

# パワーエレクトロニクス工学論

## 7. 昇圧形電源の実測

### 7-1 特性式と実測

- (1) 定常特性(電圧変換率、定常リップル、出力Z)
- (2) 動特性(負荷応答特性)
- (3) ループ特性

### 7-2 性能検討

- (1) スイッチング・ノイズ
- (2) 効率

# 7. スイッチング電源の実測-1 (昇圧形電源)

## 7-1 特性式と実測

### (1) 定常特性

#### (A) 電圧変換率

#### ● 理論式

$$* M=V_o/V_i = \frac{1/D'}{1+Z_o/R}$$

$$Z_o = r/D'^2, \quad r=r_L + D \cdot r_s + D' \cdot r_d$$

$$(r_L = 0.085\Omega, \quad r_{ON} = 1.1\Omega, \quad r_d = 0.45\Omega)$$

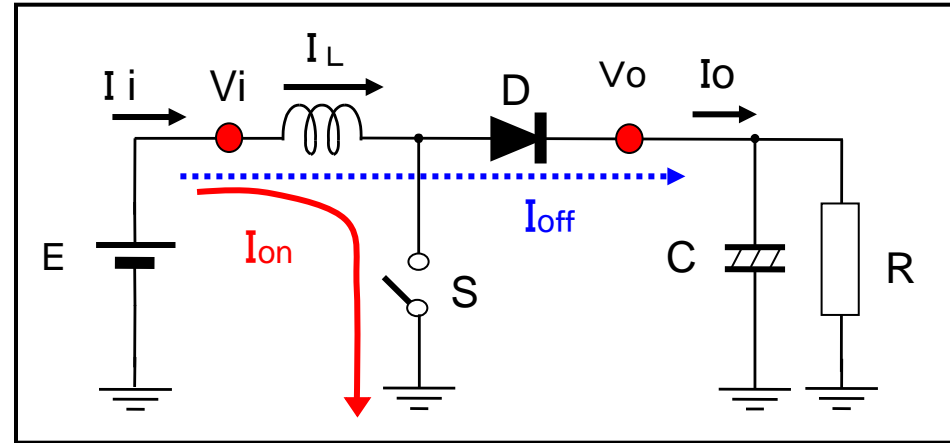
#### ● 実測値:

$$\bullet I_o = 0.305 \text{ A}, \quad V_o = 4.89 \text{ V}, \quad R = 16 \Omega$$

$$M=1/D' (1+Z_o/R)$$

$$Z_o = (1/D' M - 1) \cdot R$$

$$(7-1)$$



$$L = 23\mu\text{H} (R_L = 85\text{m}\Omega), \quad R = 15.5\Omega$$

$$C_o = \text{OS } 200\mu\text{F}, \quad C_i = 100\mu\text{F}$$

Vi [V]	Ii [A]	実測D'	実測M	実測Zo	IL	r	計算Zo	計算M
4	0.48	0.7	1.2	2.697	0.436	0.730	1.490	1.3
3.5	0.55	0.6	1.4	3.087	0.508	0.795	2.208	1.5
3	0.65	0.5	1.6	3.247	0.598	0.854	3.281	1.6
2.5	0.79	0.4	2.0	3.476	0.726	0.912	5.170	1.8
2	1.04	0.3	2.4	5.110	0.984	0.984	10.234	2.0
1.5	1.61	0.2	3.3	8.540	1.525	1.055	26.375	1.9

