

# 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

小山高専/群馬大学

小堀 康功

# 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(2-57)

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

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

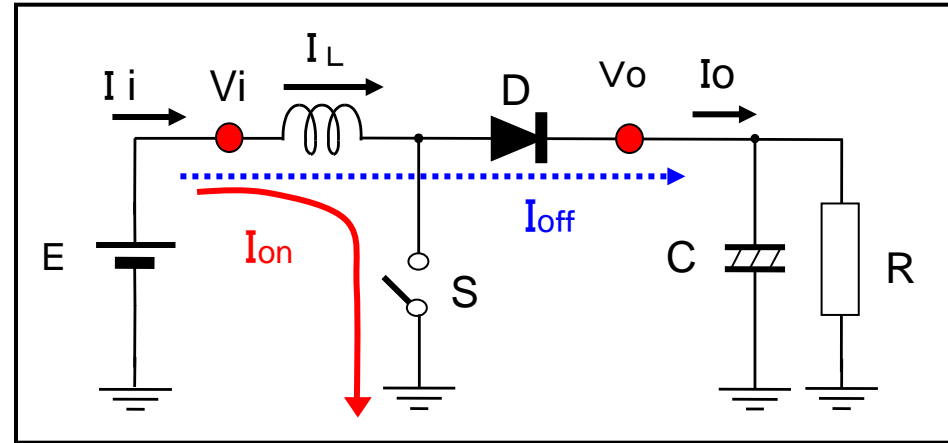
$$(r_L=0.085 \Omega, \quad r_{ON}=1.1 \Omega, \quad r_d=0.45 \Omega)$$

#### ● 実測値:

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

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

$$(7-1)$$



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

$C_o=OS200\mu\text{F}, C_i=100\mu\text{F}$

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

$V_i$ [V]	$I_i$ [A]	実測 $D'$	実測 $M$	実測 $Z_o$	$I_L$	$r$	計算 $Z_o$	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

