

第7回 電気学会東京支部栃木・群馬支所 合同研究発表会

降圧形DC-DCコンバータにおける 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
GUNMA UNIVERSITY

群馬大学大学院理工学府

理工学専攻電子情報・数理領域

小林研究室 博士後期課程3年 築地 伸和

アウトライン

- 研究背景・目的
- 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
- 実機評価結果
- まとめ

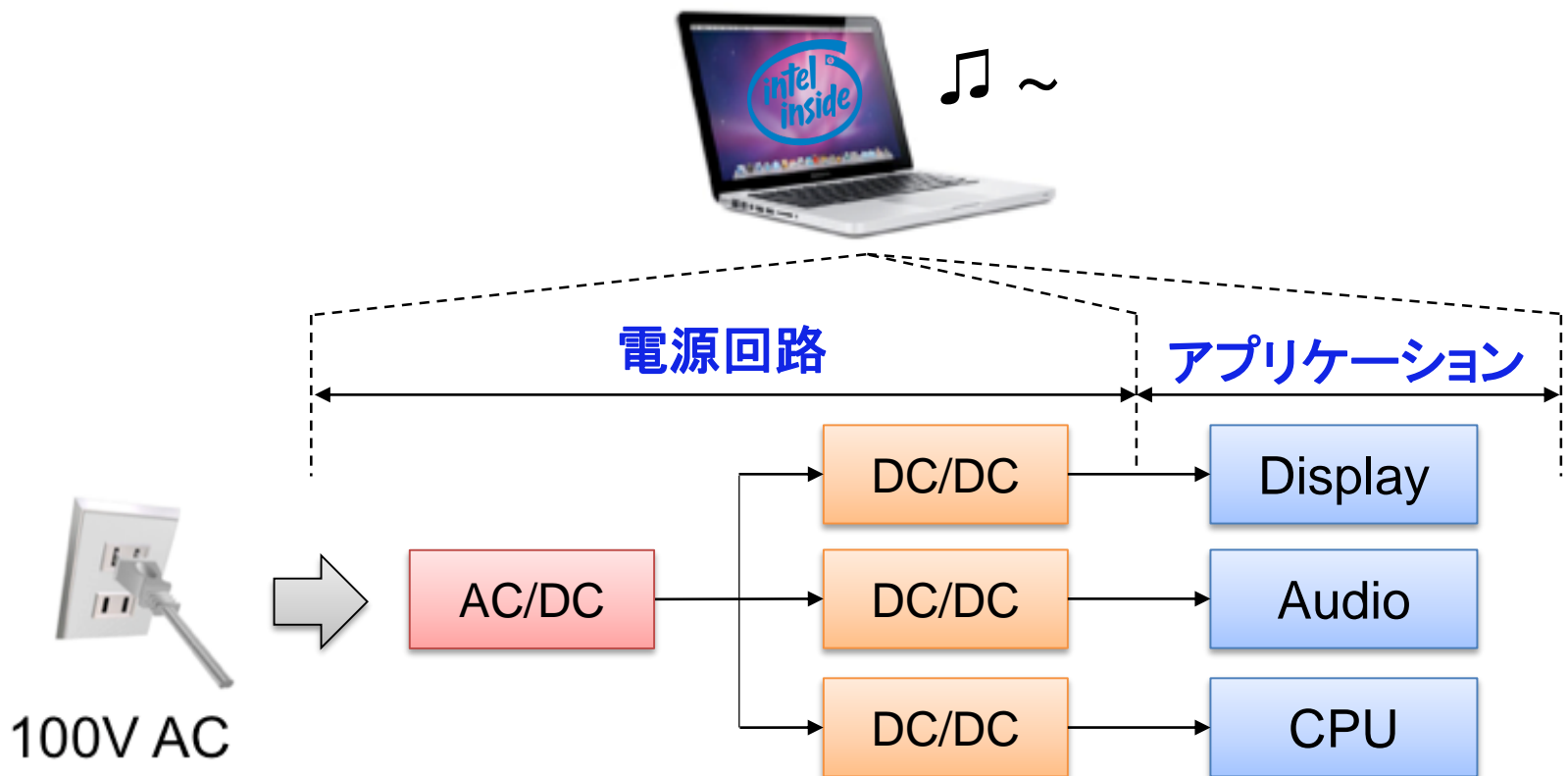
アウトライン

- **研究背景・目的**
- 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
- 実機評価結果
- まとめ

