幅器により打ち消す

線形化技術	特徴
負帰還	出力を入力へ帰還する, 2次相互作用が発生
高調波終端	帯域外の線形ループ利得を調整し歪みを改善
最適バイアス	歪み成分が小さくなるようにバイアスをかける
フィードフォワード	予想される歪みを補助の増幅器により打ち消す



$$v_{OUT} = b_1 v_{in} + b_2 v_{in}^2 + b_3 v_{in}^3 \dots$$

$$\begin{cases} b_1 = \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1 \beta} \\ b_2 = \frac{\alpha_2}{(1 + \alpha_1 \beta)^3} \\ b_3 = \frac{1}{(1 + \alpha_1 \beta)^4} \left(\alpha_3 - \frac{2\alpha_2^2 \beta}{1 + \alpha_1 \beta} \right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_{IIP3, openloop} = \sqrt{\frac{4\alpha_1}{3\alpha_3}} \\ A_{IIP3, closedloop} = \sqrt{\frac{4\alpha_1}{3\alpha_3}} = \sqrt{\frac{4\alpha_1}{3\alpha_3} \frac{(1 + \alpha_1 \beta)^3}{1 - \frac{2\alpha_2^2 \beta}{\alpha_3(1 + \alpha_1 \beta)}}} \end{cases}$$

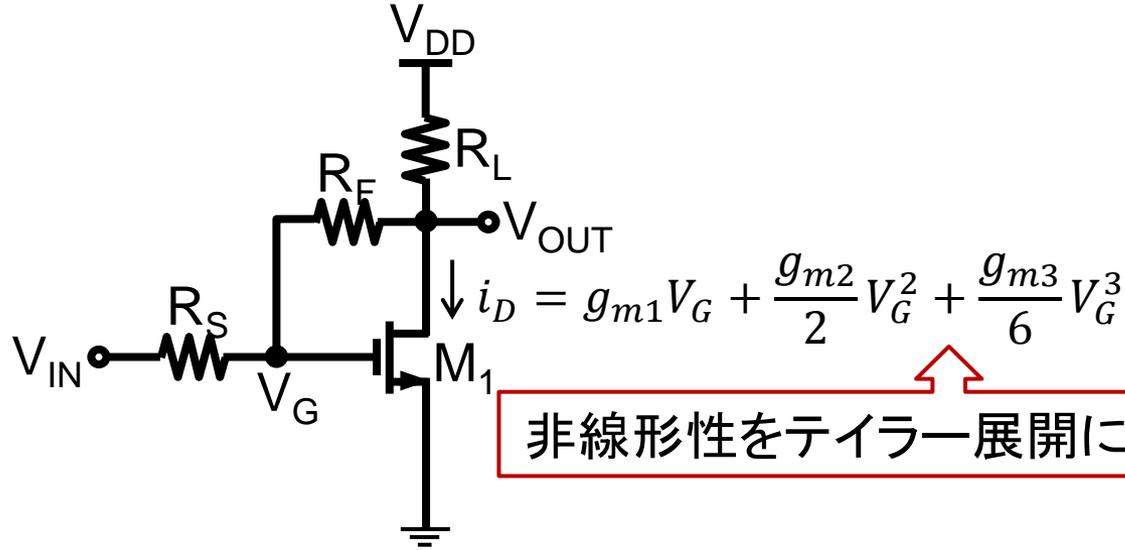
※ A_{IIP3} : IIP3を電圧振幅で表したもの

回路レベルでの検証

$\alpha_2=0$ のとき
 $(1+\alpha_1\beta)^{3/2}$ だけ改善

$\alpha_2 \neq 0$ かつ $\alpha_3 < 0$ のとき
 α_2 によって改善度が劣化
 (2次相互作用)

- ・研究背景と目的
- ・**並列抵抗帰還型LNAの2次相互作用**
- ・シミュレーション解析
- ・まとめと今後の課題



非線形性をテイラー展開によって近似

$$A_{IIP3} = \sqrt{\frac{4}{3} \left| \frac{A - \frac{B\alpha_1}{1 + \alpha_1\beta}}{B^3 (1 + \alpha_1\beta)^4 \left(\alpha_3 - \frac{\alpha_2^2\beta}{1 + \alpha_1\beta} \right)} \right|}$$

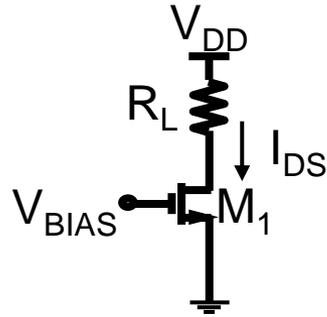
$\frac{\alpha_2^2\beta}{1 + \alpha_1\beta}$

$\alpha_3 - \frac{\alpha_2^2\beta}{1 + \alpha_1\beta}$

2次相互作用

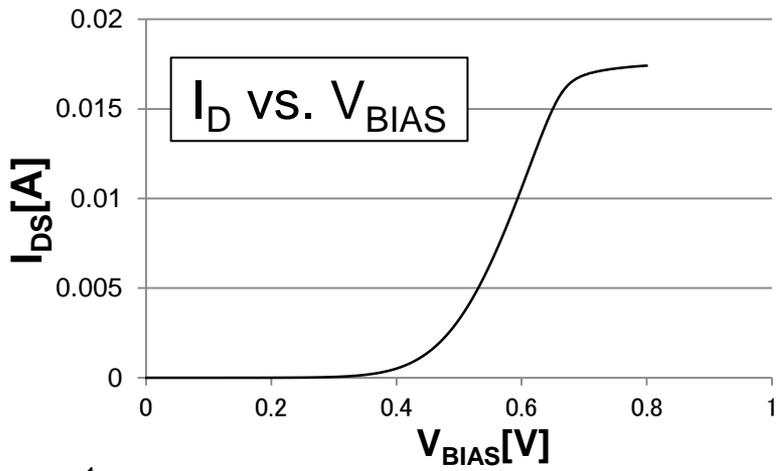
$$\left\{ \begin{aligned} A &= \frac{R_L}{R_F + R_S + R_L}, & B &= \frac{R_F + R_L}{R_F + R_S + R_L} \\ \alpha_1 &= Bg_{m1}R_L, & \alpha_2 &= \frac{Bg_{m2}R_L}{2} \\ \alpha_3 &= \frac{Bg_{m3}R_L}{6}, & \beta &= \frac{R_S}{R_F + R_S} \end{aligned} \right.$$

