

電気学会 群馬栃木研究会 2018年3月

演算増幅回路における 出力インピーダンスを用いた ループゲイン測定法の研究



群馬大学理工学部 電子情報理工学科

ムハマド アンワル 築地伸和

小堀康功 小林春夫

アウトライン

- 研究目的・背景
- 従来方法によるループゲイン測定原理
- 提案方法によるループゲイン測定原理
- シミュレーション結果
- まとめ

アウトライン

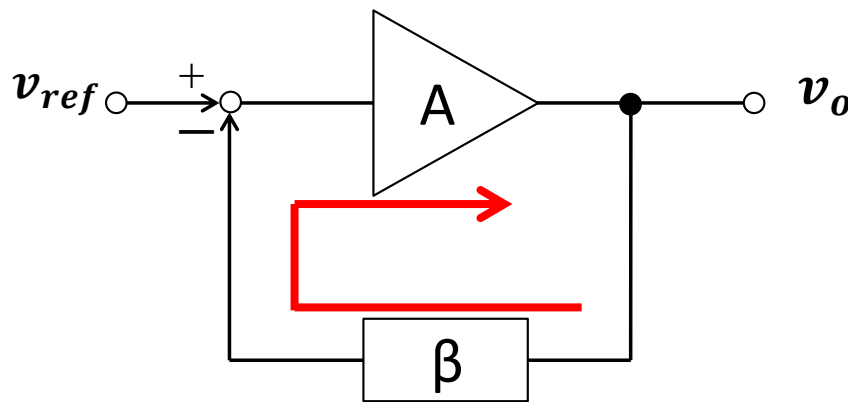
- 研究目的・背景
- 従来方法によるループゲイン測定原理
- 提案方法によるループゲイン測定原理
- シミュレーション結果
- まとめ