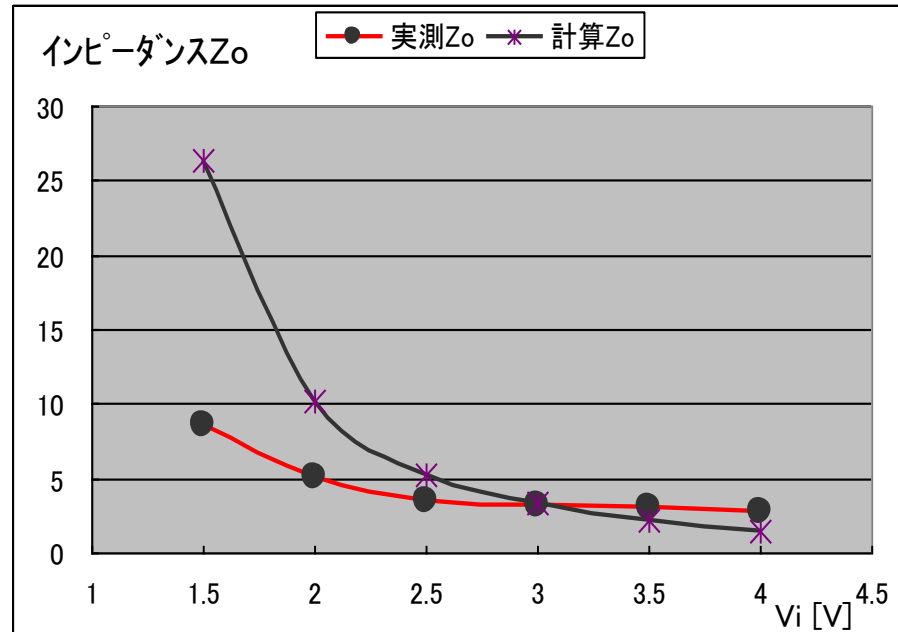
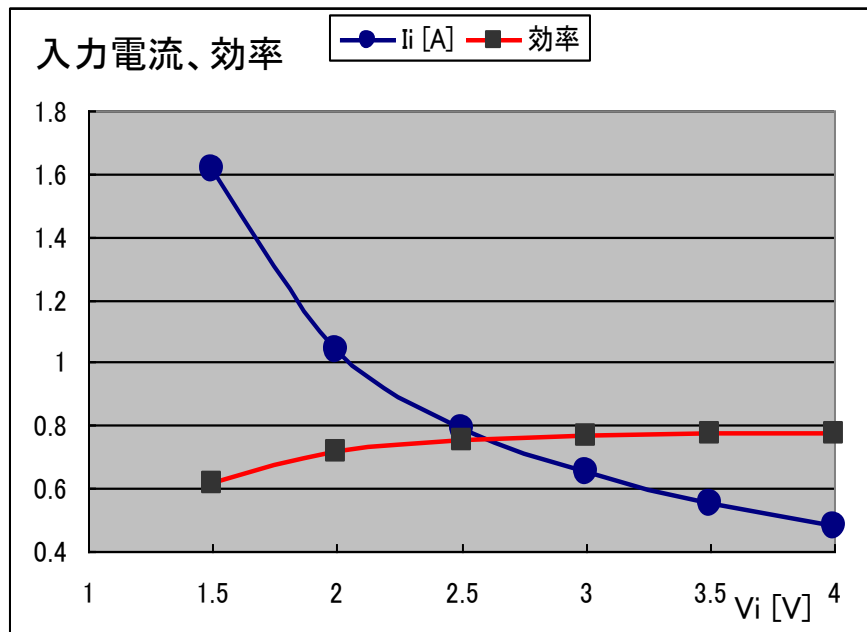
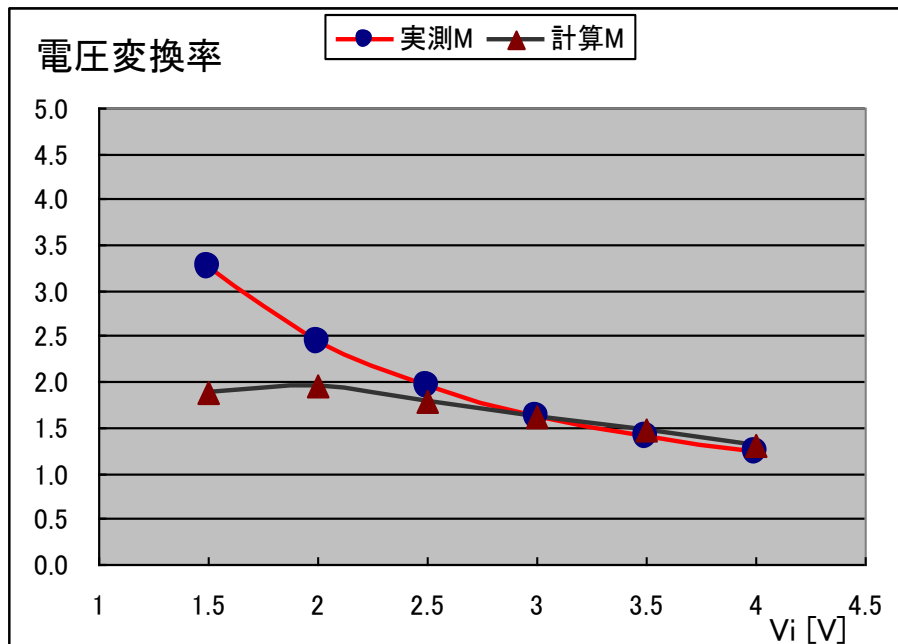
- \* 実測値は素直な特性
- \* 計算値は、低電圧で？

● 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



# Nチャンネル MOSFET

(Fairchild: FDN335N) 20V、8A

## ● ON抵抗

\*  $V_{GS} < 4V$  では、ほぼ一定

\* 温度が上がると、抵抗は増加

$$R_{ON} = 1.0 + 0.2 \cdot (T - 25) \quad [\Omega] \quad (7-2)$$

( $V_{GS}=4.5V$ 、 $I_D=1.7A$ )

## ● ショットキー・ダイオードは降圧型と類似

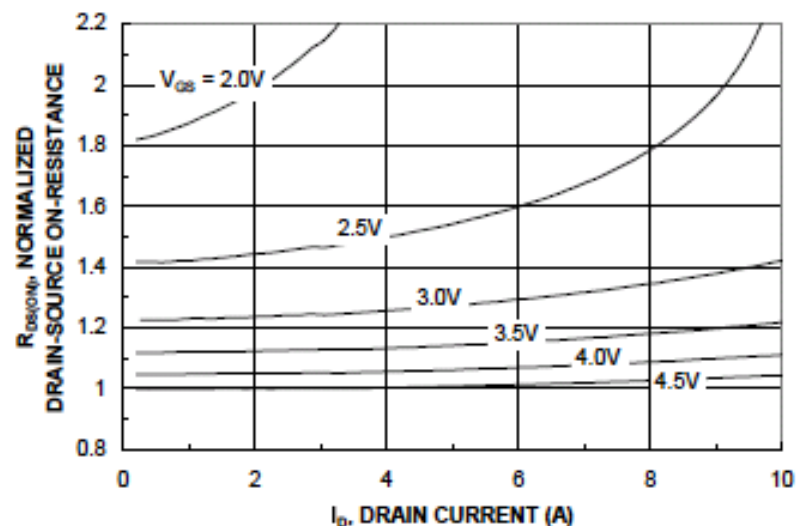


Figure 2. On-Resistance Variation with Drain Current and Gate Voltage.