- ・研究背景と目的
- ・並列抵抗帰還型LNAの2次相互作用
- ・シミュレーション解析
- ・まとめと今後の課題

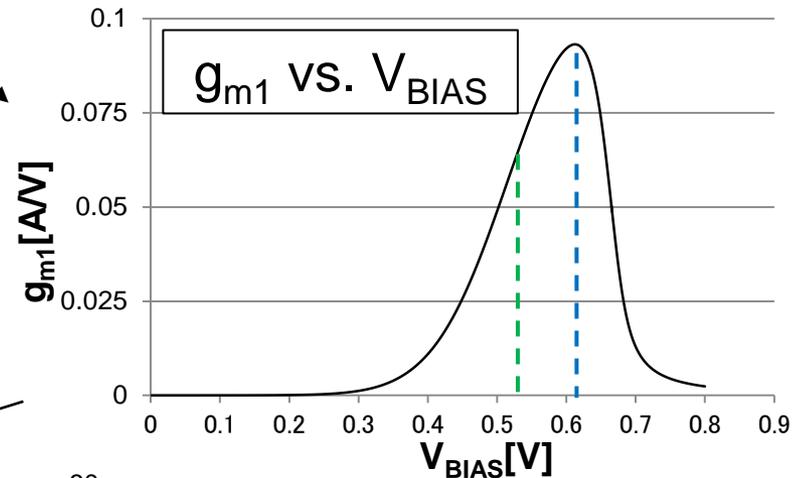


シミュレーション条件

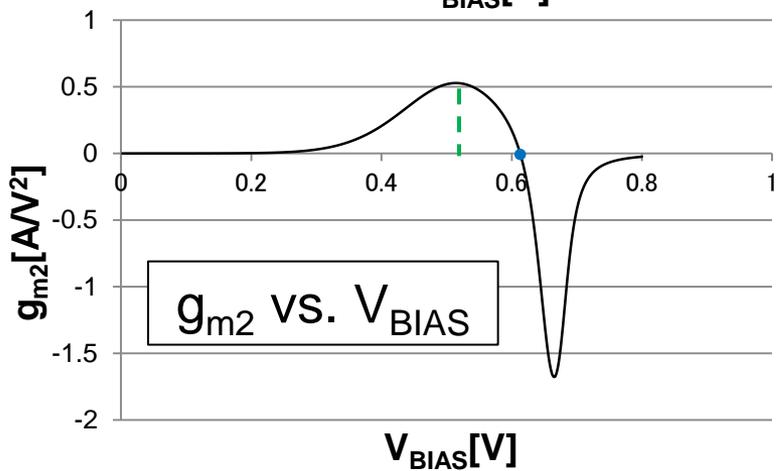
180nm CMOSプロセス(MOS以外は理想素子)
 $R_L=100\Omega$, $V_{DD}=1.8V$,
 (M_1 の W/L)= $500\mu m/180nm$, $V_{BIAS}=0-0.8V$