## ● 電圧変換率

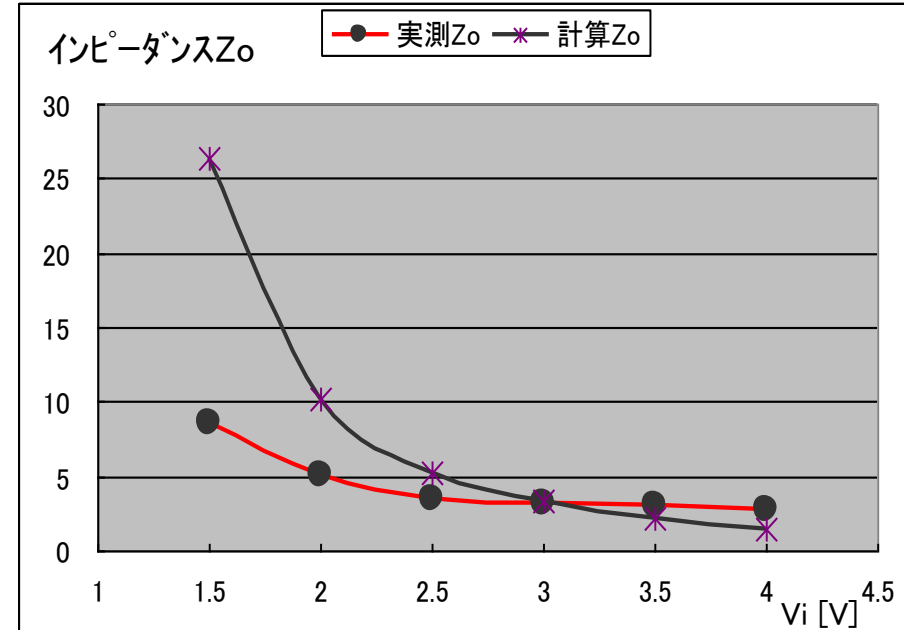
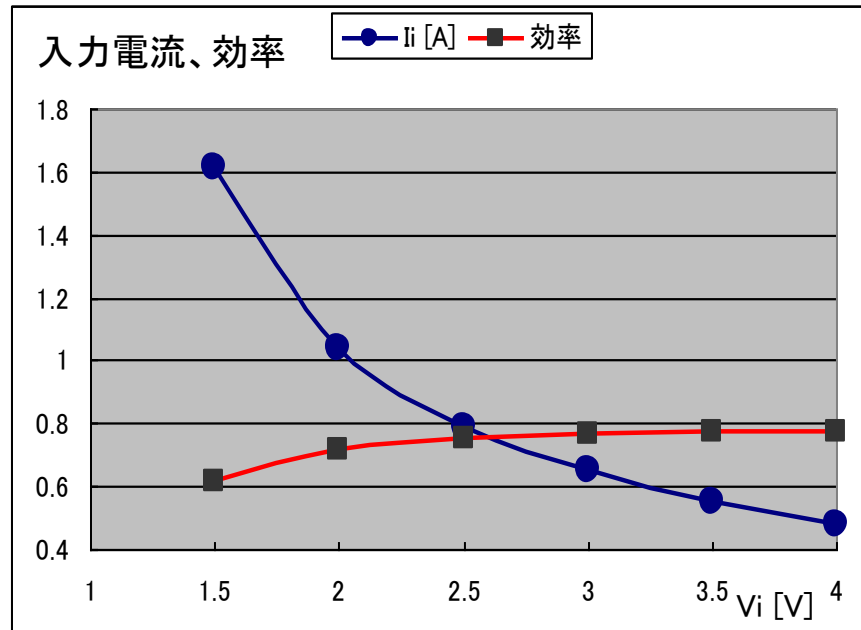
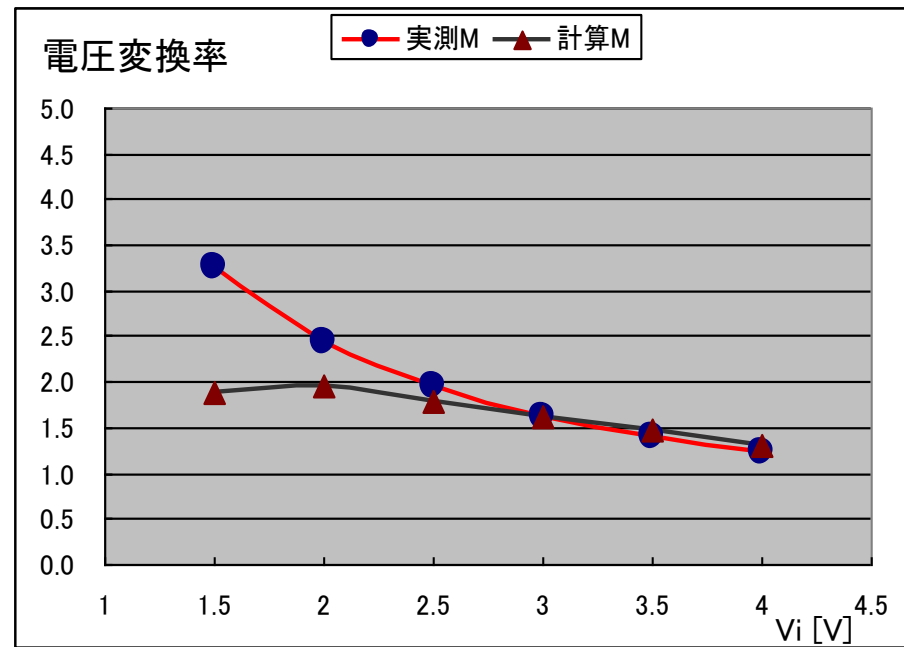
- \* 実測値は素直な特性
- \* 計算値は、低電圧で？

## ● インピーダンス

- \* 実測値はよいが、計算値はおかしい
- \*  $V_i$ が小さいと、 $M$ は大きく、 $D'$ は小さくなり、 $Z_o$ は大きくなる

## ● 入力電流、効率

- \*  $V_i$ ダウンで  $I_i$ ,  $Z_o$ アップし、効率ダウン



## (B) 定常リップル

### ● 理論式

$$\Delta V_o = \frac{D \cdot T_o}{CR} V_o = \frac{D \cdot T_o}{C} I_o \Rightarrow \text{出力にも依存} \quad (7-3)$$

\*  $\Delta V_o = 0.009 \cdot D \cdot I_o = \mathbf{0.55 \text{ [mVpp]}}$  小さい!