研究背景

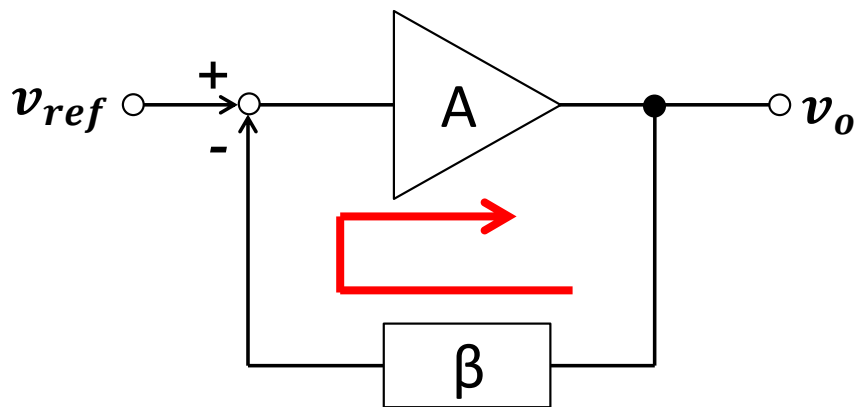
- 電源回路とは？

- 各負荷に必要な電圧に変換・安定供給するための回路
- 電子機器の動作に電源回路は必須

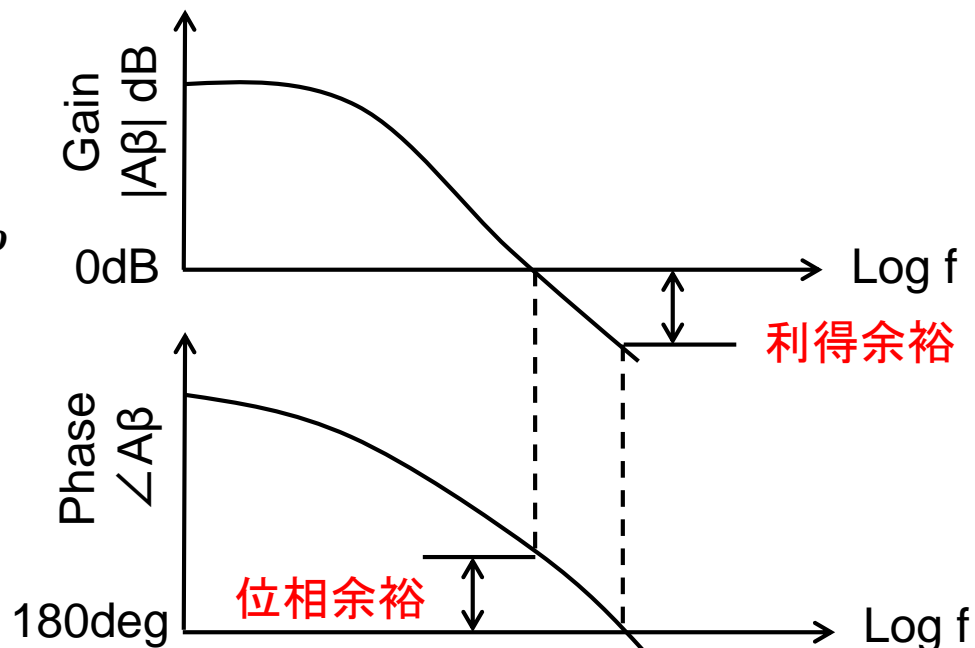


電源回路の安定性評価

- 電源回路は負帰還制御⇒安定性評価が重要
- 安定性の評価指標
 - 位相余裕・利得余裕

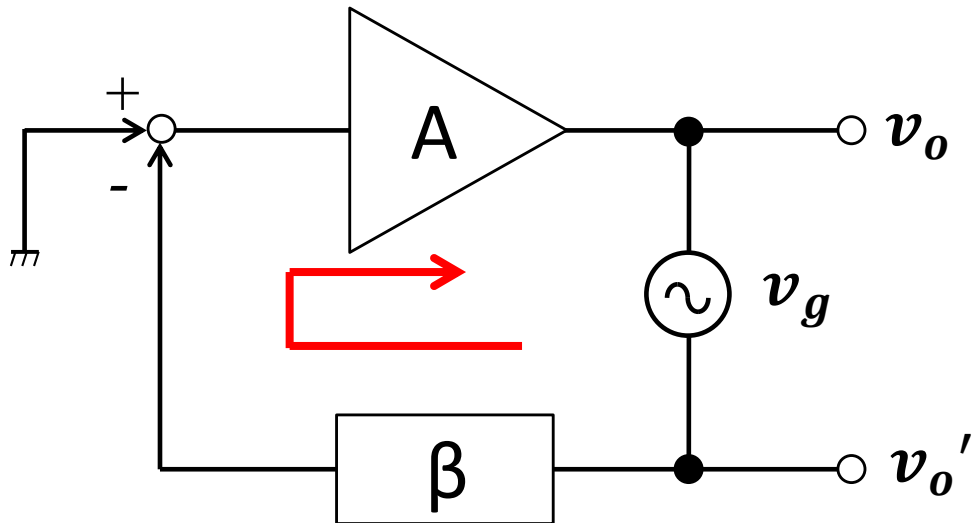


Loop Gain $T = A\beta$



代表的なループゲイン測定法

- 電圧注入法

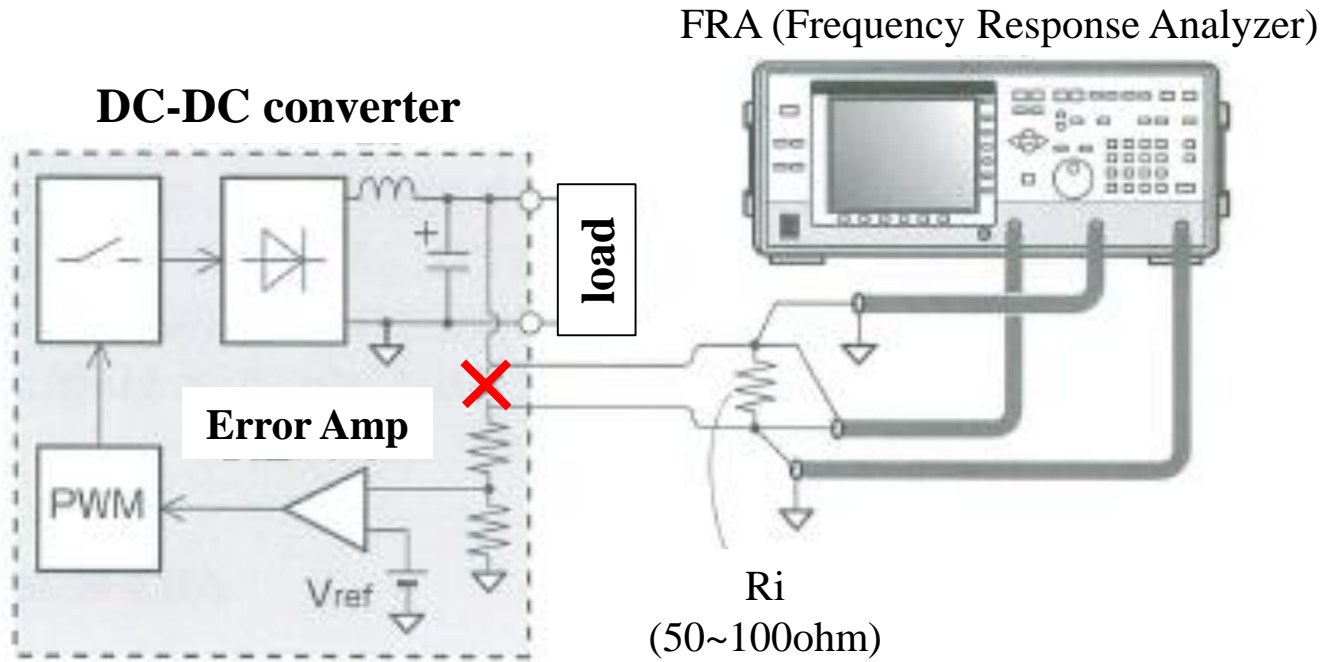