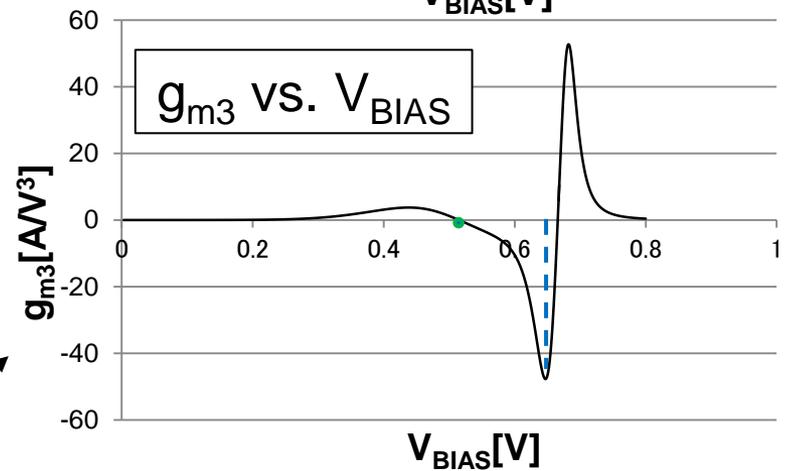
微分

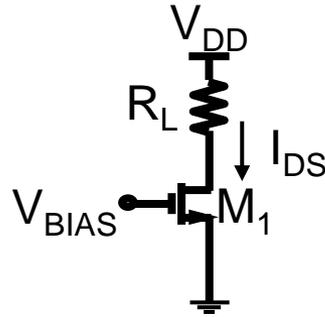


微分

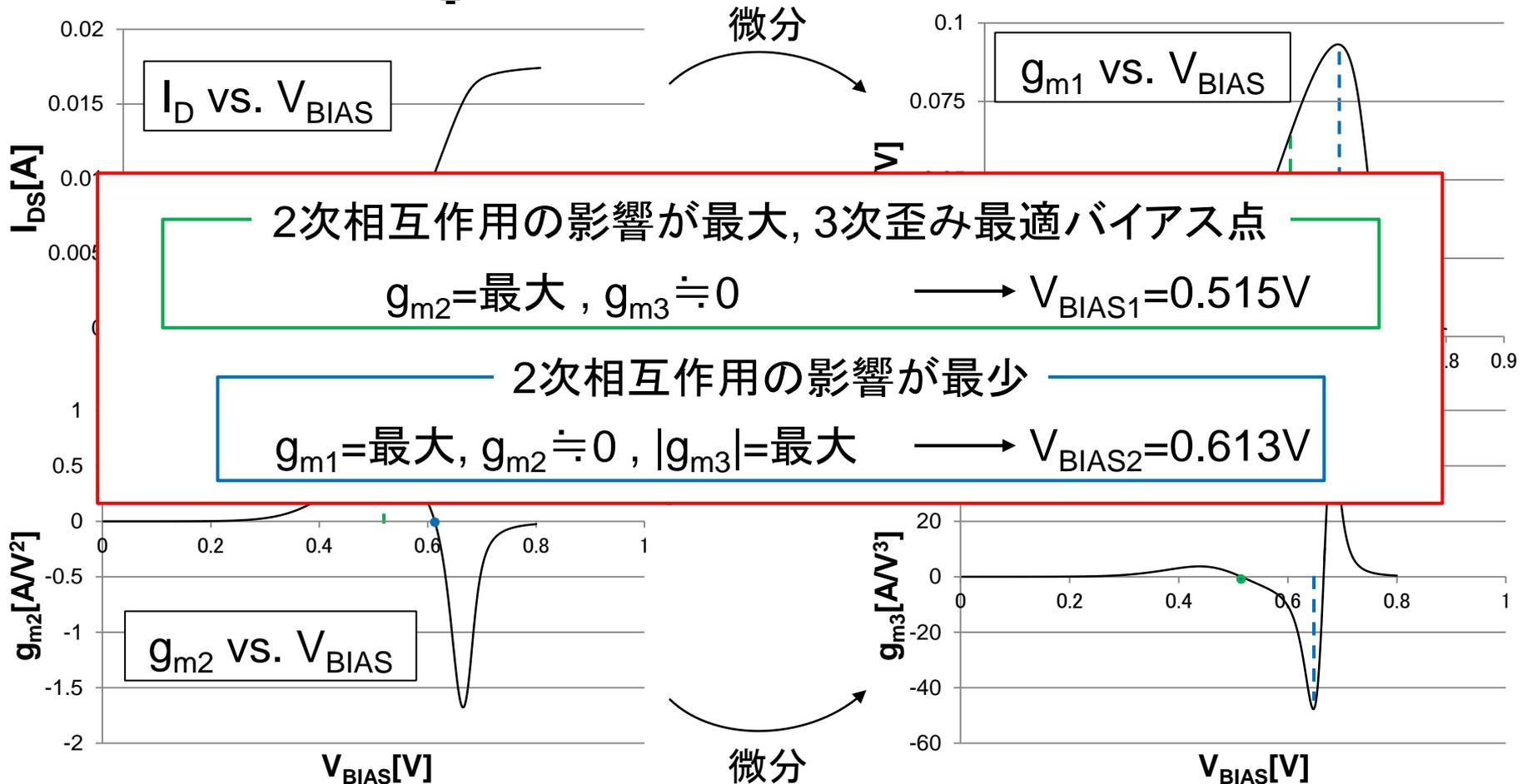


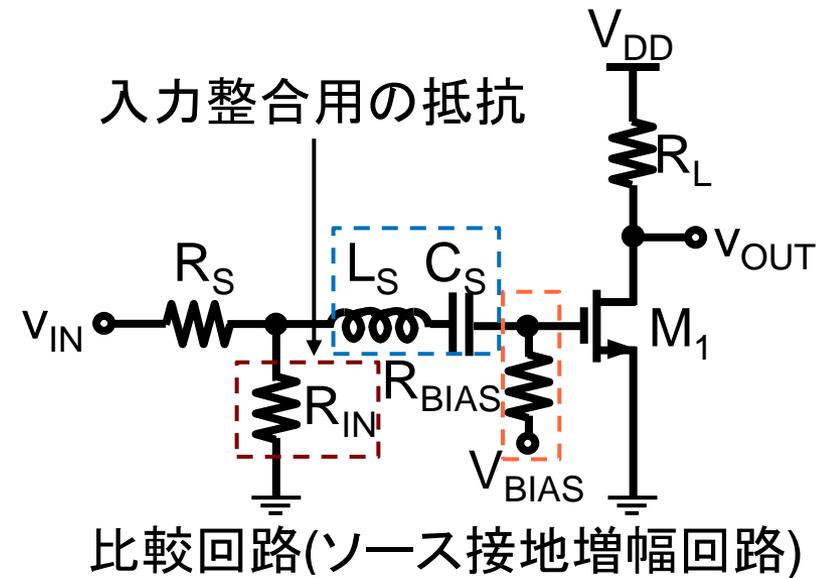
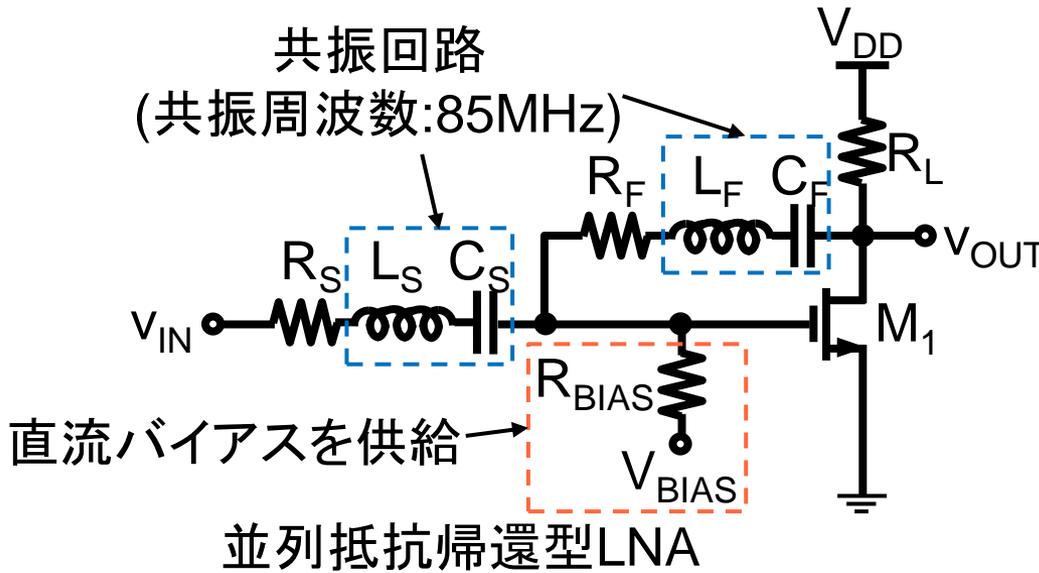
微分





シミュレーション条件
 180nm CMOSプロセス(MOS以外は理想素子)
 $R_L=100\Omega$, $V_{DD}=1.8V$,