研究目的

演算増幅回路ループゲインを
ループ内信号源に挿入不要で
測定する手法を開発

研究背景

- 負帰還回路とは？
 - 出力信号の一部を入力に戻す
 - 出力の振幅を抑えて増幅回路の特性を改善できる
 - 増幅率は帰還率 β によって正確に決まる



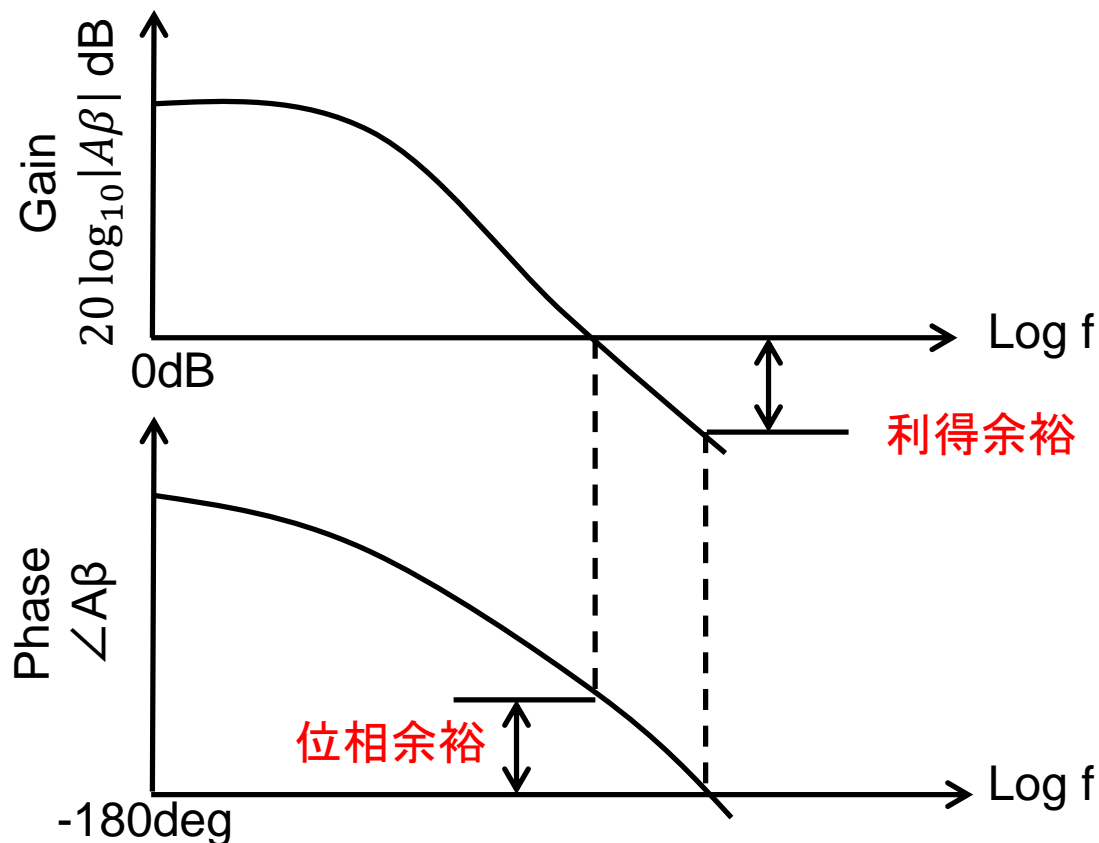
Loop Gain $T = A\beta$

$$\frac{v_o}{v_{ref}} = \frac{A}{1 + A\beta}$$
$$\approx \frac{1}{\beta}$$

$$A \gg 1$$

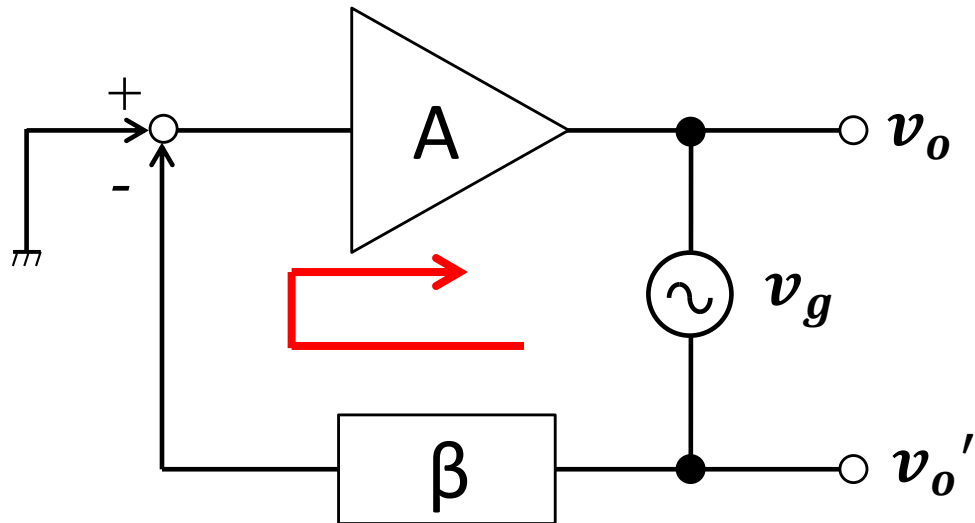
負帰還回路の安定性評価

- 演算増幅回路は負帰還回路⇒安定性評価が重要
- 安定性の評価指標
 - 位相余裕・利得余裕



従来の代表的なループゲイン測定法

- 電圧注入法

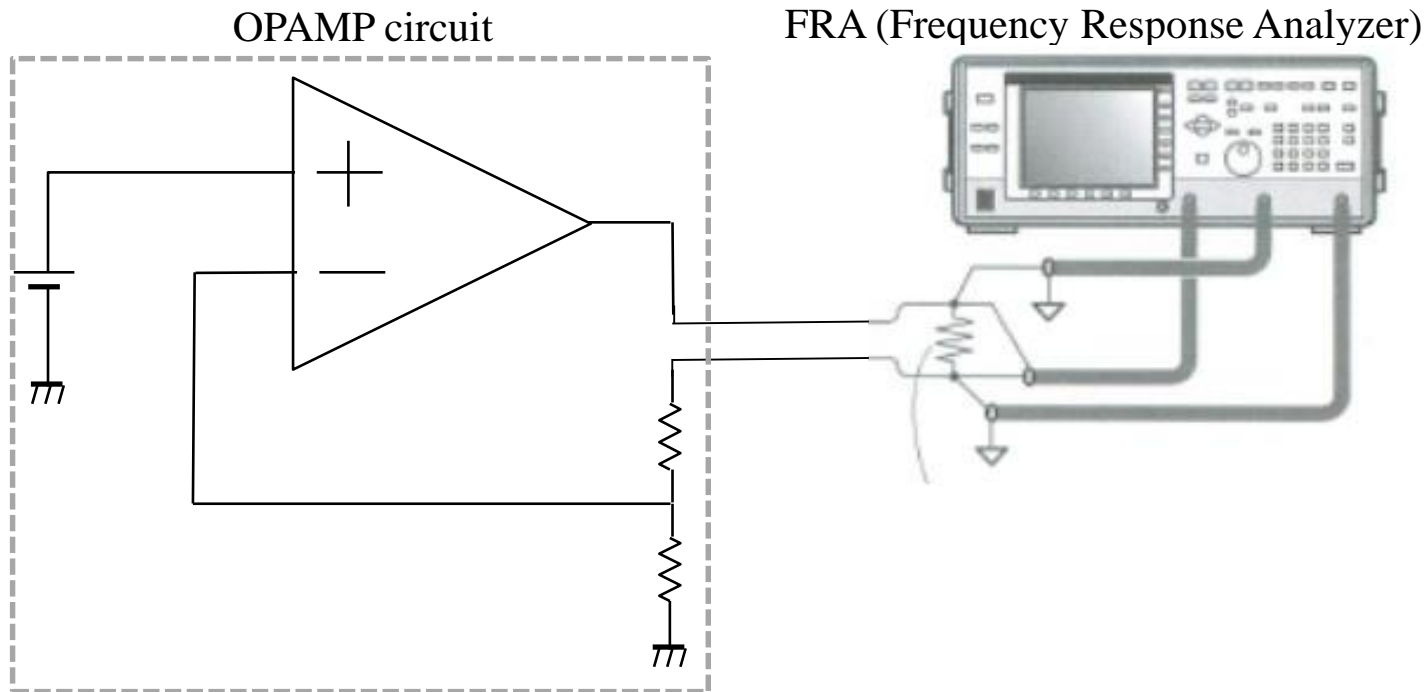


Loop Gain T

$$|T| = \left| \frac{v_o}{v_o'} \right| = A\beta$$

電圧注入法の問題点

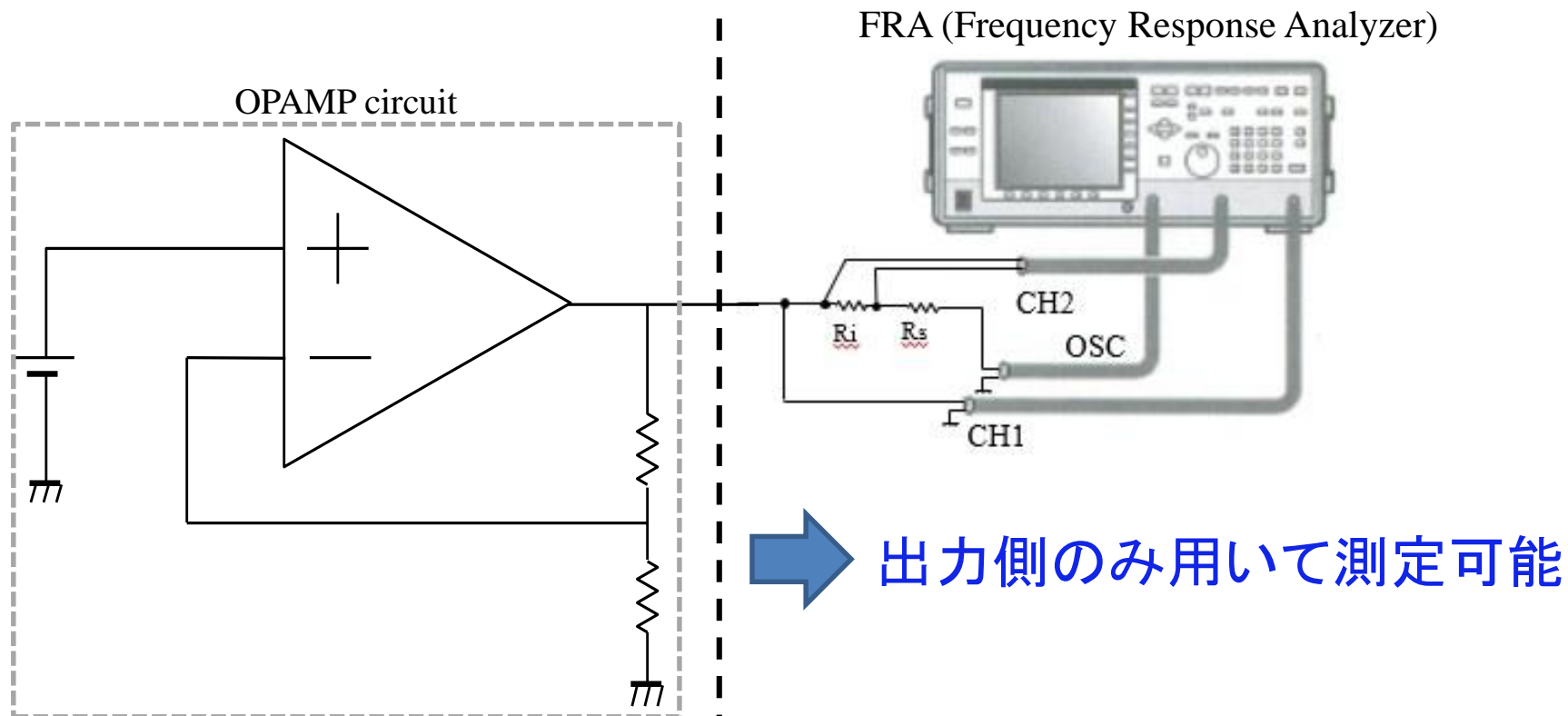
帰還回路に信号源の挿入が必要



- 帰還回路が集積化**されている** ⇒ 測定不可