Loop Gain T

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

電圧注入法の問題点

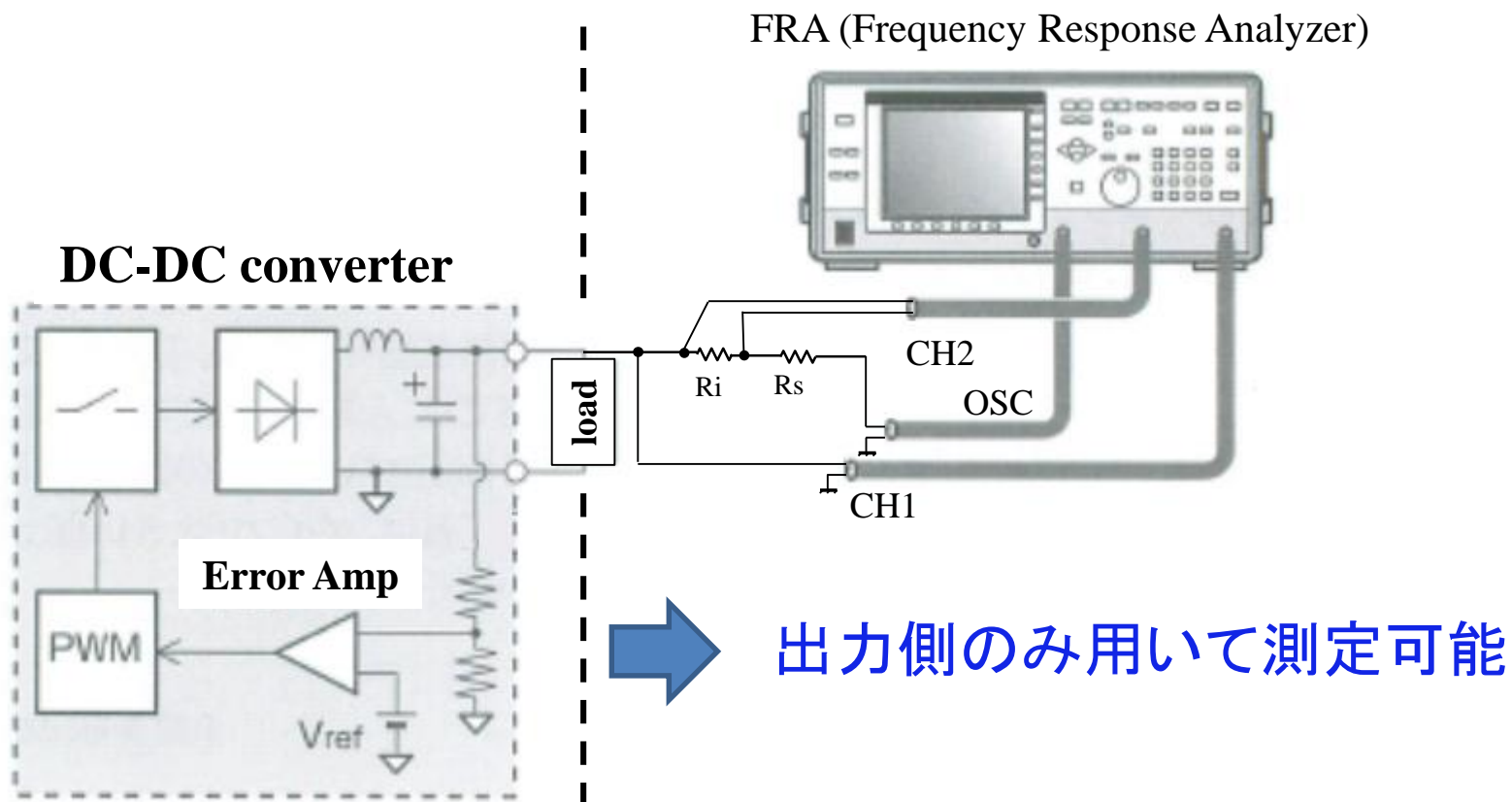
帰還回路に信号源の注入が必要



- 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** ⇒ 基板要改造

本研究で提案する測定方法

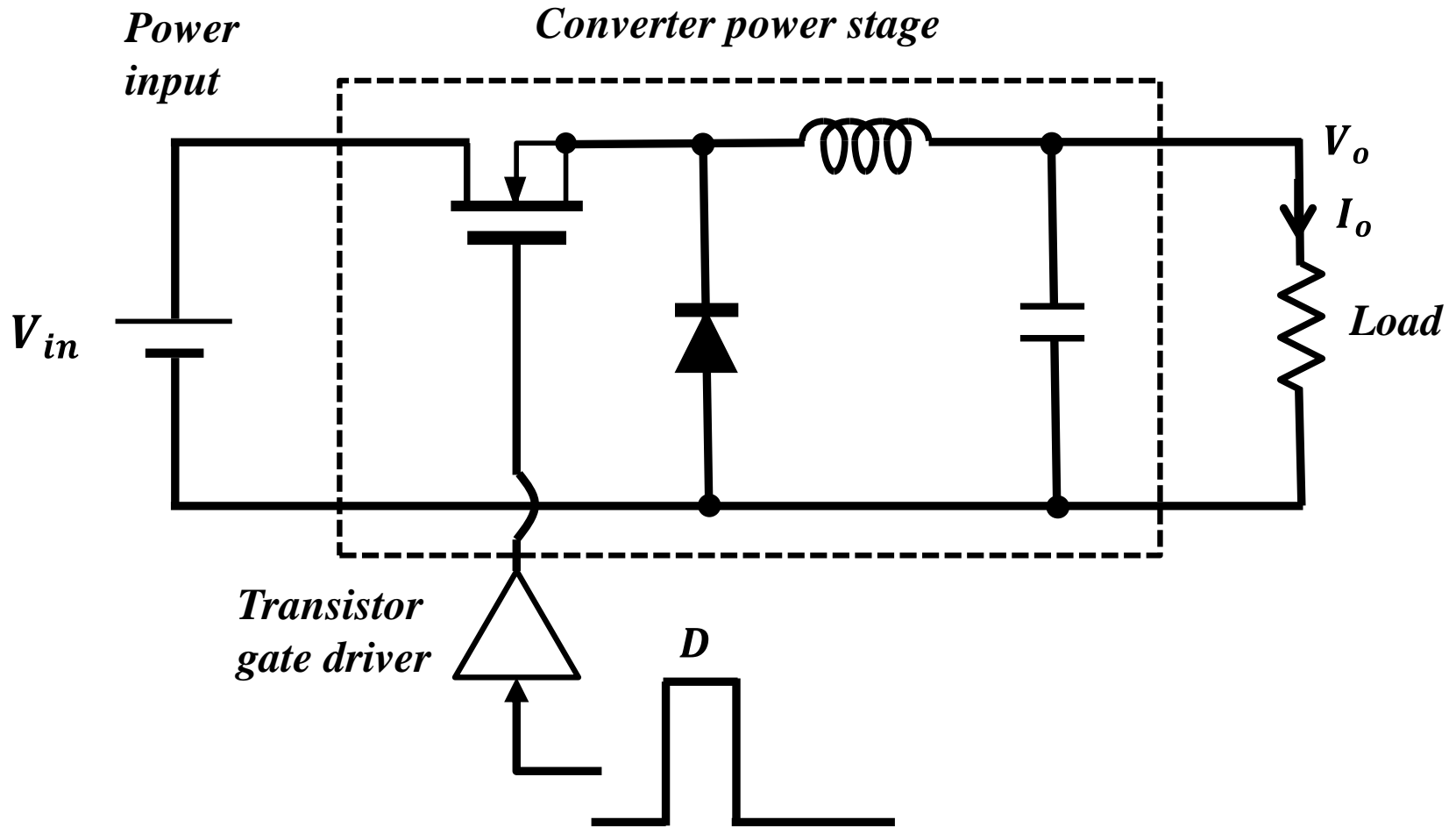
- 出力インピーダンスによるループゲイン測定法
- 帰還回路への信号源注入は不要