 (M_1 の W/L)= $500\mu m/180nm$, $V_{BIAS}=0-0.8V$





180nmCMOSプロセス
(MOS以外は理想素子)

バイアス電圧

$$V_{BIAS}=0.515V, 0.613V$$

非共通パラメータ

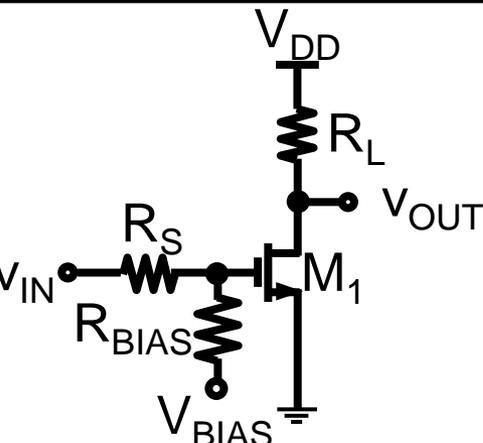
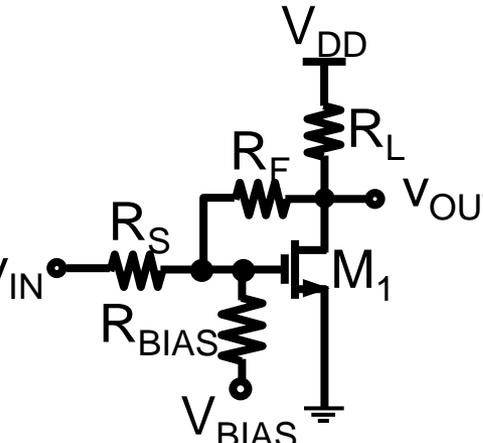
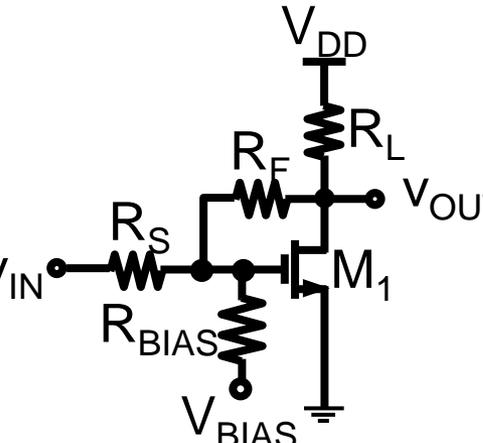
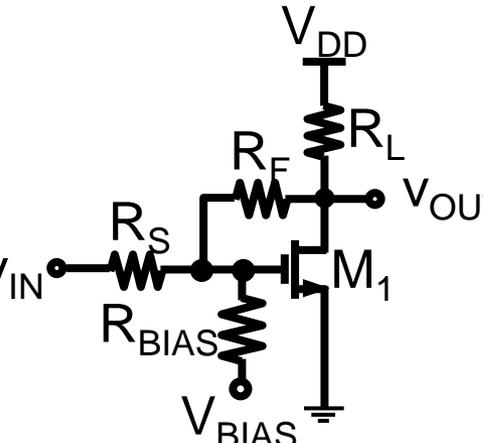
R_{IN}	50 Ω
R_F	750 Ω
C_F	3.5nF
L_F	1nH