- 帰還回路が集積化**されていない** ⇒ 基板改造要

本研究で提案する測定方法

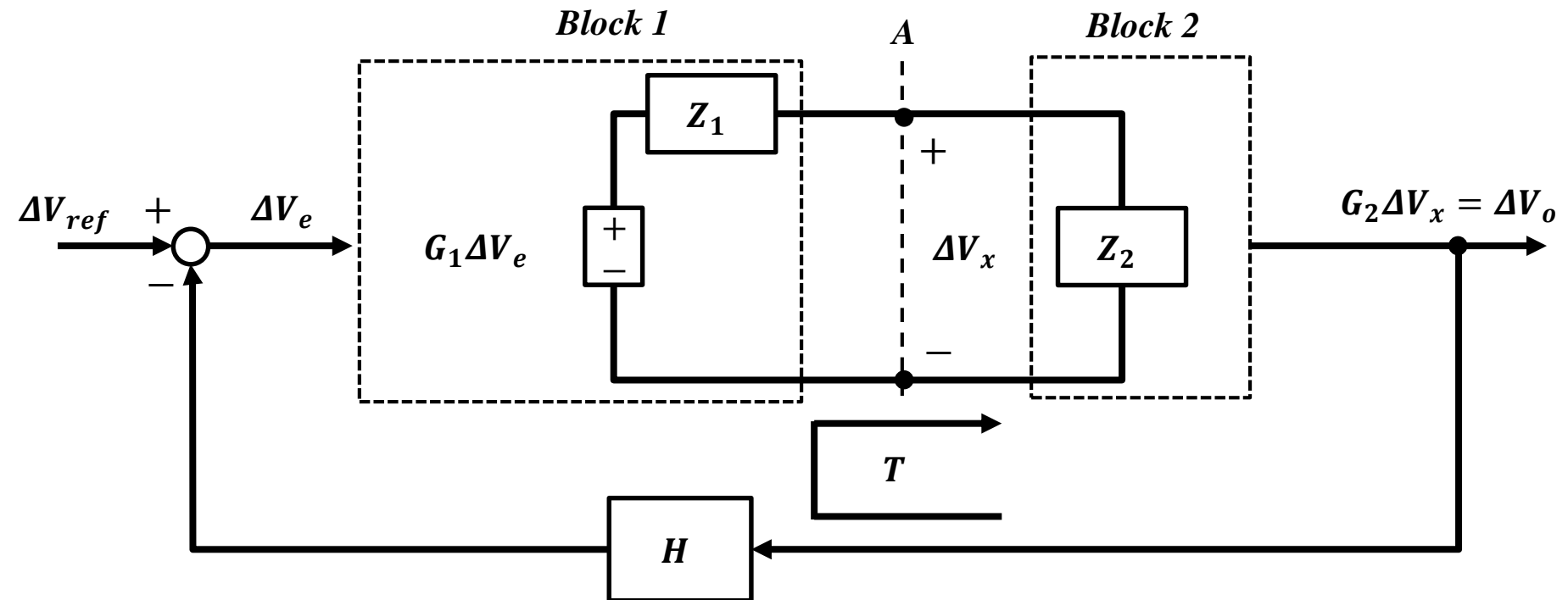
- 出力インピーダンスによるループゲイン測定法
- 帰還回路への信号源挿入は不要



アウトライン

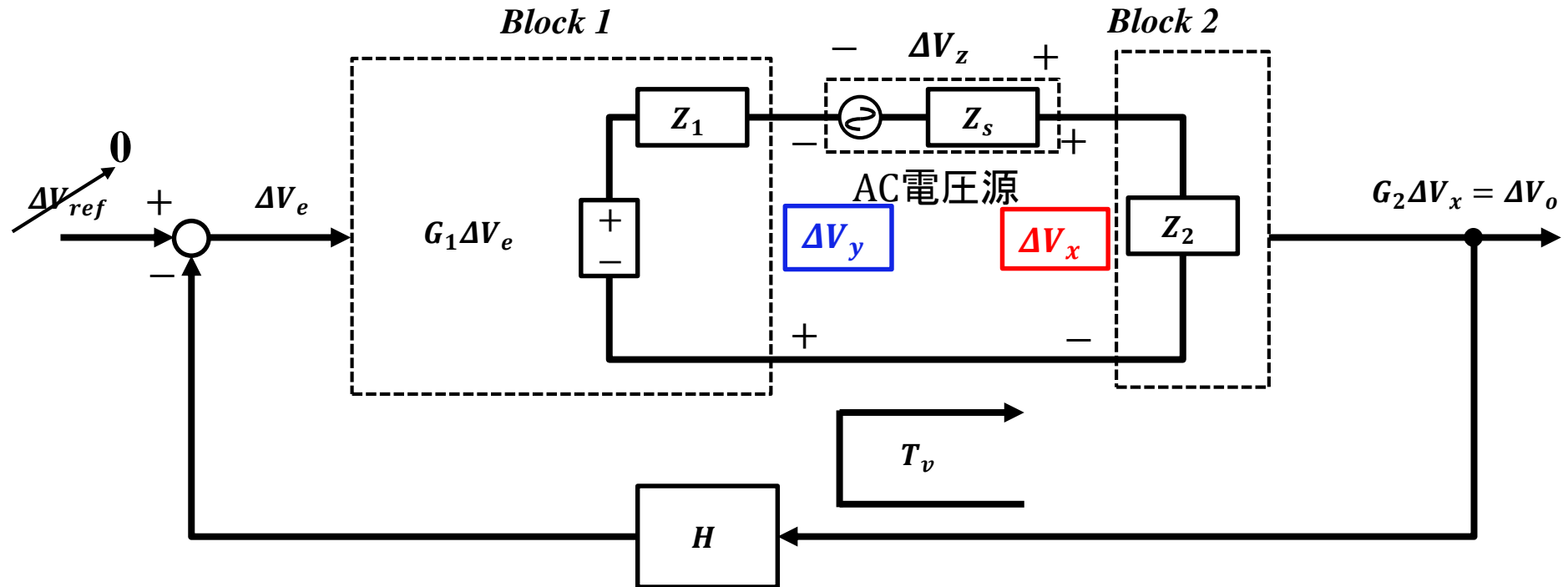
- 研究目的・背景
- 従来方法によるループゲイン測定原理
- 提案方法によるループゲイン測定原理
- シミュレーション結果
- まとめ

負帰還回路の伝達関数ブロック図



$$T = G_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right) G_2 H$$

電圧注入法によるループゲイン測定のブロック図



$$T_v = \left. \frac{\Delta V_y}{\Delta V_x} \right|_{\Delta V_{ref}=0, \Delta V_{in}=0}$$

$$T_v = T \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) + \frac{Z_1}{Z_2}$$

問題点

$$T_v = T \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) + \frac{Z_1}{Z_2}$$