( $I_o = 0.305\text{A}$ ,  $D' = 0.2$  @  $V_i = 1.5\text{V}$ )

\* 周期  $T_o$ : 降圧形の1/4

### ● 実測値1: OSコン接続

\* 実測値:  $\Delta V_o = 58 \text{ mVpp}$  (大きい)

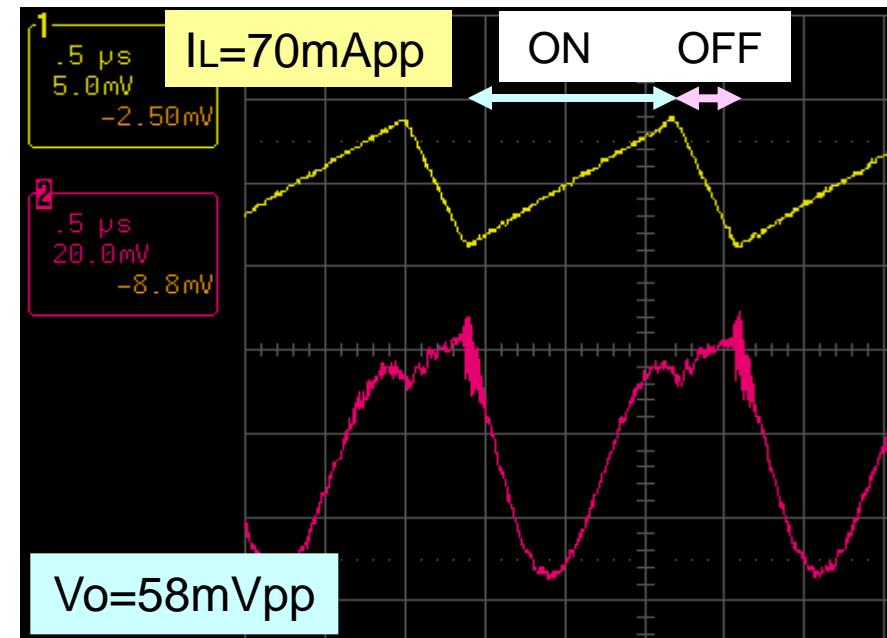
\* ESRの検討

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{ESR}} &= \text{ESR} * \Delta I_L \\ &= 0.04\Omega \cdot 70\text{mA} = \mathbf{2.8 \text{ mVpp}} \end{aligned}$$

★ ESRの影響が大きいけど、不十分  
計算  $\Delta V_o = 3.4 \text{ mV} \ll 58 \text{ mV}$  実測

$L = 23\mu\text{H}$ ,  $R_L = 85\text{m}\Omega$   
 $C_i = \text{ケミコン} 100\mu\text{F}$   
 $C_o = \text{OS} 200\mu\text{F}$   
 $T_o = 1.8\mu\text{s}$  ( $F = 560\text{kHz}$ )

OSコン ESR:  $80/2 = 40\text{m}\Omega$   
セラコン ESR =  $8/2 = 4 \text{ m}\Omega$   
(測定  $F = 1\text{kHz}$ )



電圧リップル1 ( $V_i = 1.5\text{V}$ ,  $D = 0.2$ )

● 実測値2: Vi 変更 ( 3.5V ← 1.5V)

\* 理論値:

$$\Delta V_o = 0.04 \cdot 80 + 1.65 \doteq 5 \text{ mVpp}$$

\* 実測値:  $\Delta V_o = 20 \text{ mVpp}$

出力リップル:  $20/58 = 0.35$  に減少

1次側電流:  $1.5/3.5 = 0.43$  に減少

● 実測値3: セラコン使用

\*  $C_o = 100\mu\text{F}$ セラコン + OSコン $100\mu\text{F}$

・  $\Delta V_o \dots$  変化なし

\* 他の要因有

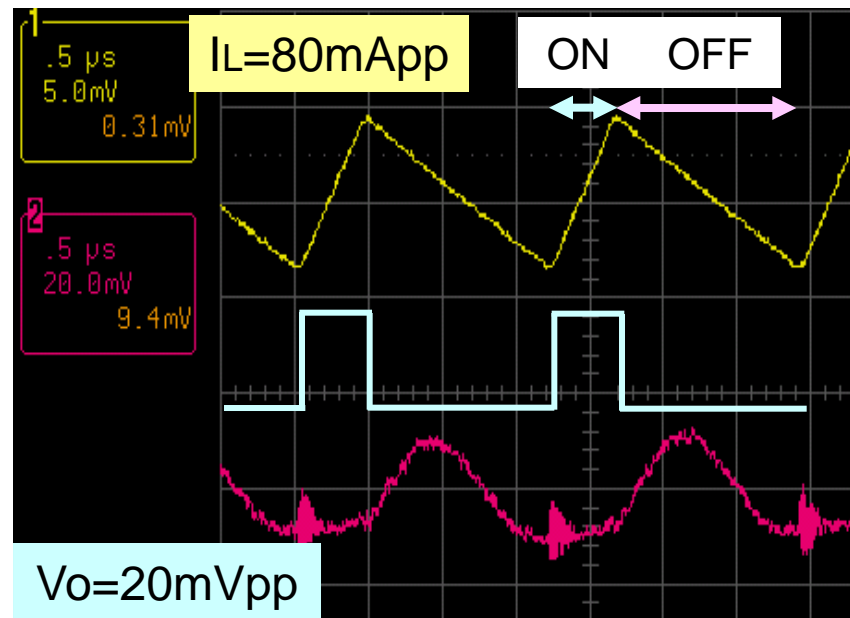
負荷側への電流は急峻

・コンデンサ両端電圧を測定

電圧リップル  $< 10\text{mVpp}$

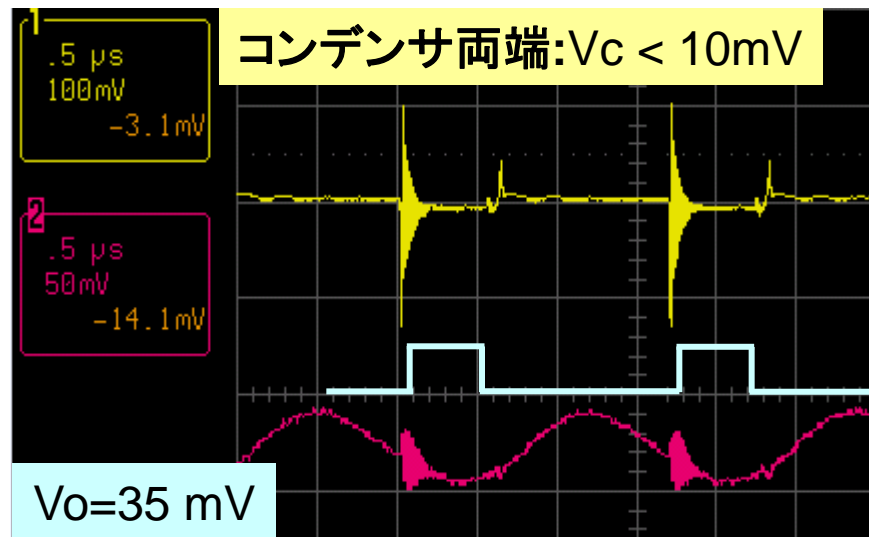
★理論値と近い値!

1次側電流 (=M·Io) ⇒ GNDノイズ



Vo=20mVpp

電圧リップル2 (Vi=3.5V, D=0.6)



コンデンサ両端: Vc < 10mV

Vo=35 mV

(+セラコン)時のリップル電圧 (Vi=3.5V)



## (B) 入力電圧 vs 負荷応答シュート

\* 条件: 前ページと同様

\* 実測性能:

・入力電圧が高いと、シュート小

\* 理由は...

・昇圧形の電圧変換率Mより

$$M = V_o / V_i = 1 / D'$$

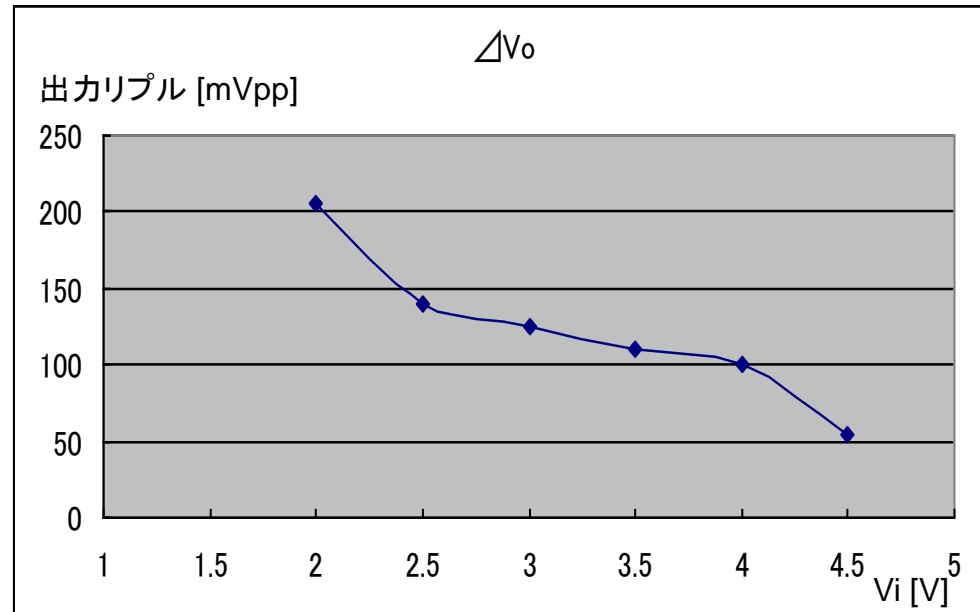
・ $V_i$  が高い  $\Rightarrow D'$  も大きい

$$P(s) = 1 + 2\delta(s/w_n) + (s/w_n)^2 \quad (2-81)$$

$$\begin{cases} w'_n = w_o \sqrt{1 + KG_{vdo}} \\ \delta' = \{\delta - KG_{vdo} \cdot w_o / 2w_{vdz}\} / \sqrt{1 + KG_{vdo}} \quad (\text{p.2-58 より}) \end{cases}$$

$$G_{vdo} = \frac{\{1 - (r_L + r_s) / RD'^2\} / D'}{(1 + Z_o / R)} \cdot V_o = \frac{\{1 - (r_L + r_s) / RD'^2\}}{(1 + Z_o / R)} \cdot V_i \quad (2-89 \text{ より})$$

\* 入力電圧が高い  $\Rightarrow D'$  が大きい  $\Rightarrow G_{vdo}$  が大きい  $\Rightarrow w'_n$  が高い、 $\delta'$  が大きい