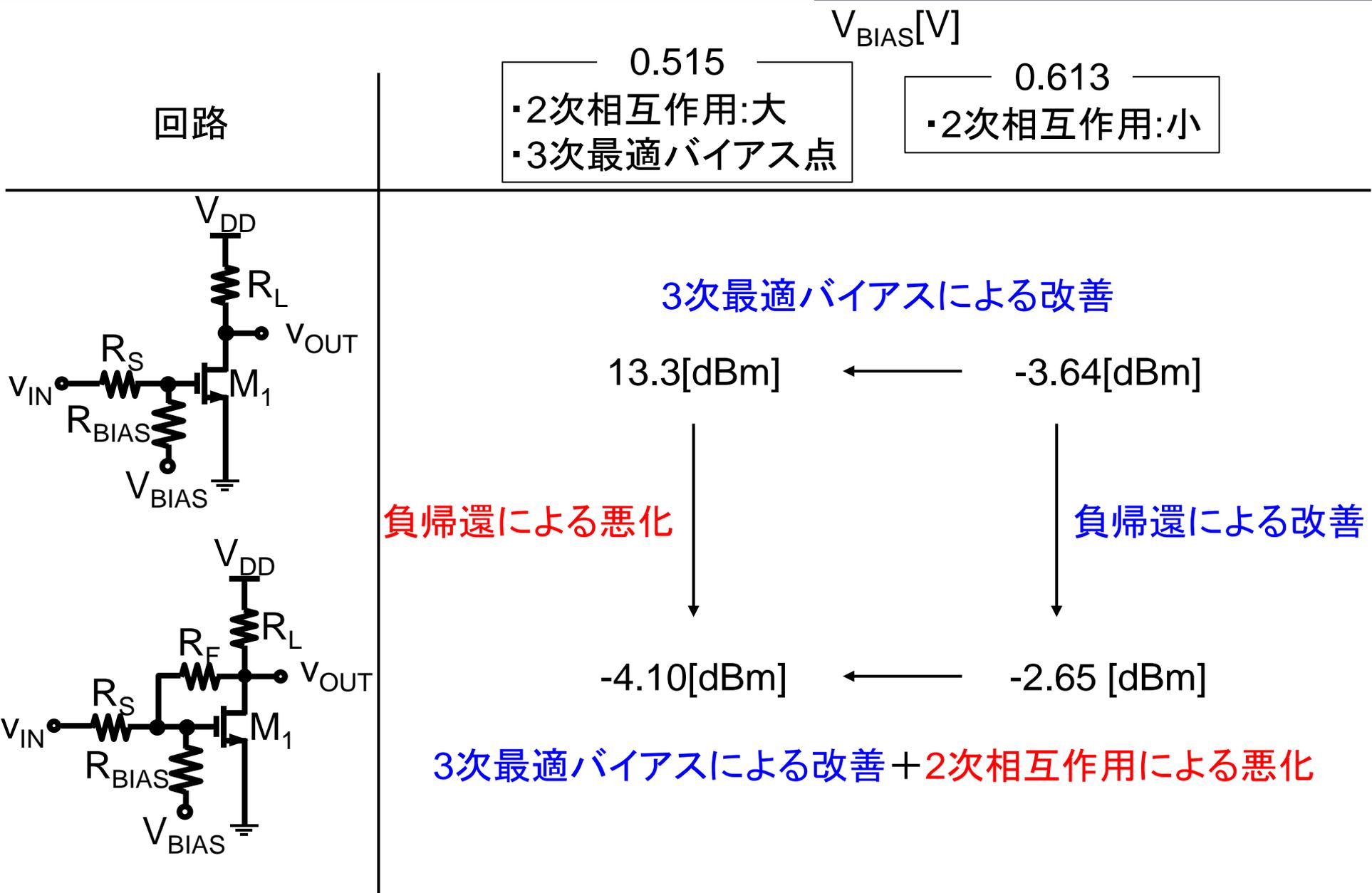
共通パラメータ

V_{DD}	1.8V
R_S	50 Ω
R_L	100 Ω
R_{BIAS}	10k Ω
C_S	3.5nF
L_S	1nH
$(W/L)_{M1}$	500 $\mu\text{m}/180\text{nm}$