- $Z_1 \gg Z_2$ を満たすアプリケーションでなければ適用不可

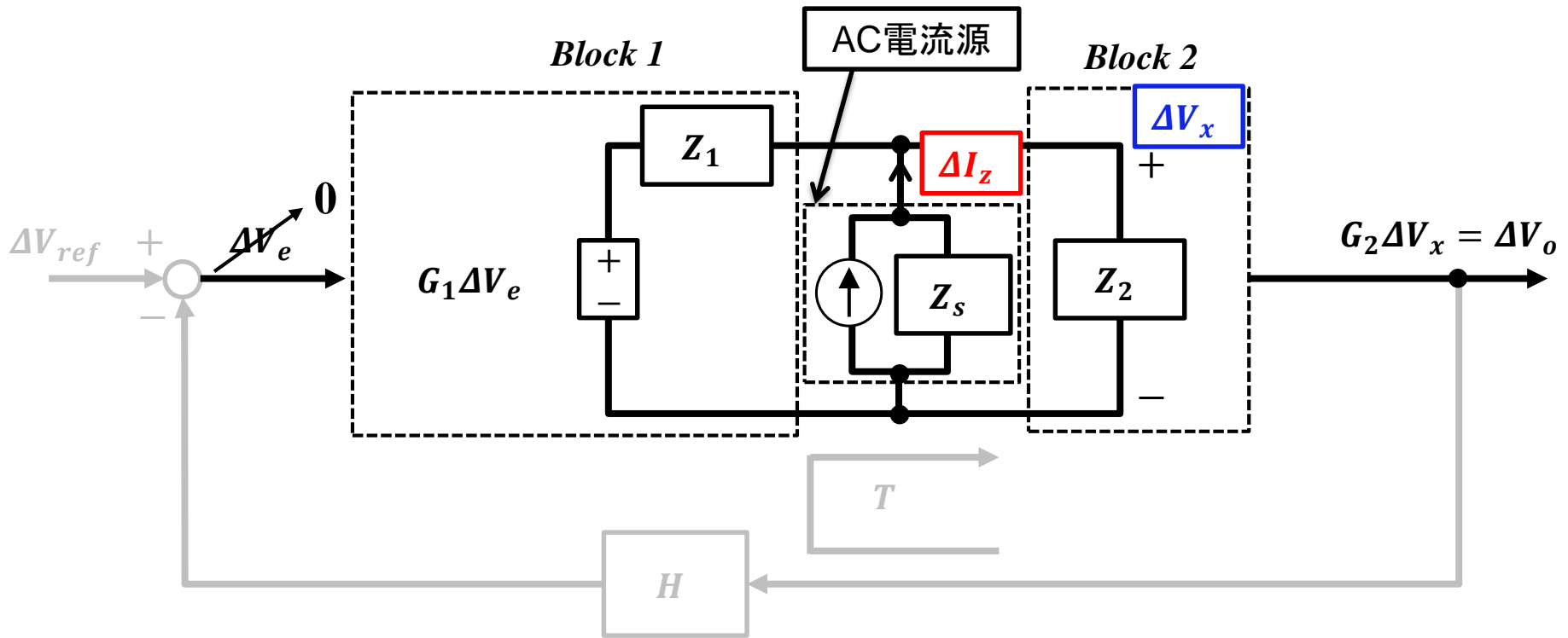
$$Z_1 \gg Z_2 \quad \longrightarrow \quad T_v \approx T$$