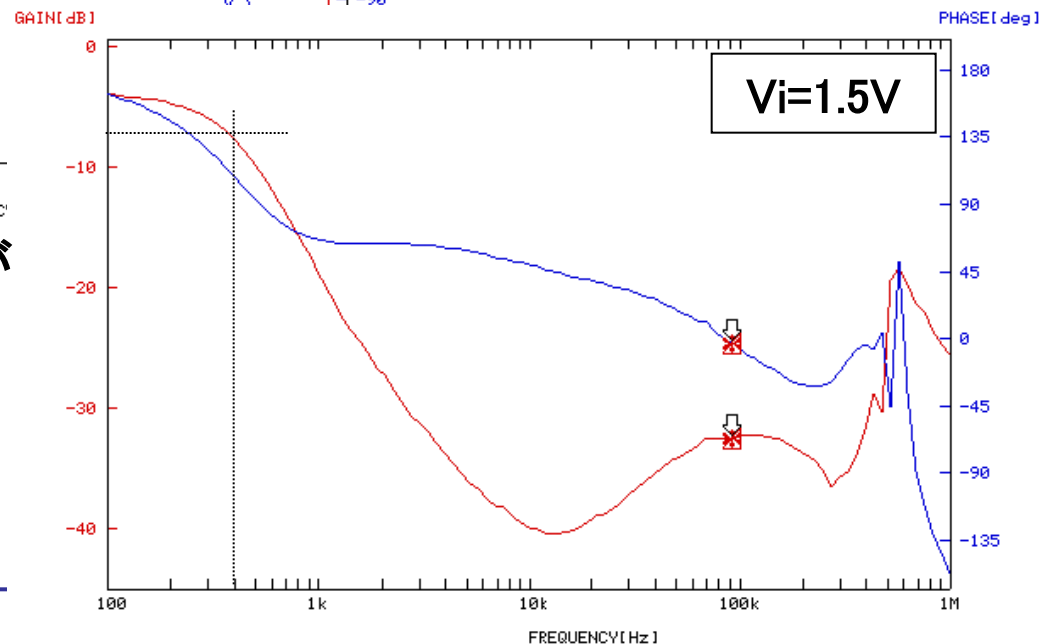
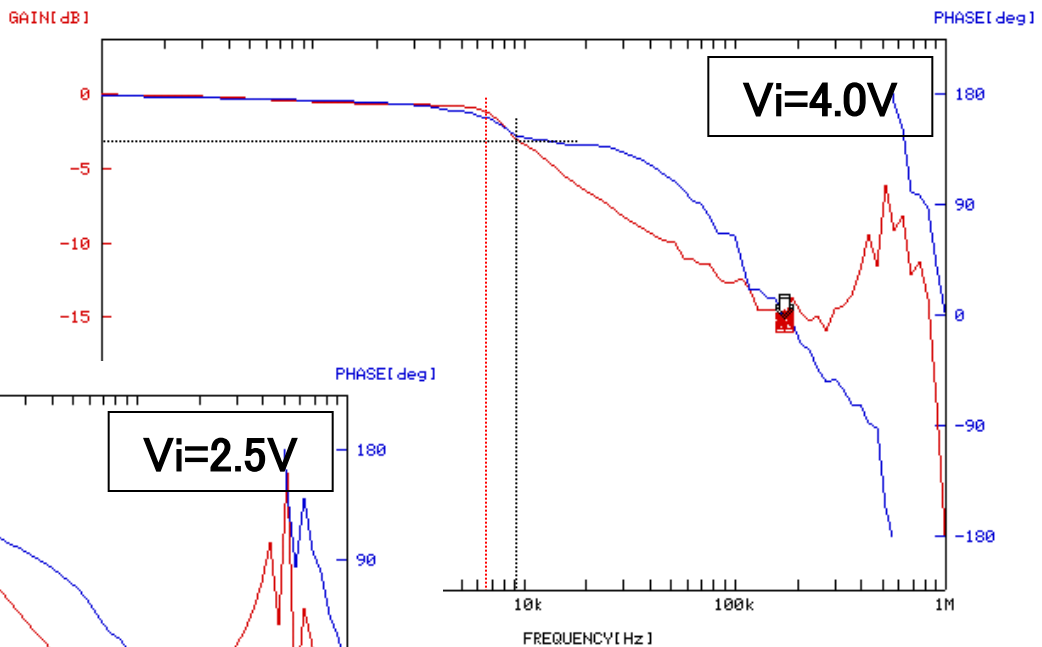
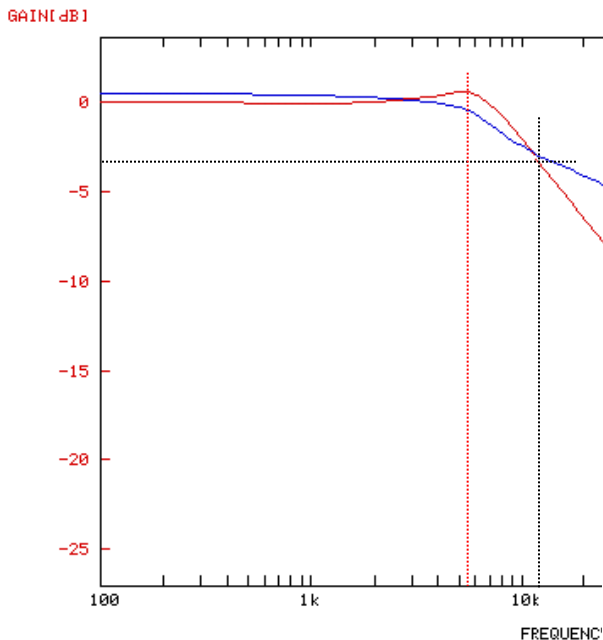
入力電圧 vs 負荷応答出力リップル