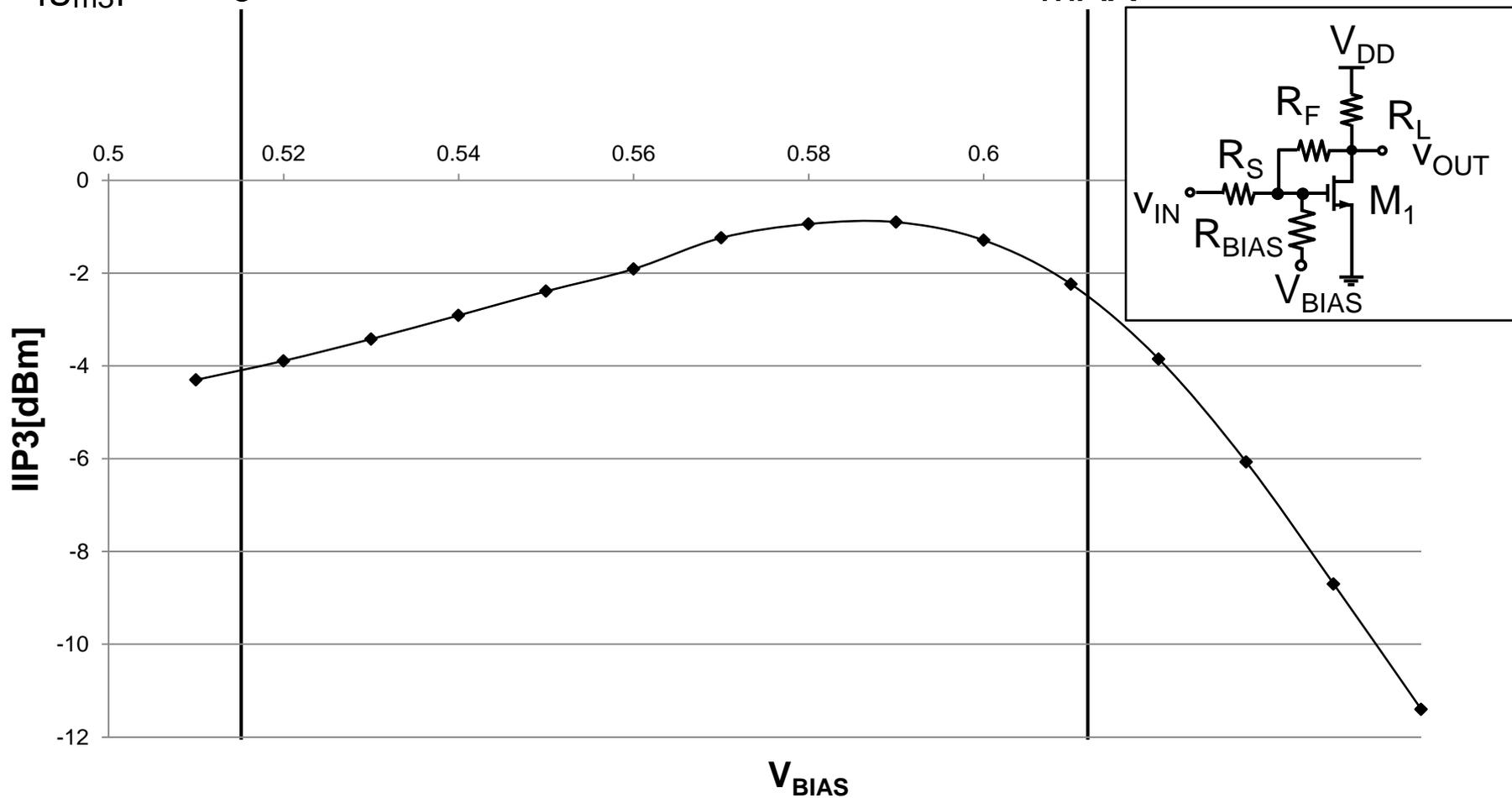
$$v_{in}=A\sin(2\pi f_1 t)+A\sin(2\pi f_2 t)$$

$$A=20\text{mV}, f_1=84.9\text{MHz}, f_2=85.1\text{MHz}$$

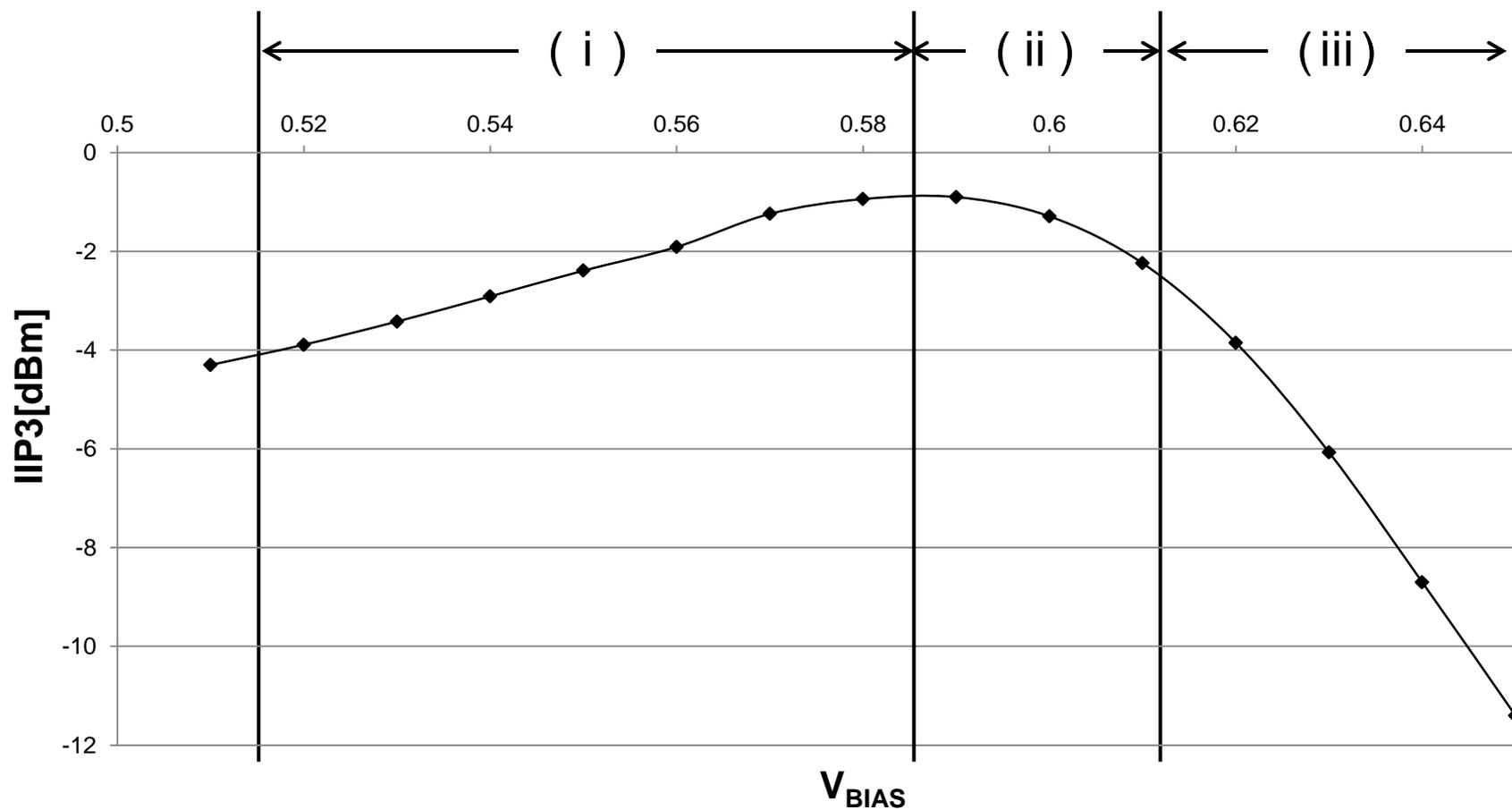
回路	V_{BIAS} [V]	帯域[Hz]	S21[dB]	NF[dB]	IIP3[dBm]
	0.515	4.7k-2.69G	15	5.33	13.3
	0.613	4.6k-2.1G	19.4	4.66	-3.64
	0.515	300k-2.2G	17.0	1.37	-4.10
	0.613	407k-2G	20	1.35	-2.65