- AC信号源を直列に挿入する必要がある

アウトライン

- 研究目的・背景
- 従来方法によるループゲイン測定原理
- **提案方法によるループゲイン測定原理**
- シミュレーション結果
- まとめ

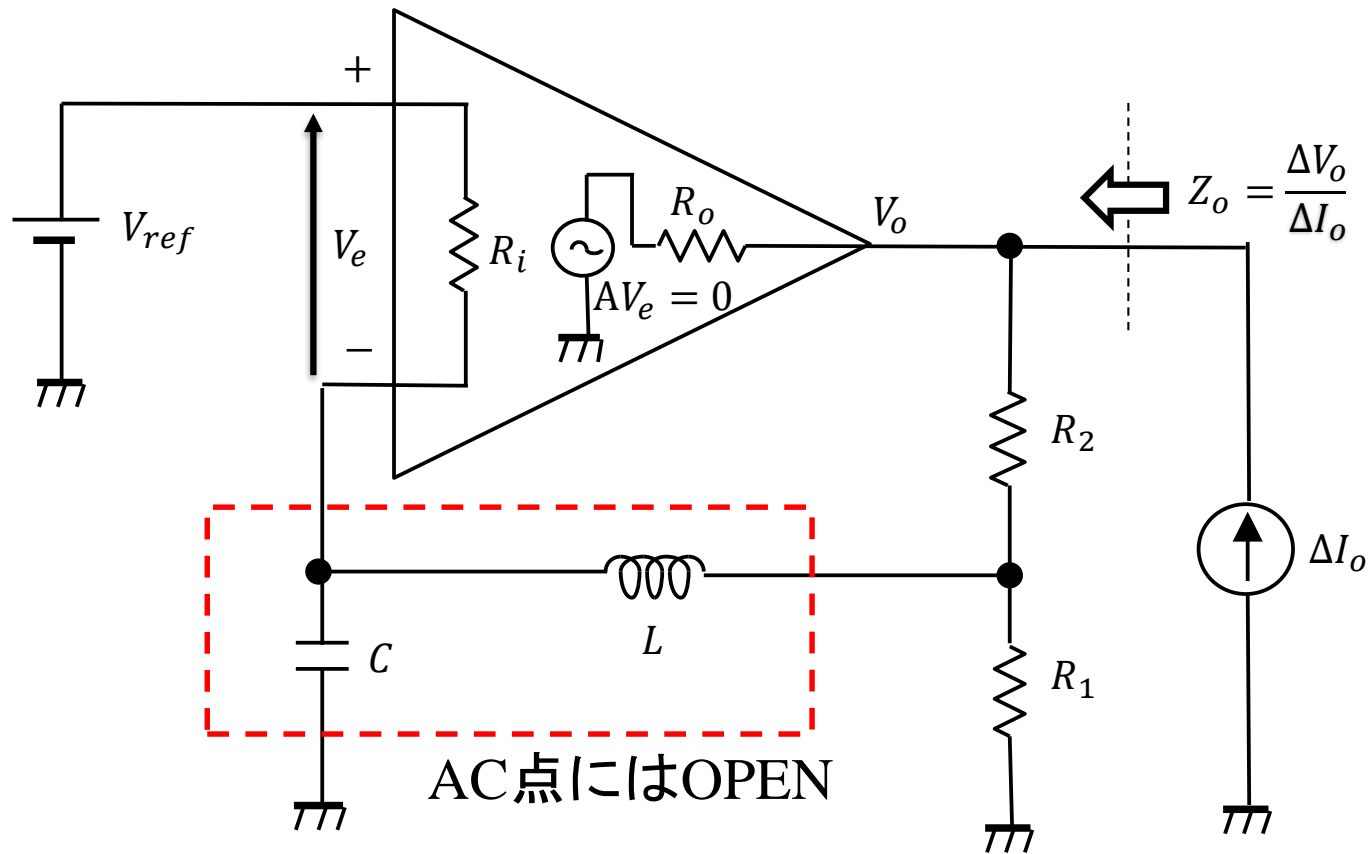
開ループ出カインピーダンス Z_o の定義



開ループ
出カインピーダンス

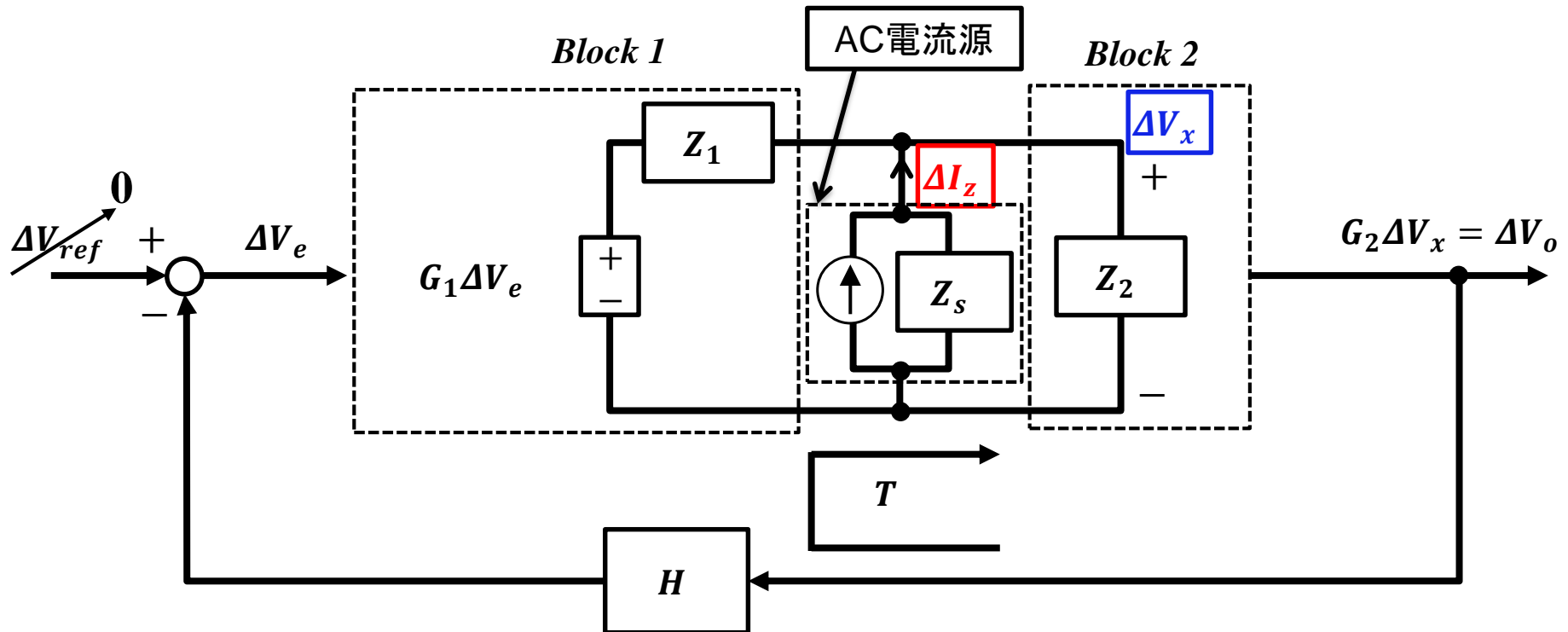
$$Z_o \equiv \left. \frac{\Delta V_x}{\Delta I_z} \right|_{\Delta V_e=0, \Delta V_{in}=0}$$

非反転増幅回路における Z_o の測定



$$Z_o = R_o // (R_1 + R_2) = \frac{R_o (R_1 + R_2)}{R_o + R_1 + R_2}$$

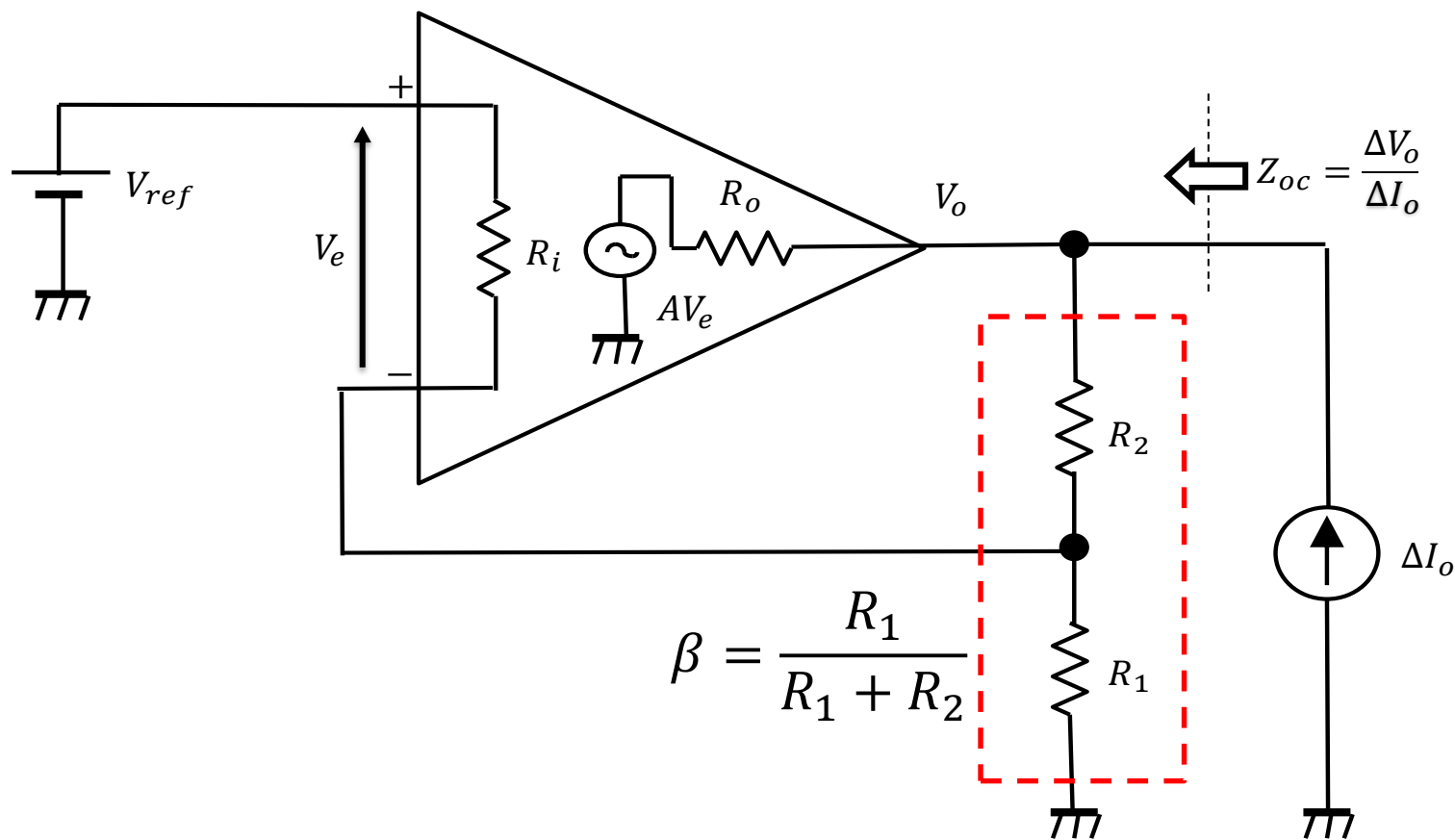
閉ループ出カインピーダンス Z_{oc} の定義



閉ループ出カインピーダンス

$$Z_{oc} \equiv \left. \frac{\Delta V_x}{\Delta I_z} \right|_{\Delta V_{in}=0, \Delta V_{ref}=0}$$

非反転増幅回路における閉ループゲイン



$$Z_{oc} = \frac{Z_o}{1 + A\beta} = \frac{Z_o}{1 + T}$$

出カインピーダンスによるループゲインの定義

$$Z_{oc} = \frac{Z_o}{1 + T} \quad \rightarrow \quad T = \frac{Z_o - Z_{oc}}{Z_{oc}}$$

利得計算式 $20 \log_{10} |T| = 20 \log_{10} \left[\frac{|Z_o - Z_{oc}|}{|Z_{oc}|} \right]$