### (3) ループ特性

#### (A) 閉ループ伝達関数

\* 入力電圧 vs. 伝達特性

( $V_o=5V$ ,  $I_o=0.35A$ , OSコン:  $100\mu F$ )



●  $V_i=4.0V$ ,  $2.5V$  では  $F_c$  に大差はないが  
減衰係数(ピーク)が異なる

●  $V_i=1.5V$  では、急激に  $F_c$  が低下  
もっとゲインを高めるべき



## (B) ESRと伝達関数

### ● 出力コンデンサによる相違

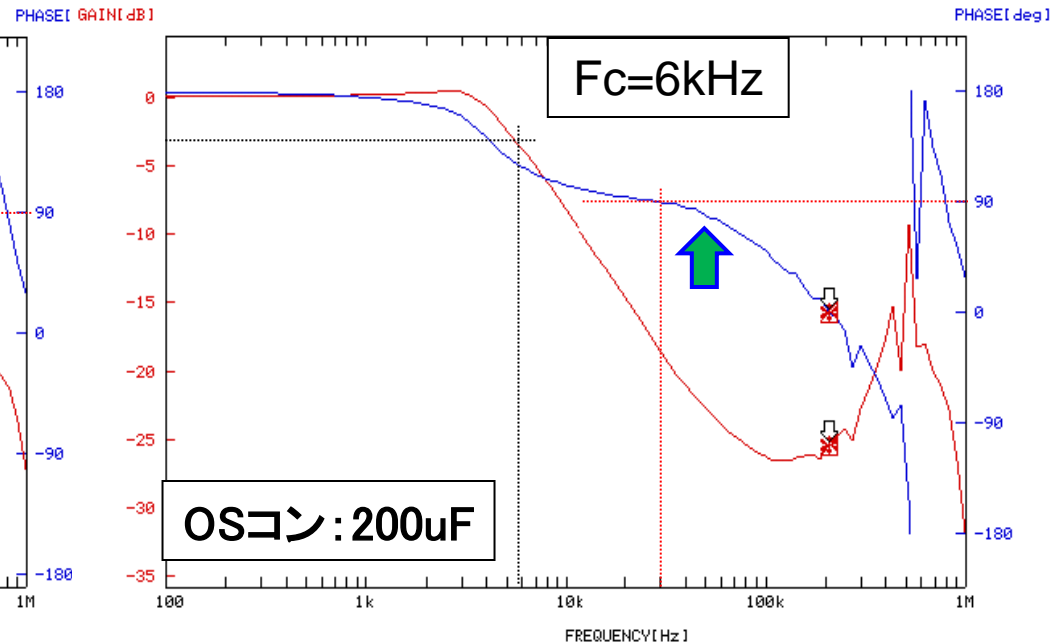
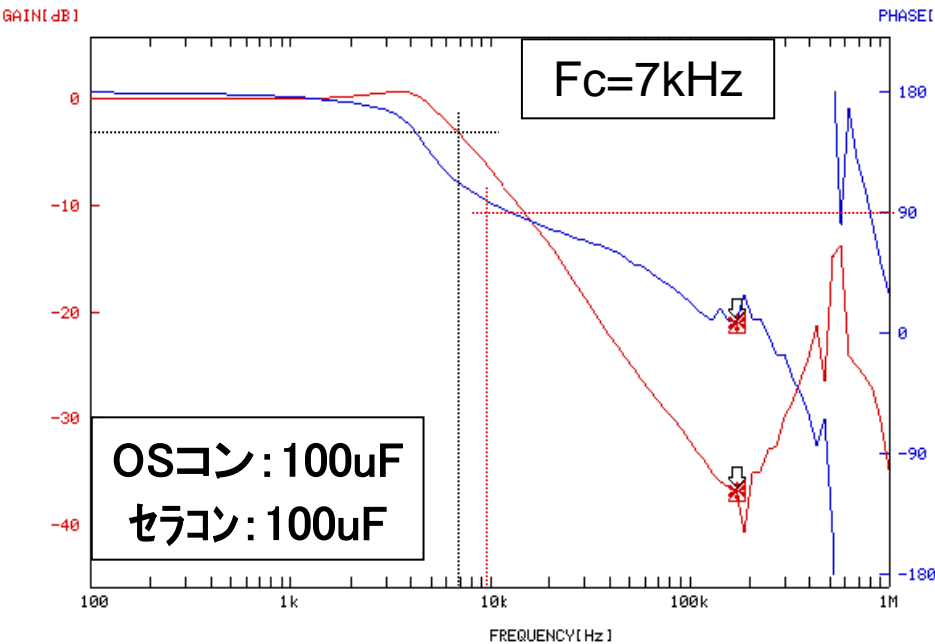
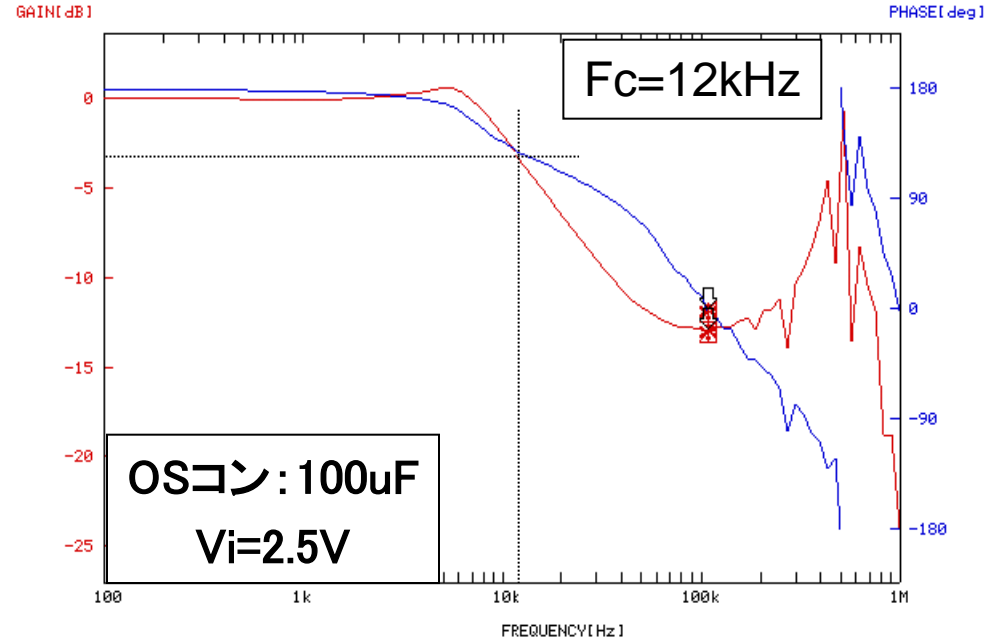
( $V_i=2.5V$ ,  $V_o=5.0V$ ,  $I_o=0.35A$ )