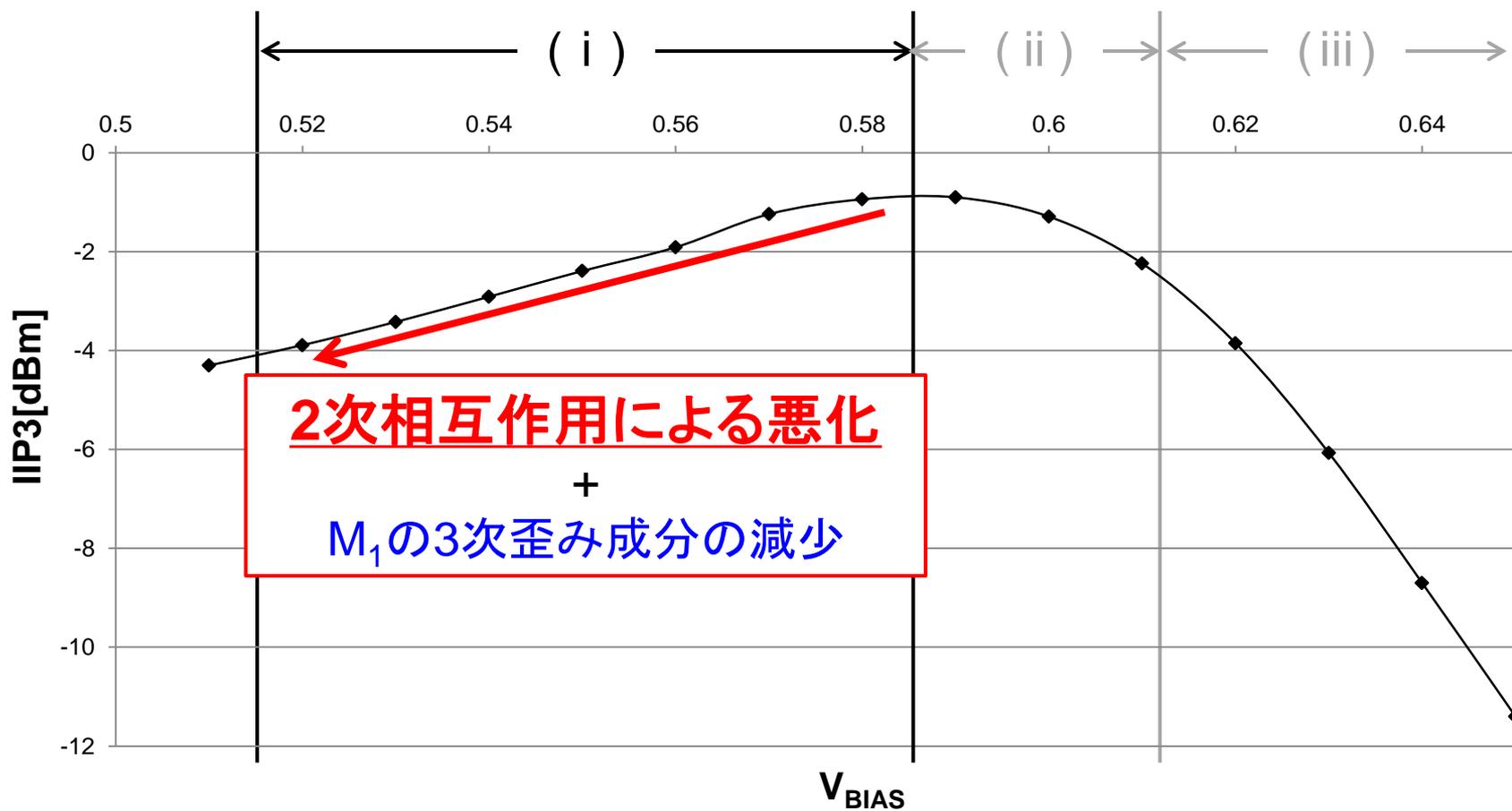
M_1 の歪み



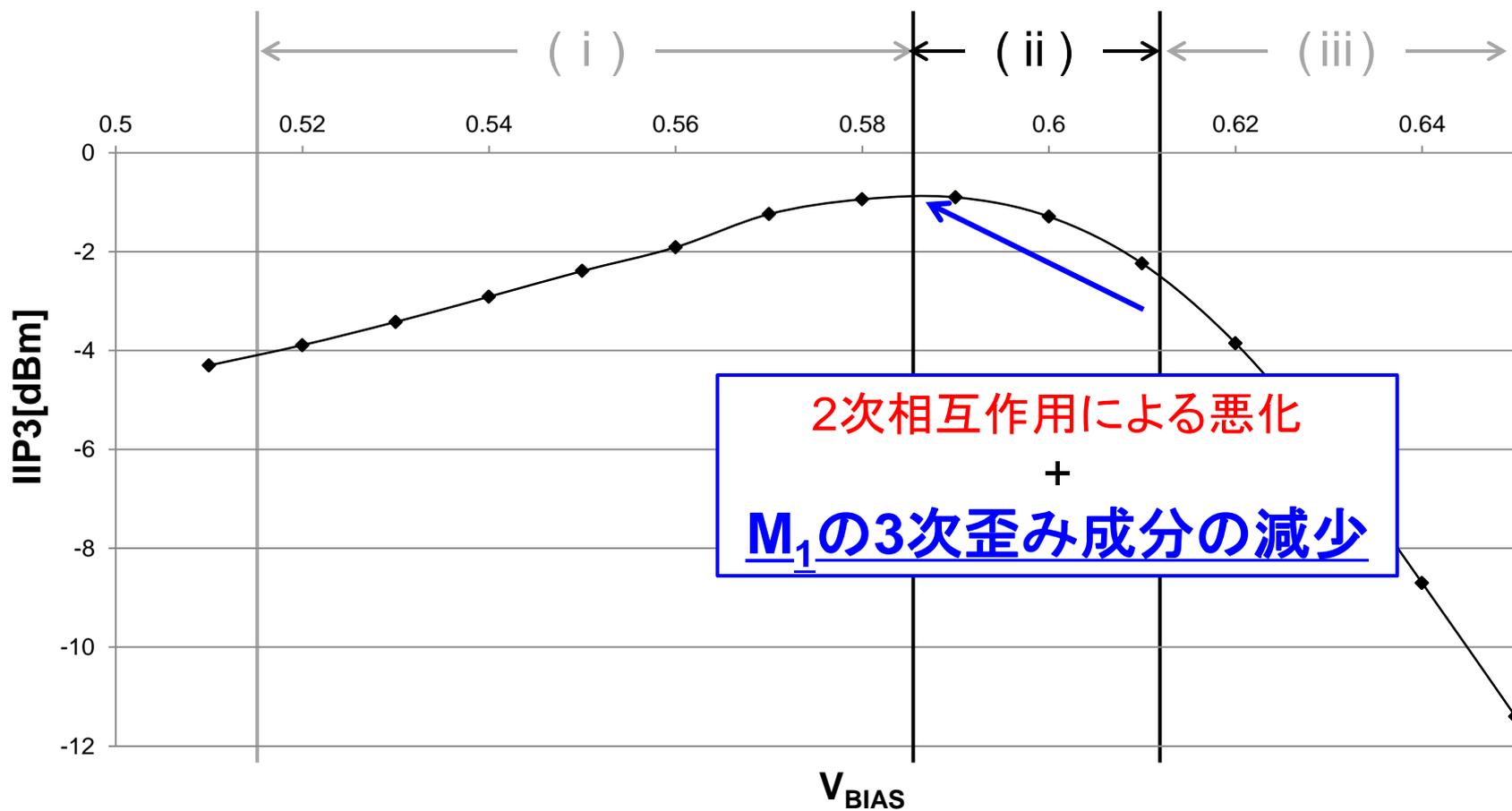
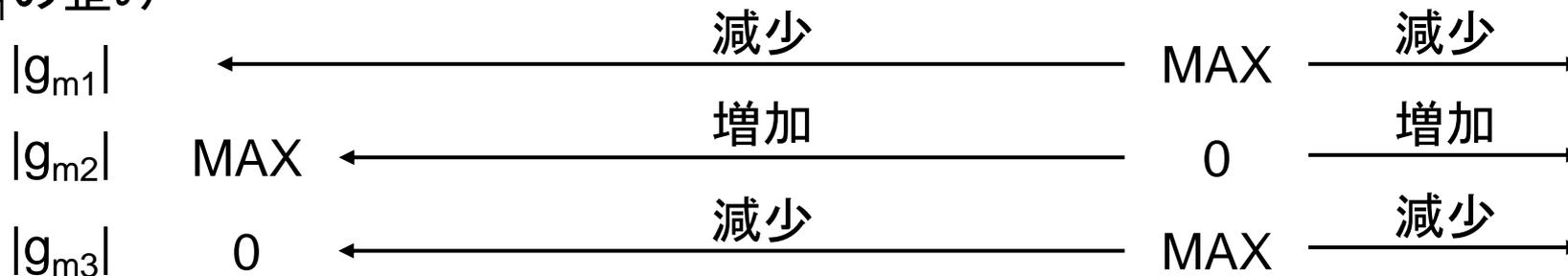
M_1 の歪み