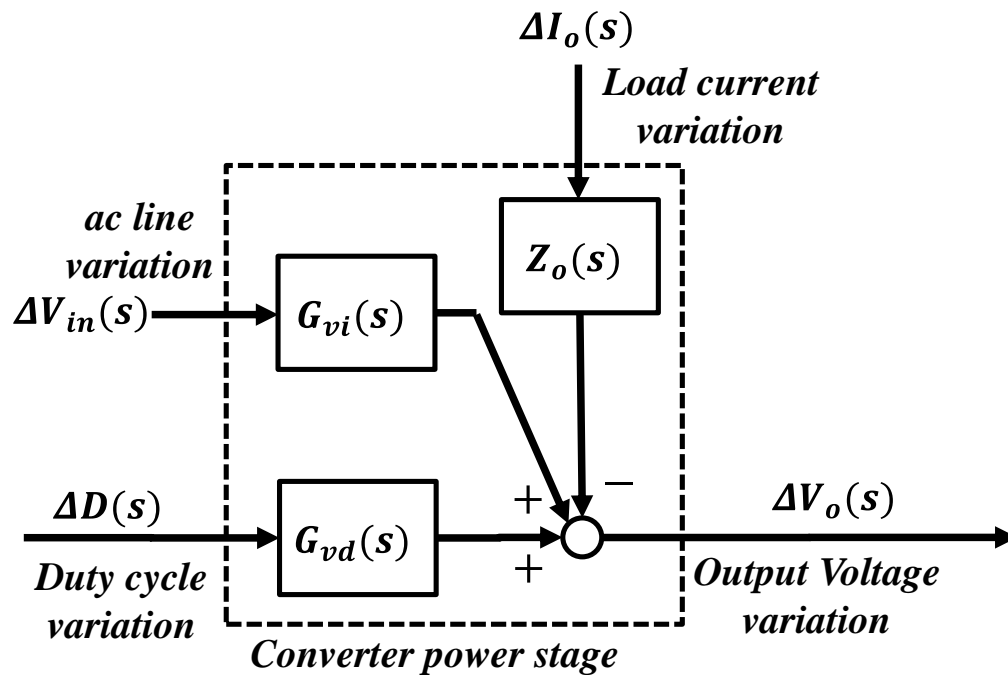
アウトライン

- 研究背景・目的
- 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
- 実機評価結果
- まとめ

開ループ降圧DC-DCコンバータ回路図



開ループ伝達関数ブロック図

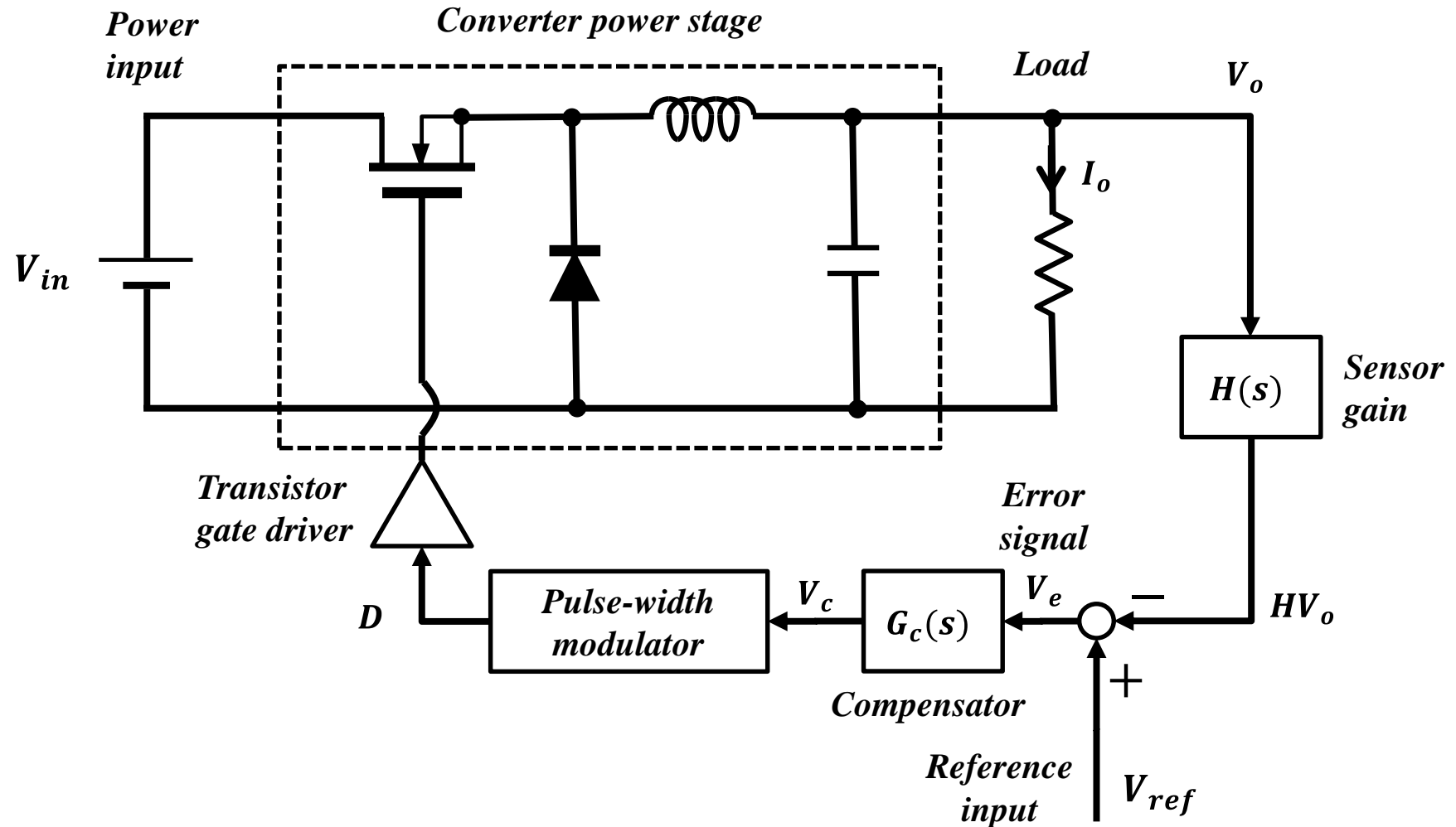


$$\Delta V_o = G_{vd}\Delta D + G_{vi}\Delta V_{in} - Z_o\Delta I_o$$

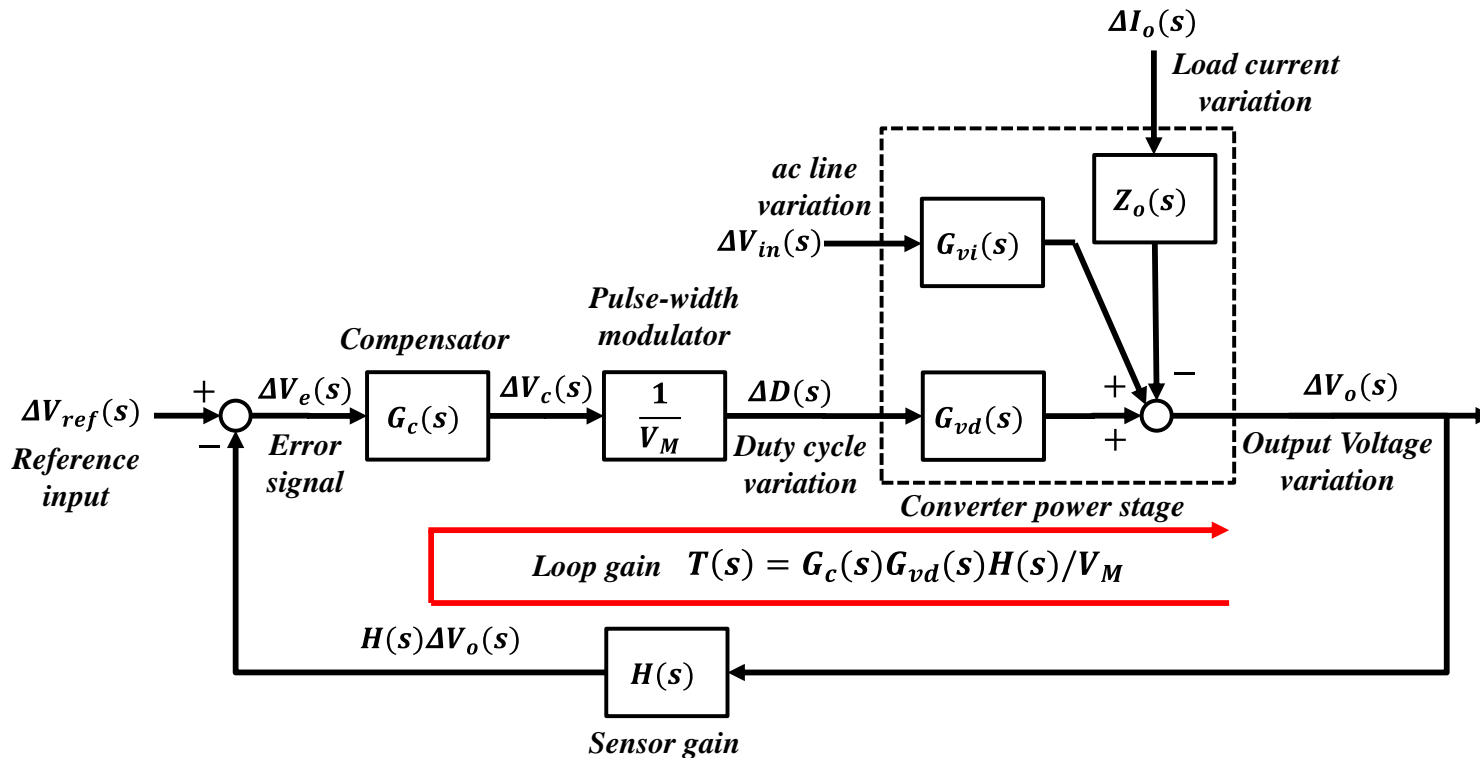
開ループ
出カインピーダンス

$$Z_o \equiv - \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta I_o} \right|_{\Delta D=0, \Delta V_{in}=0}$$

閉ループ降圧DC-DCコンバータ回路図



閉ループ伝達関数ブロック図