\* 出力 $C_o$ 2倍  $\Rightarrow$   $F_c$ 半減

\* ESRの低減(セラコン100 $\mu$ F変更)

$F_c$ 不変だが、特性変化

ESRによる 位相進み



## 7-2 性能検討

### (1) スイッチング・ノイズ

#### (A) SW-ON時に共振

$F = 80 \text{ kHz}$

#### (B) リプル低減検討

① ゲートドライブ抵抗  $R_g$  の変更

②  $C_o$  の追加:

OSコン100 $\mu\text{F}$ +セラコン47 $\mu\text{F}$

#### ●ゲートドライブ抵抗の変更

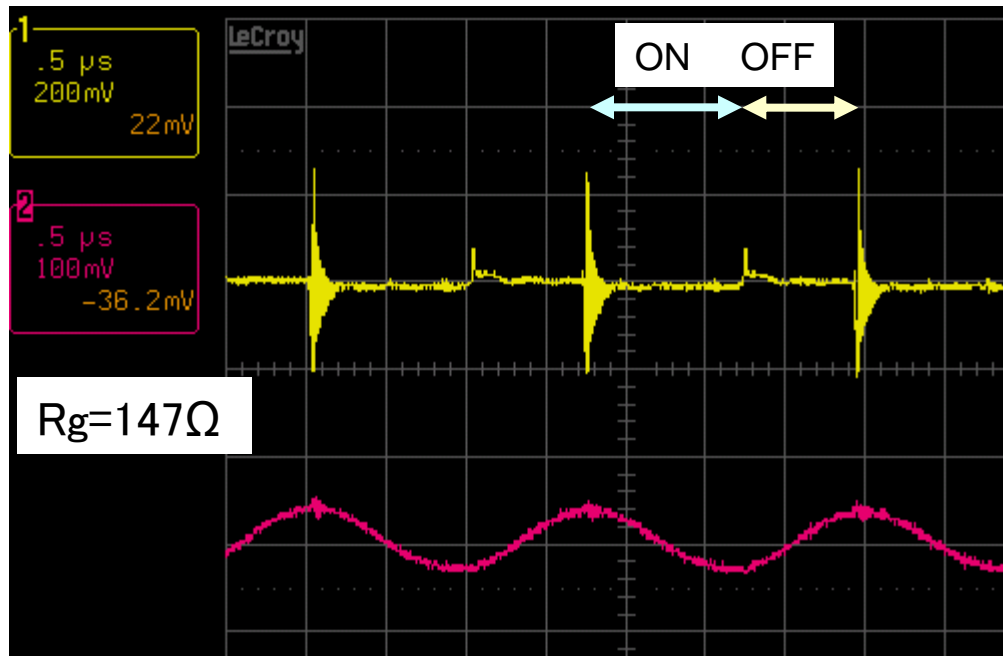
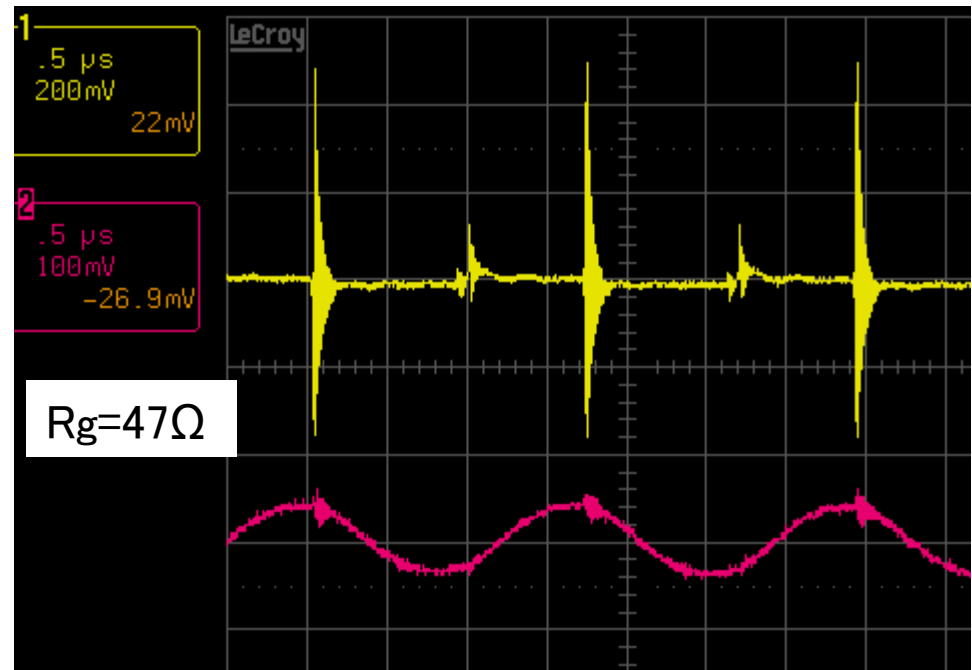
\* 抵抗:  $R_g = 47 \Rightarrow 147\Omega$