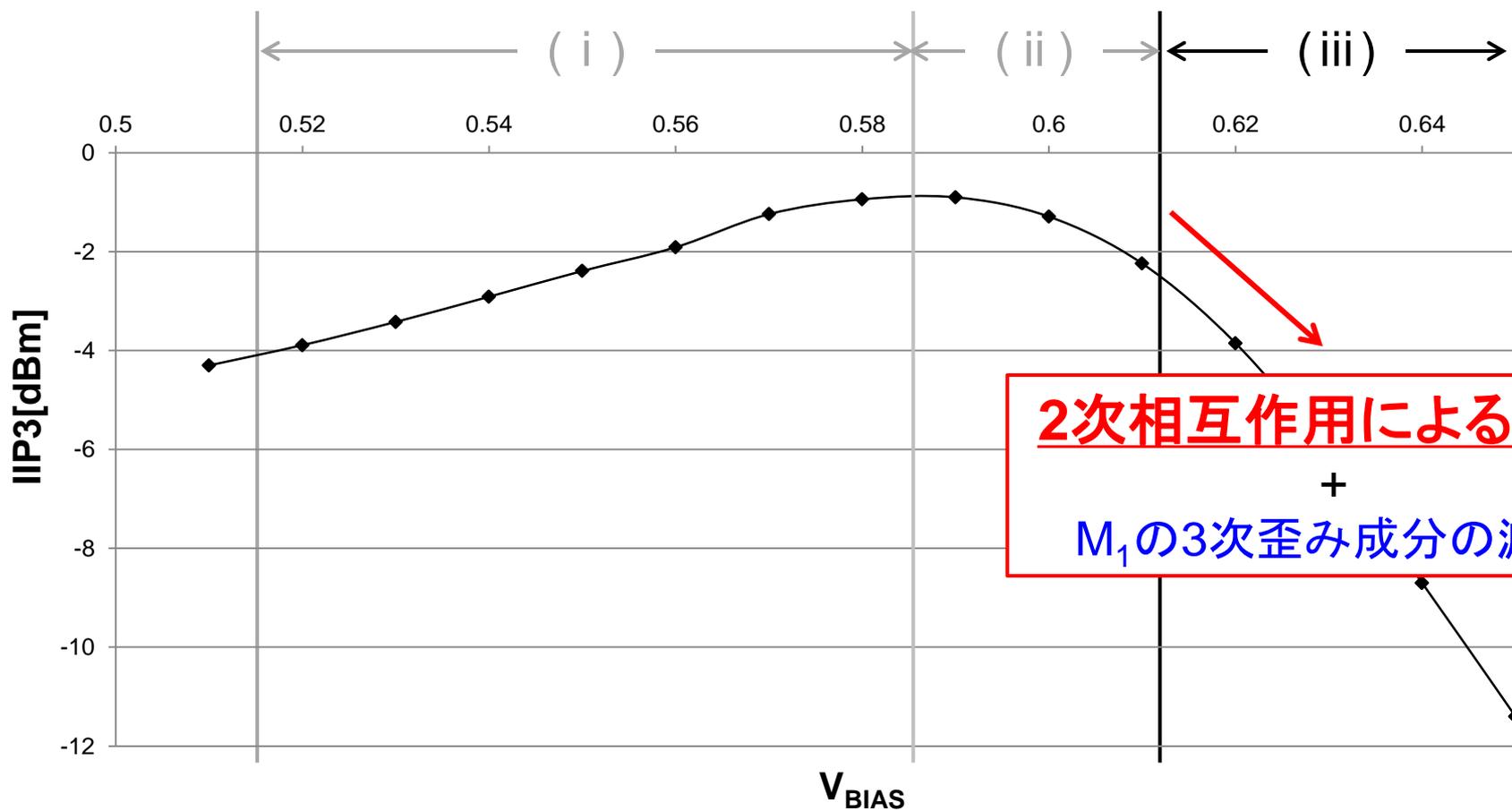
M_1 の歪み



M_1 の歪み

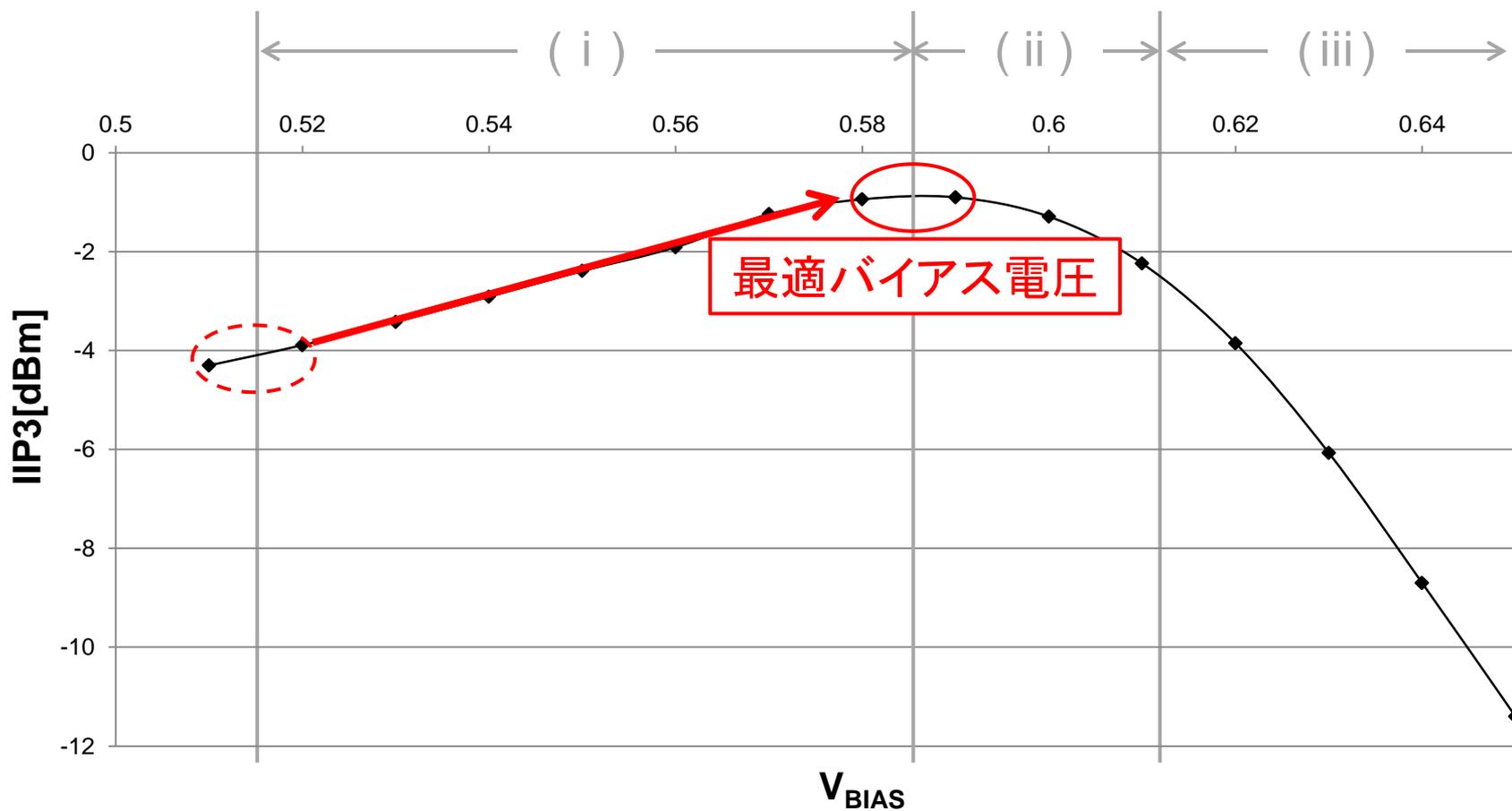


M_1 の歪み



2次相互作用による悪化
 +
 M_1 の3次歪み成分の減少

M_1 の歪み



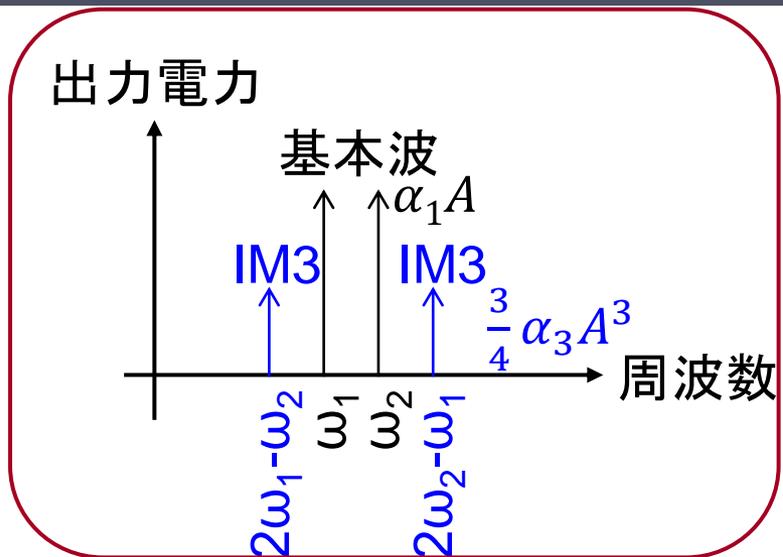
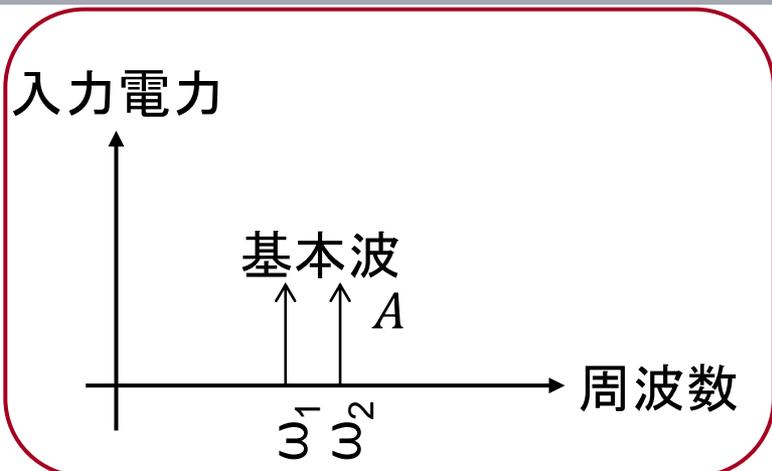
- ・研究背景と目的
- ・並列抵抗帰還型LNAの2次相互作用
- ・シミュレーション解析
- ・まとめと今後の課題

まとめ

- ・並列抵抗帰還型LNAにおける2次相互作用の解析を行った
- ・負帰還LNAのバイアス電圧に対する設計指針が得られた
- ・バイアス電圧によっては負帰還をかけると2次相互作用によってIIP3が悪化した

今後の課題

- ・2次相互作用を低減させる回路の検討
- ・バイアス電圧の変化に強い回路の検討
- ・バイアス電圧を最適値に設定するバイアス回路の検討



$x(t) \longrightarrow$ **Black Box** $\longrightarrow y(t)$

$$y(t) = \alpha_1 x(t) + \alpha_2 x(t)^2 + \alpha_3 x(t)^3$$

対数軸で
プロット