$$\Delta V_o = \frac{1}{H} \frac{T}{1+T} \Delta V_{ref} + \frac{G_{vi}}{1+T} \Delta V_{in} - \frac{Z_o}{1+T} \Delta I_o$$

閉ループ
出カインピーダンス

$$Z_{oc} \equiv - \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta I_o} \right|_{\Delta V_{ref}=0, \Delta V_{in}=0} = \frac{Z_o}{1+T}$$

出カインピーダンスによるループゲインの定義

$$Z_{oc}(s) = \frac{Z_o(s)}{1 + T(s)} \quad \Rightarrow \quad T(s) = \frac{Z_o(s) - Z_{oc}(s)}{Z_{oc}(s)}$$

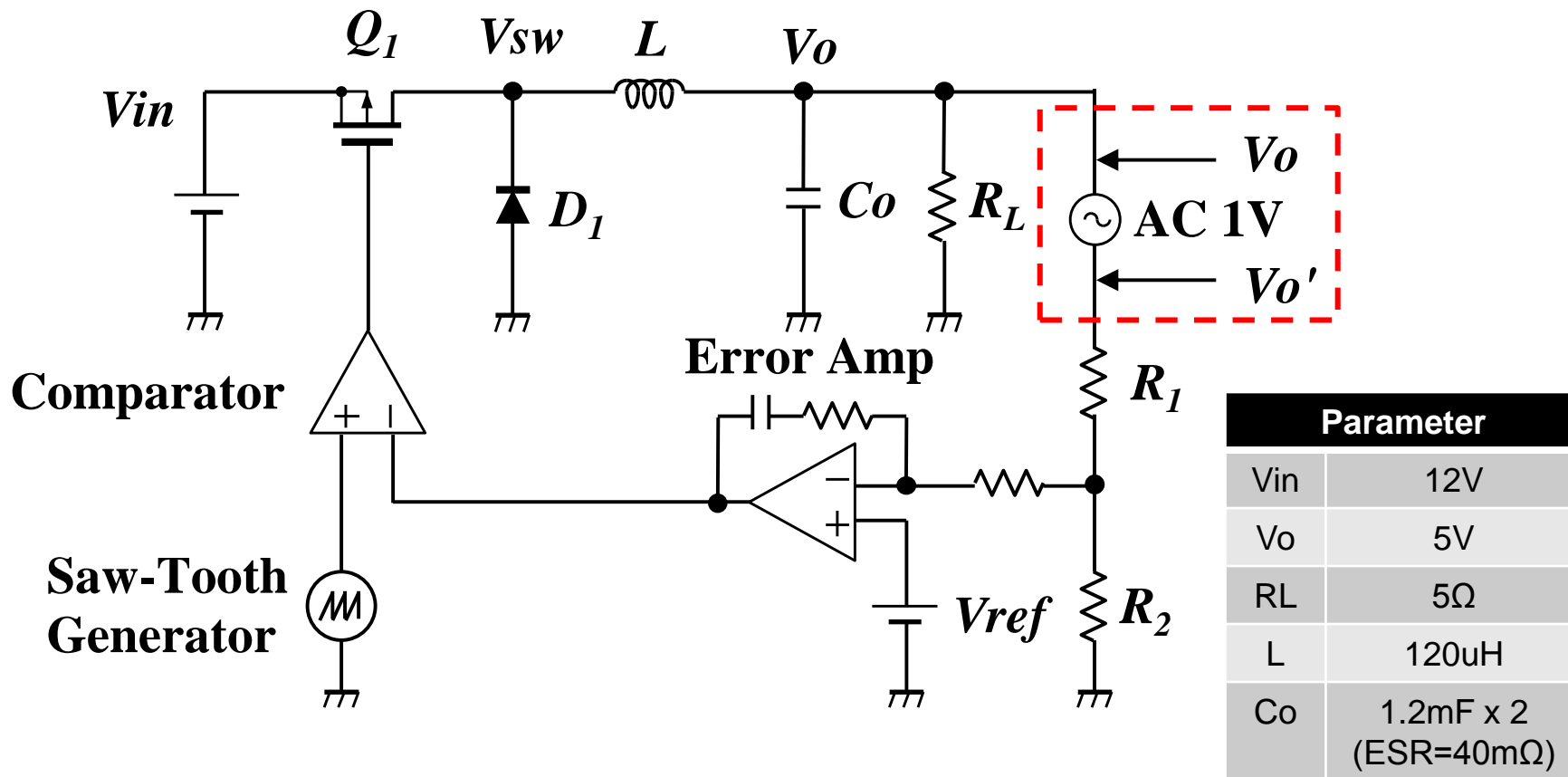
利得計算式 $20 \log_{10} |T| = 20 \log_{10} \left[\frac{|Z_o - Z_{oc}|}{|Z_{oc}|} \right]$