位相計算式 $\arg(T) = \arg(Z_o - Z_{oc}) - \arg(Z_{oc})$

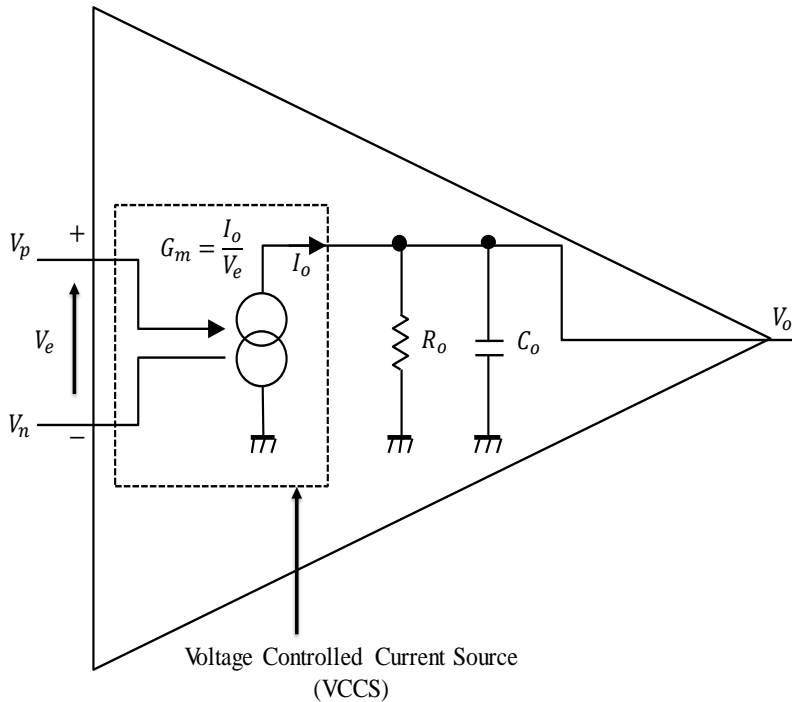
利点

- Z_1 、 Z_2 に依存しない
- AC信号源の挿入は不要

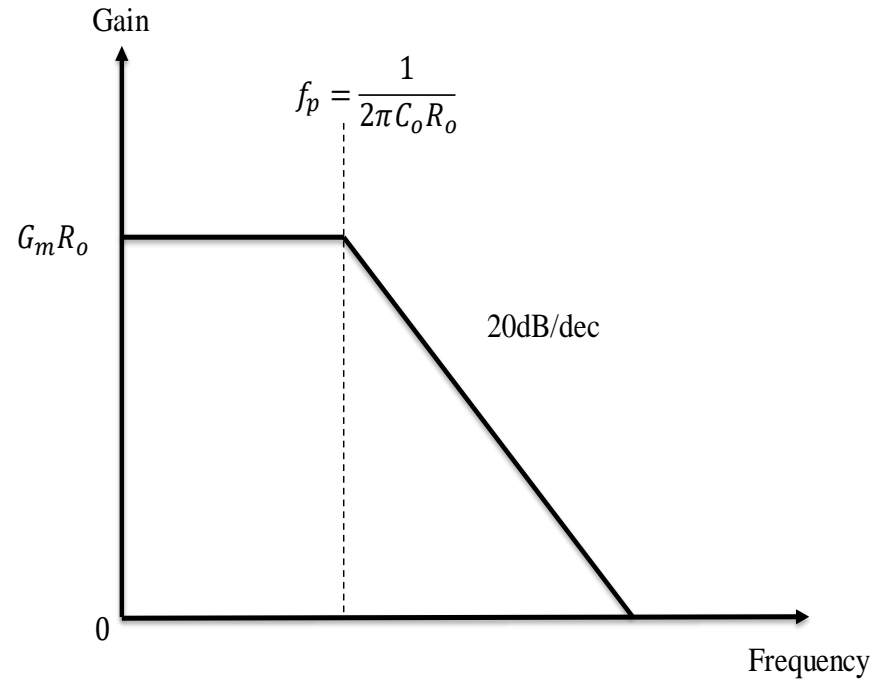
アウトライン

- 研究目的・背景
- 従来方法によるループゲイン測定原理
- 提案方法によるループゲイン測定原理
- **シミュレーション結果**
- まとめ

OPAMPの一次遅れモデル



回路図

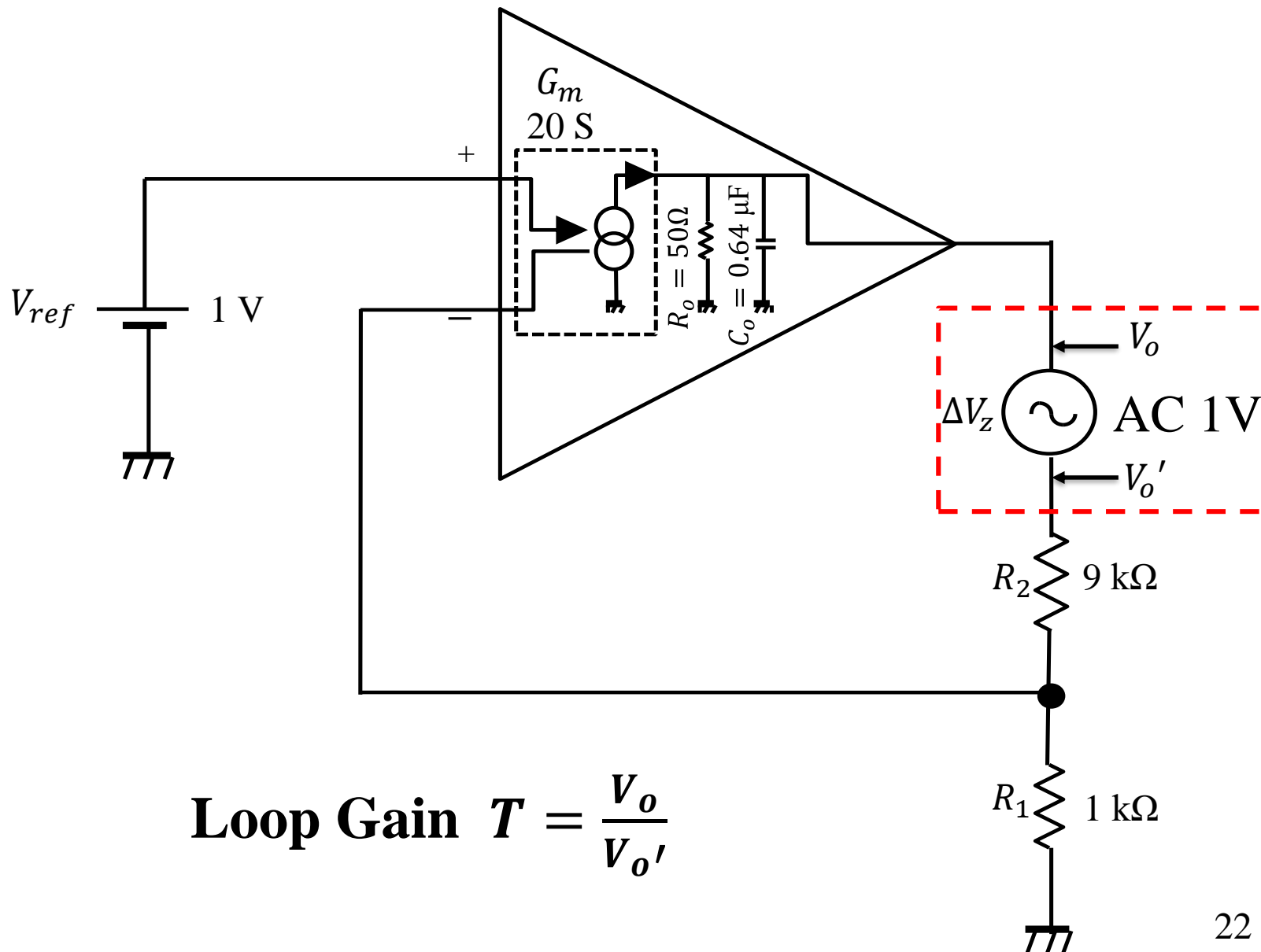


周波数特性

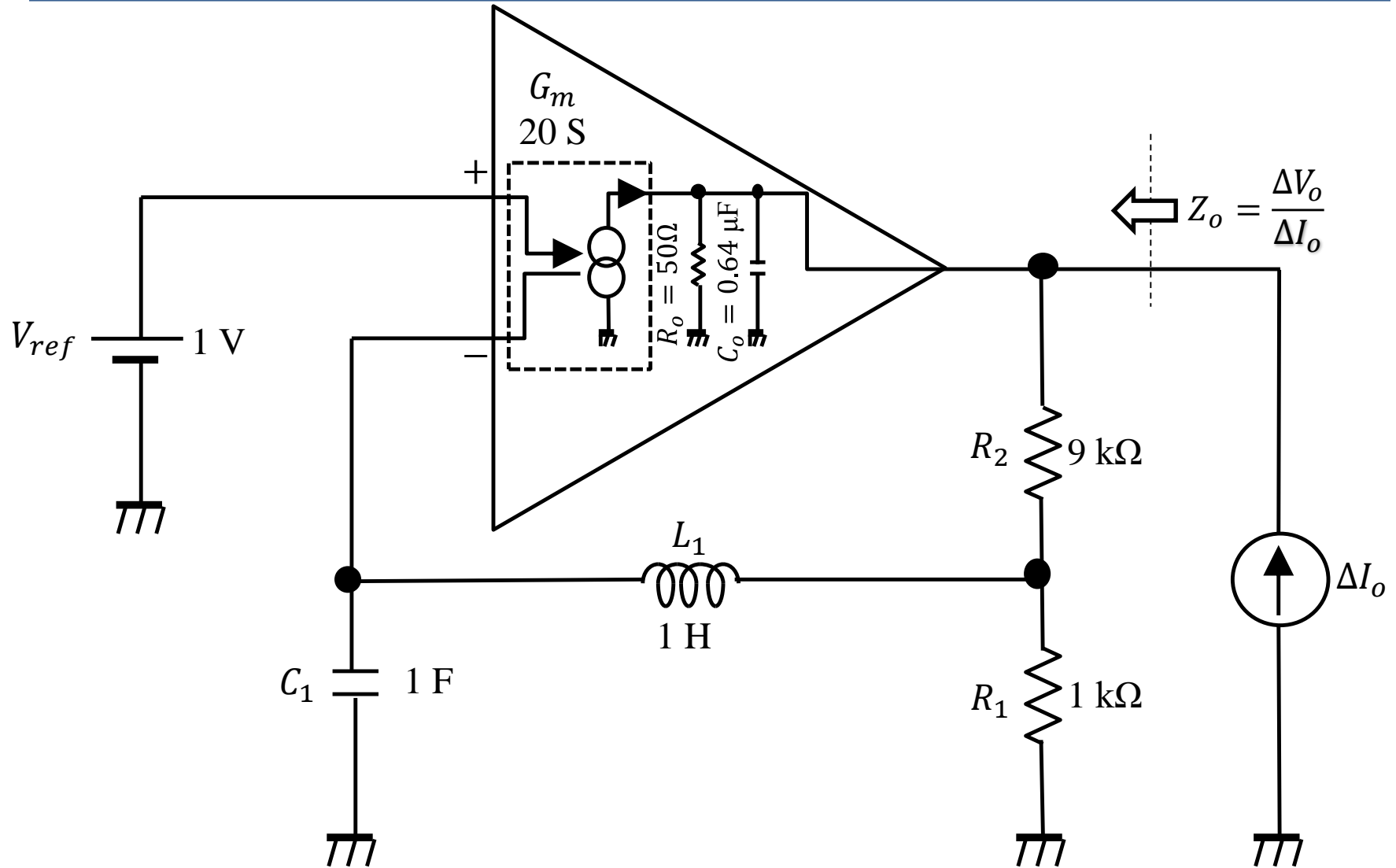
$$\frac{V_o}{V_e} = G_m R_o \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_p}}$$

$$\begin{aligned} \text{DCゲイン} &= G_m R_o \\ \text{1次極} &= f_p = \frac{1}{2\pi C_o R_o} \end{aligned}$$