$\Rightarrow$  リプル: 0.80  $\Rightarrow$  0.45Vpp

#### ● ESRの低下

\*  $C_o$  にセラコン47 $\mu\text{F}$  追加

$\Rightarrow$  大差なし



### (C) 入力Cと電源ノイズ

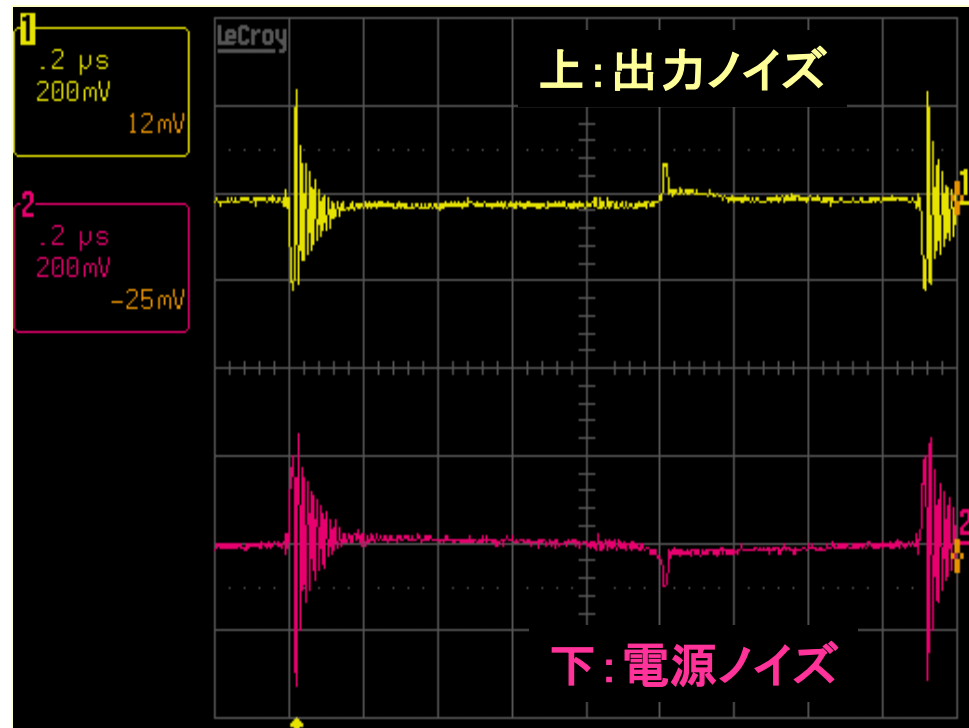
#### \* 初期状態

- ・入力  $C_i$ : ケミコン100 $\mu$ F
- ・電源ノイズ: 0.60Vpp

\* OSコン: 100 $\mu$ Fの追加  
両ノイズとも 効果なし

\* セラコン: 47 $\mu$ Fの追加  
両ノイズとも 効果なし

[理由] ダイオード導通時には  
電源ラインは無関係



### (D) インダクタンスとノイズ

\*  $L$ : 23 $\mu$ H  $\Rightarrow$  47 $\mu$ H

\* 出力ノイズ: レベル・周波数共 同 じ  $\Rightarrow$  共振LCは?

\* 電源ノイズ: やや低下 (0.50Vpp)

## (2) 効率:Lの違いによる効率変化

\* 条件:  $V_i=2.5V$ 、 $V_o=4.98V$ 、 $I_o=0.35A$

\* インダクタンス

・  $L_o: 22.7\mu F$ 、 $0.086\Omega$   $\Rightarrow$   $L_1: 47.1\mu F$ 、 $0.108\Omega$

\* 効率

・  $\eta_o = 75.5\%$   $\Rightarrow$   $71.2\%$  (出力= $1.75W$ 、 $\Delta P=$ )

・ コイル内部抵抗の増加により、効率低下

・ 入出力の共振ノイズも不変

$\Rightarrow$  Lを下げ、 $r_L$ を小さくして 効率を上げたほうがよい

以上