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

アウトライン

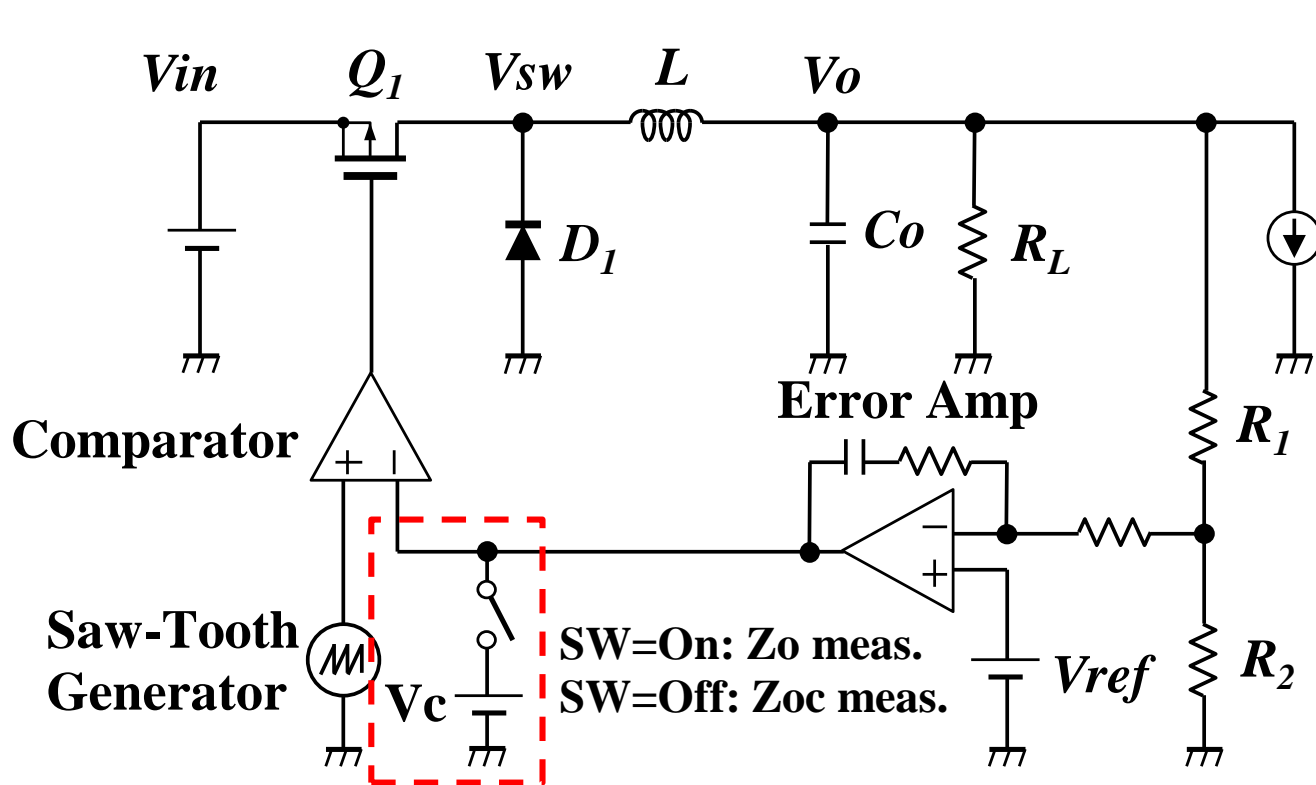
- 研究背景・目的
- 提案方法によるループゲイン測定原理
- **シミュレーション結果**
- 実機評価結果
- まとめ