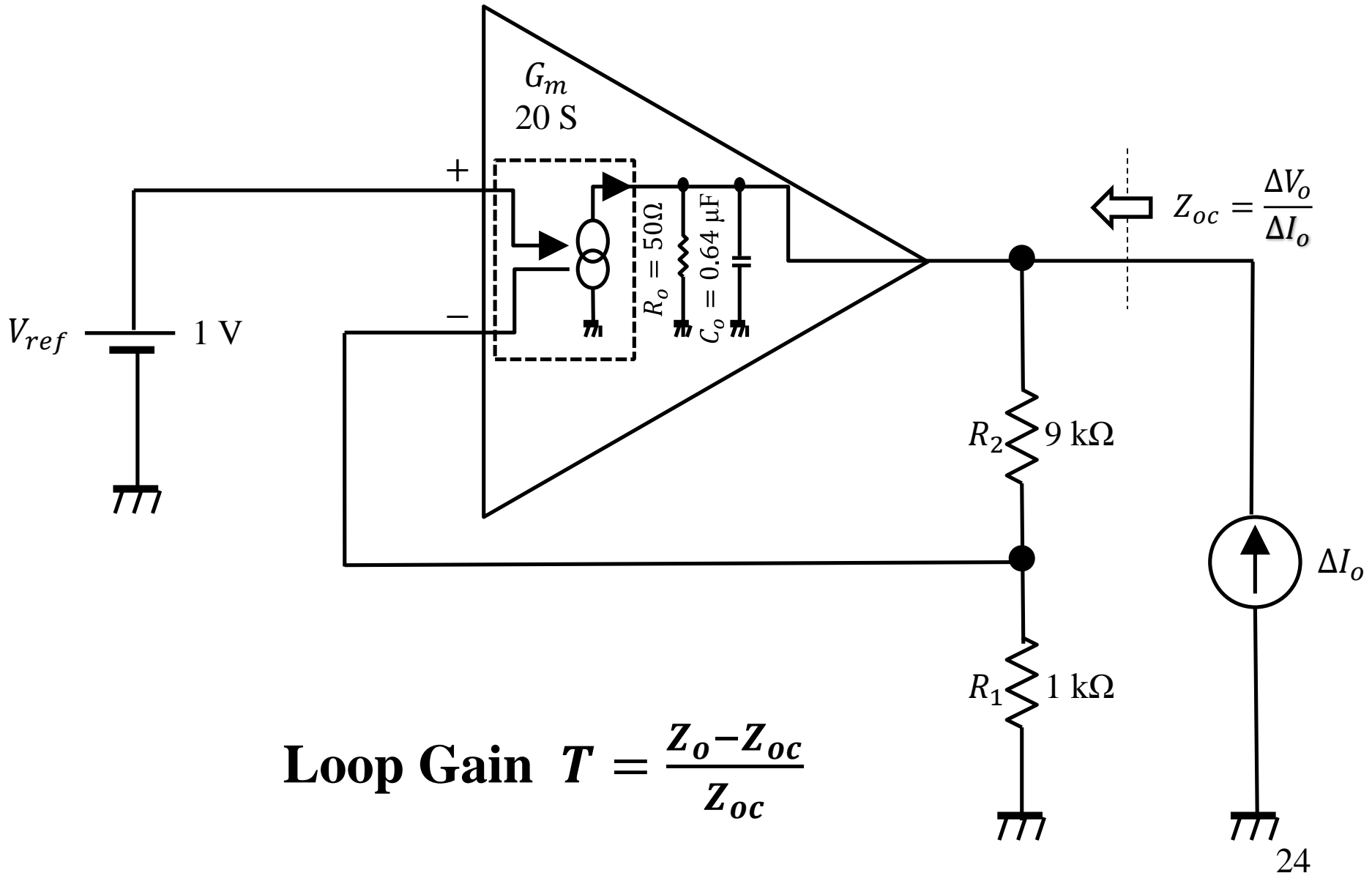
従来方法を用いたシミュレーション回路



提案方法: Z_o のシミュレーション回路

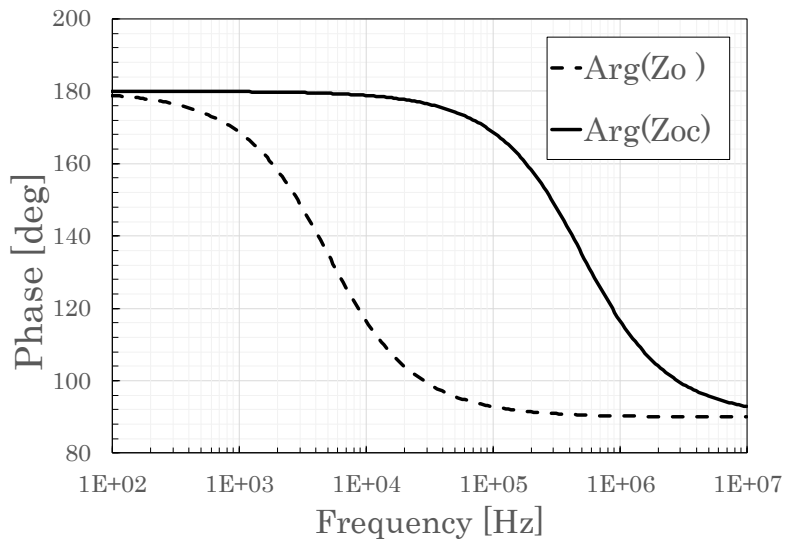
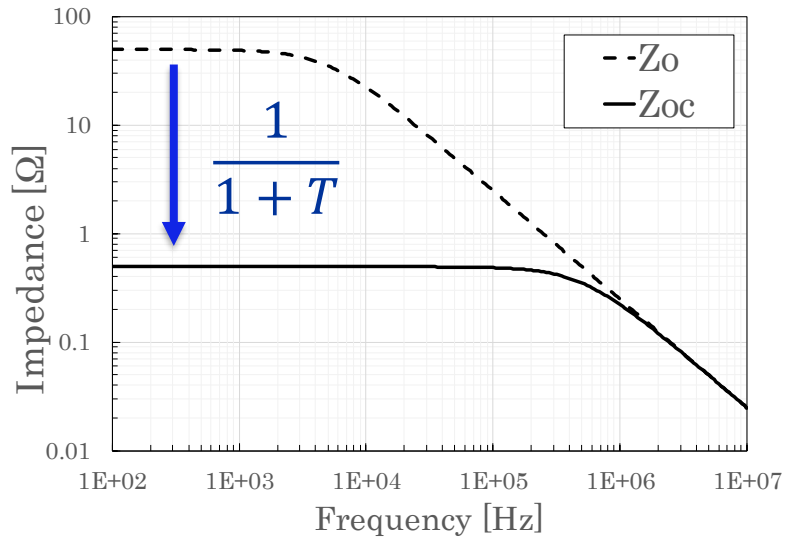


提案方法: Z_{oc} のシミュレーション回路

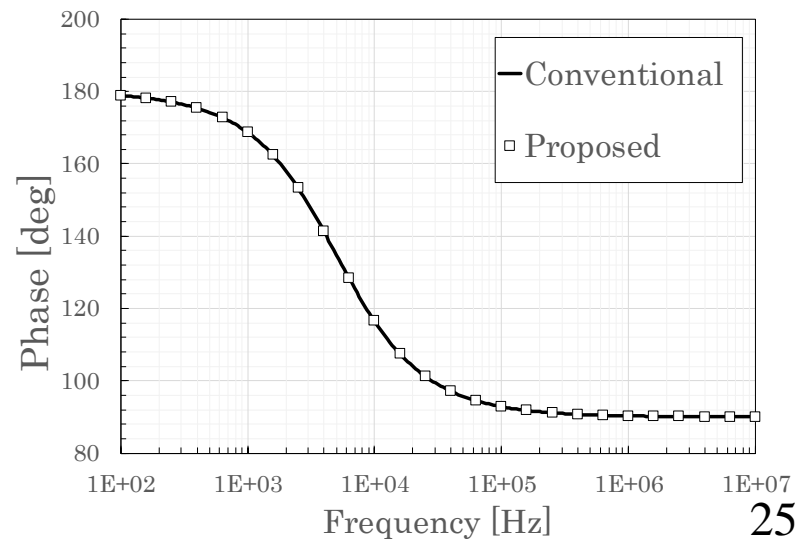
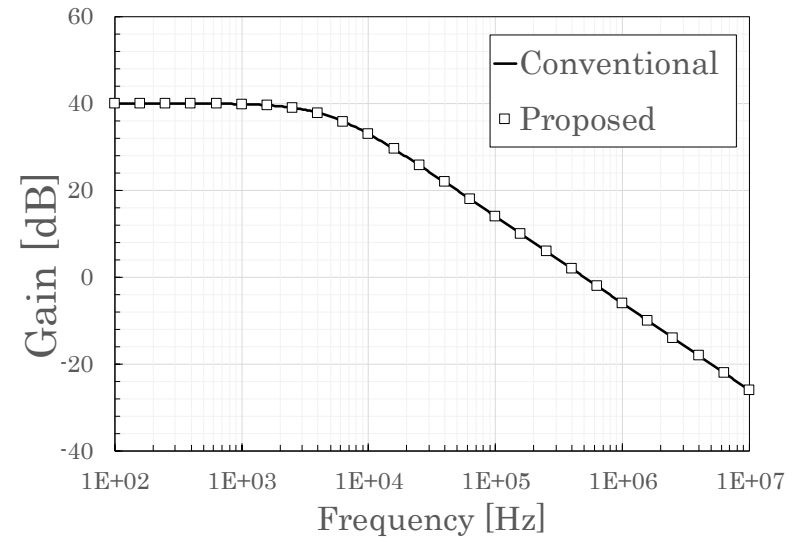


シミュレーション結果

インピーダンス



ループゲイン



アウトライン

- 研究目的・背景
- 従来方法によるループゲイン測定原理
- 提案方法によるループゲイン測定原理
- シミュレーション結果
- **まとめ**

まとめ

- 出力インピーダンスを用いたループゲイン測定方法を提案
 - 従来: 信号源を帰還回路内に**挿入要**
 - 提案: 信号源を帰還回路内に**挿入不要**
- 提案方法の測定原理を導出
- 提案方法の結果と従来方法の結果と一致