従来方法を用いたシミュレーション回路



従来方法 Loop Gain $T = \frac{V_o}{V_o'}$

提案方法を用いたシミュレーション回路



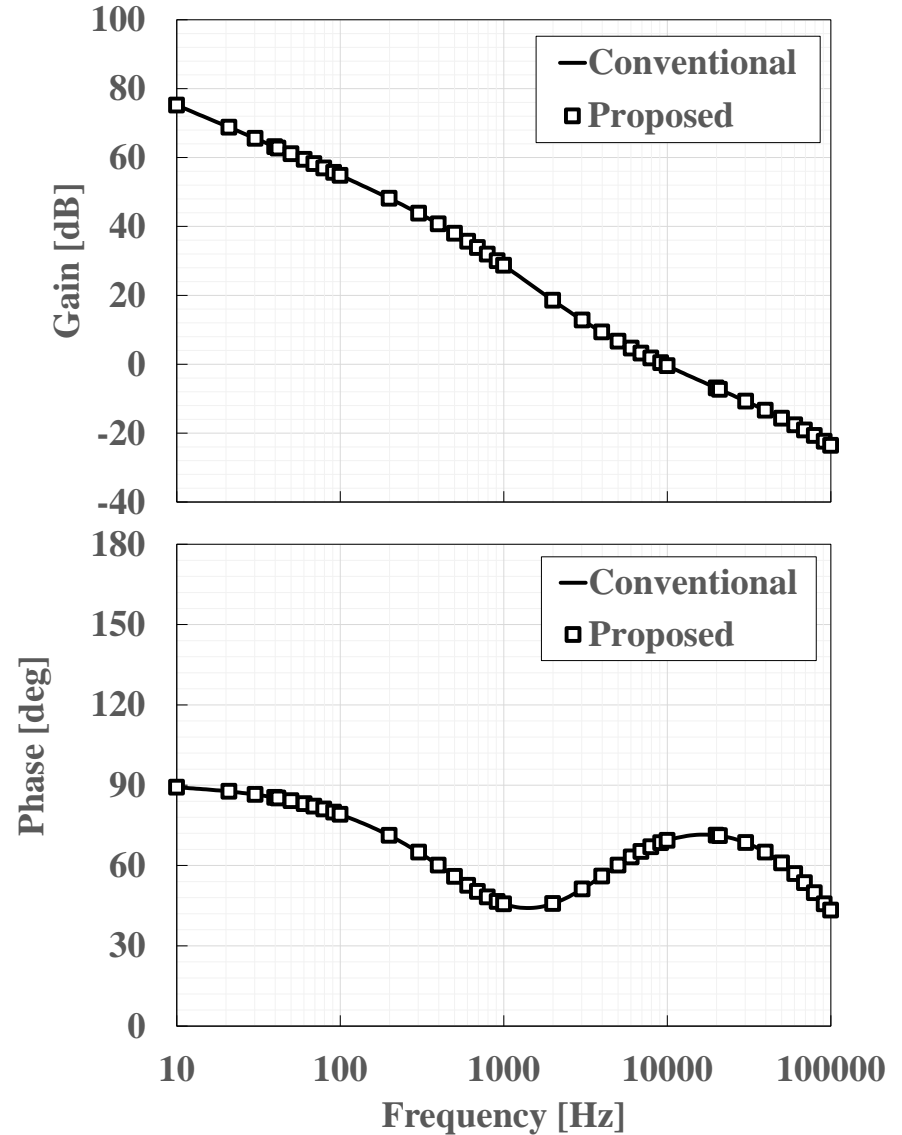
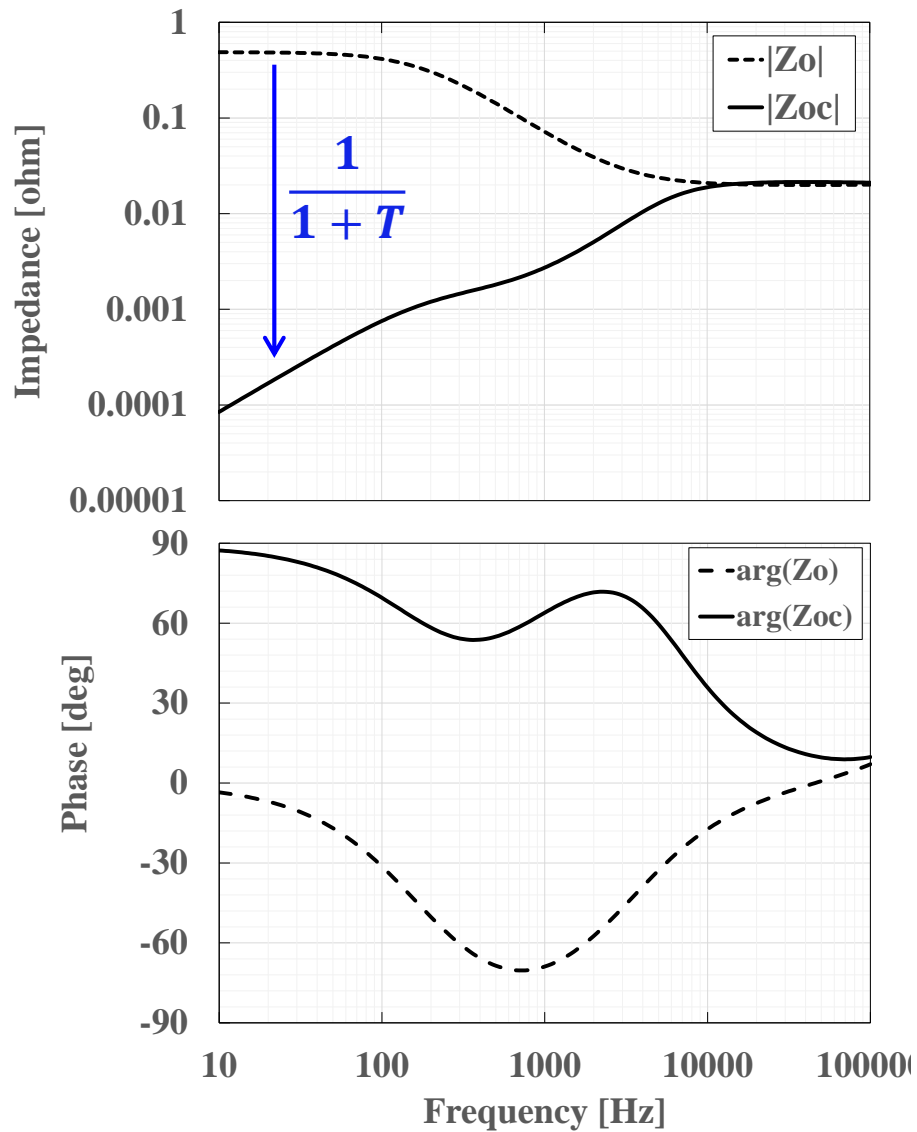
$$Z_x = -\frac{\Delta V_o}{\Delta I_o}$$

AC負荷

Parameter	
Vin	12V
Vo	5V
RL	5Ω
L	120uH
Co	1.2mF x 2 (ESR=40mΩ)

提案方法 Loop Gain $T = \frac{Z_o - Z_{oc}}{Z_{oc}}$

シミュレーション結果



アウトライン

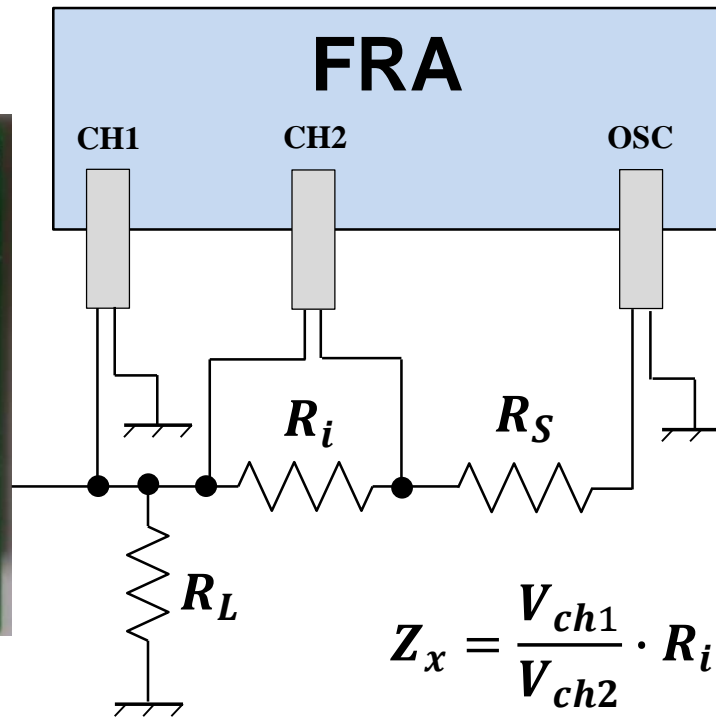
- 研究背景・目的
- 提案方法によるループゲイン測定原理
- シミュレーション結果
- **実機評価結果**
- まとめ

実機検証

- IC:BD9329A (Rohm社評価基板を使用)
 - パワーMOSFET内蔵・同期整流形降圧DC/DC電源
 - スイッチング周波数: 380kHz

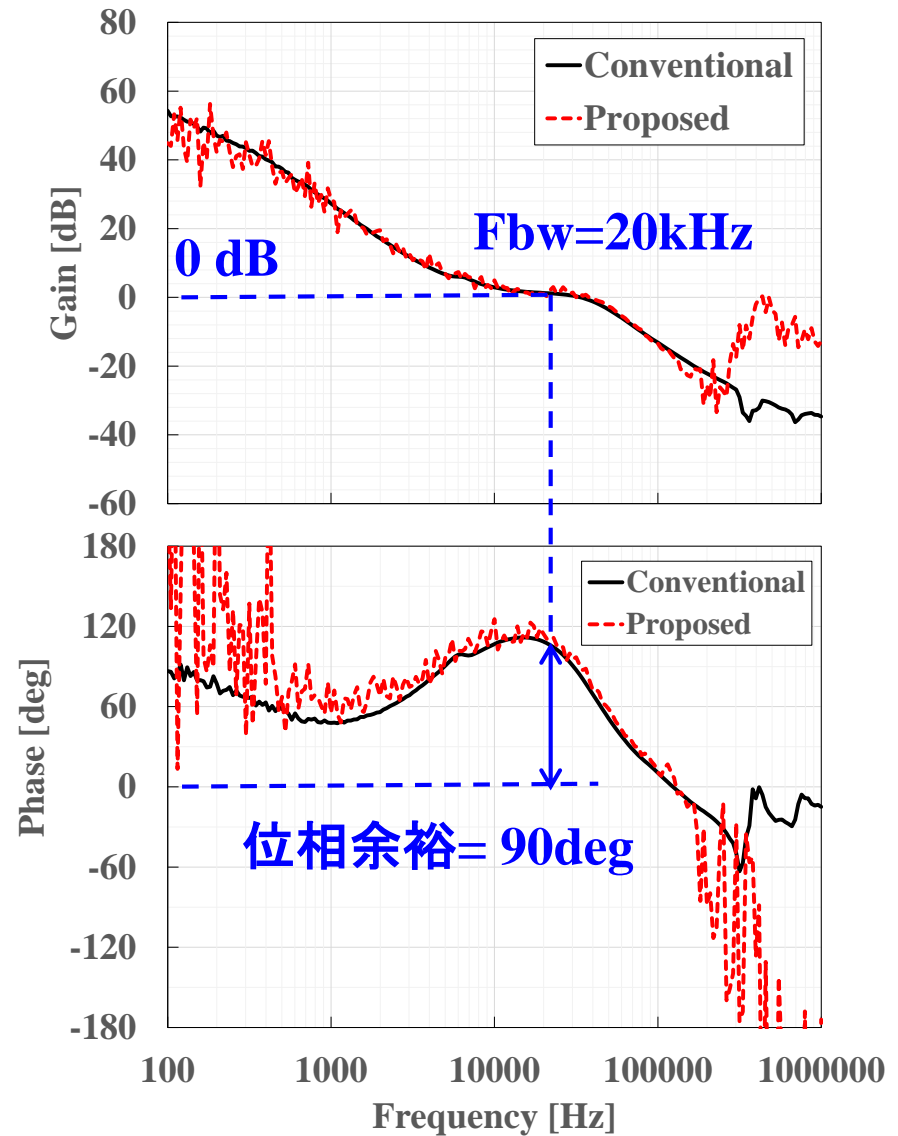
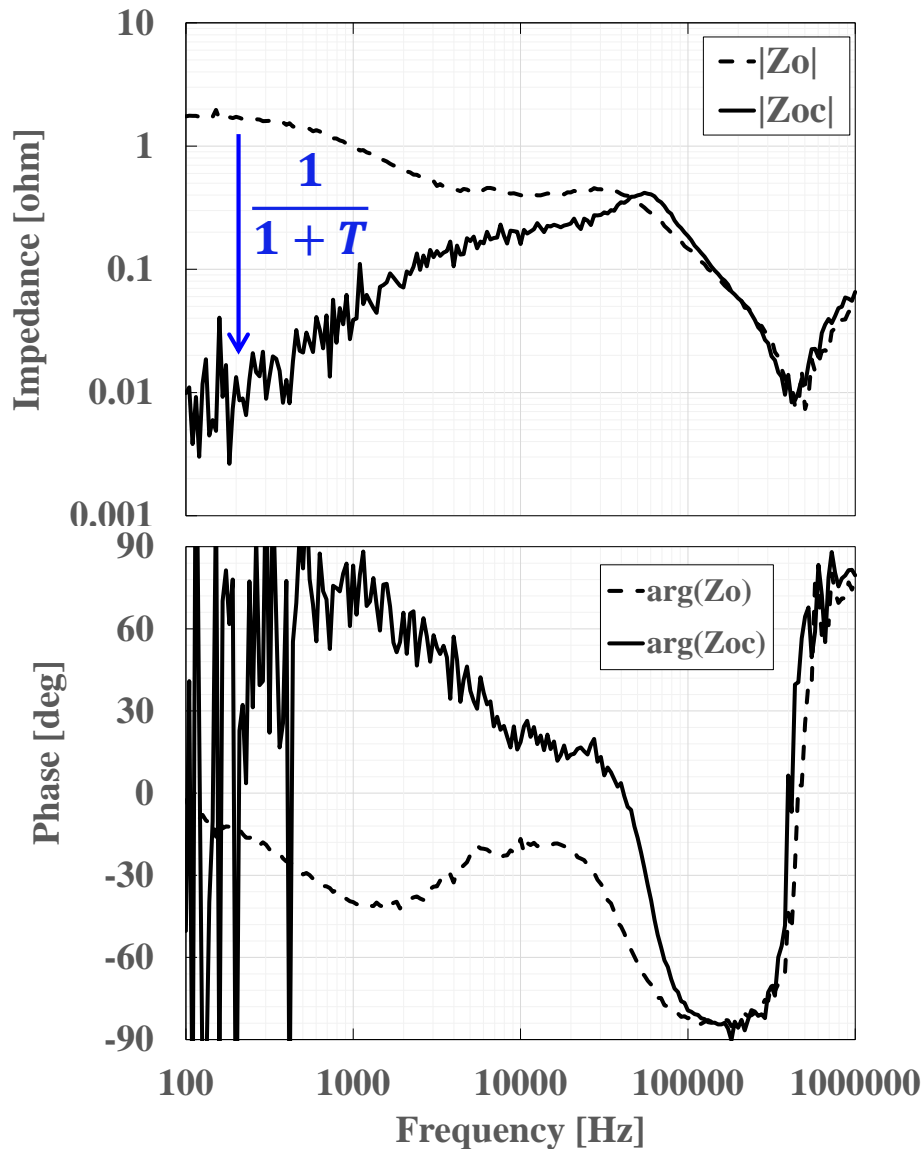


実機評価基板



Parameter	
Vin	12V
Vo	3.3V
RL	3Ω
L	10uH
Co	10uF x 2
Ri	1Ω
Rs	1kΩ

実機検証結果



アウトライン

- 研究背景・目的
- 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
- 実機評価結果
- **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要挿入
 - 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
 - シミュレーション結果
 - 実機測定結果
- } 従来方法の結果と一致

質疑応答

- Q1.実機評価の結果で高周波側の結果があっていないようですが、なぜですか？
- A1.スイッチング周波数の半分(ナイキスト周波数)までは一致しています。ナイキスト周波数を超えた周波数では測定値にあいません。
- Q2.実機評価の結果で低周波側の波形が乱れているのはなぜですか？
- A2.低周波側はループゲインが高いため、出カインピーダンスが数 $m\Omega$ と小さくなり、測定時のS/N比が悪くなります。したがって、波形が乱れてしましますが、位相余裕の評価上は問題となりません。