## On Characteristics (Note 2)

$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250 \mu A$	0.4	0.9	1.5	V
$\frac{\Delta V_{GS(th)}}{\Delta T_J}$	Gate Threshold Voltage Temperature Coefficient	$I_D = 250 \mu A$ , Referenced to 25°C		-3		mV/°C
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 4.5 V, I_D = 1.7 A$ $V_{GS} = 4.5 V, I_D = 1.7 A, T_J = 125^\circ C$ $V_{GS} = 2.5 V, I_D = 1.5 A$		0.055 0.079 0.078	0.070 0.120 0.100	$\Omega$
$I_{D(on)}$	On-State Drain Current	$V_{GS} = 4.5 V, V_{DS} = 5 V$	8			A
$g_{FS}$	Forward Transconductance	$V_{DS} = 5 V, I_D = 1.5 A$		7		S

Fairchild 資料より

## (B) 定常リップル

### ● 理論式 (2-69)(2-70)

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

$$* \Delta V_o = 0.009 \cdot D \cdot I_o = 0.55 \text{ [mVpp]} \\ (\text{I}_o = 0.305\text{A}, D = 0.2 \text{ @ } V_i = 1.5\text{V})$$

$$* \text{周期 } T_o: \text{降圧形の } 1/4 \text{ ( } T_{DO} = 7.5\mu\text{s)}$$

### ● 実測値1: OSコン接続

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

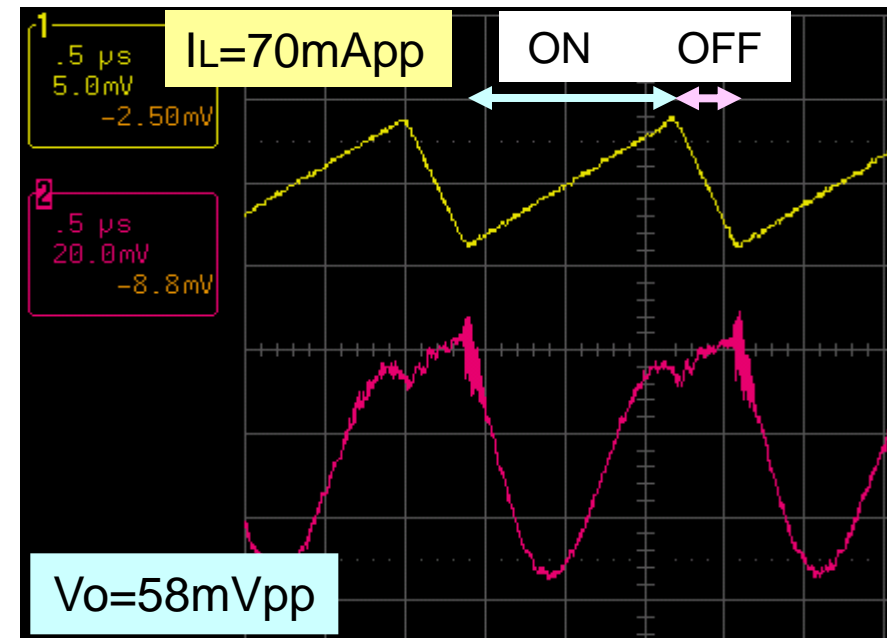
#### \* ESRの検討

$$\Delta V_{ESR} = ESR * \Delta I_L \\ = 0.04 \cdot 70 = 2.8 \text{ mVpp}$$

$$\therefore \Delta V_o = 3.4 \text{ mVpp}$$

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

$$\text{OSコン ESR: } 80/2 = 40\text{m}\Omega \\ \text{セラコン ESR} = 60/2 = 4\text{m}\Omega \\ (\text{測定 } F = 1\text{kHz})$$



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)

\* 実測値:  $\Delta V_o = 20 \text{ mVpp}$  (大きい)

\* 理論値:

$$\Delta_o = 0.04 \cdot 80 + 1.65 \approx 5 \text{ mVpp}$$

?なぜ こんなに違うのか?

● 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

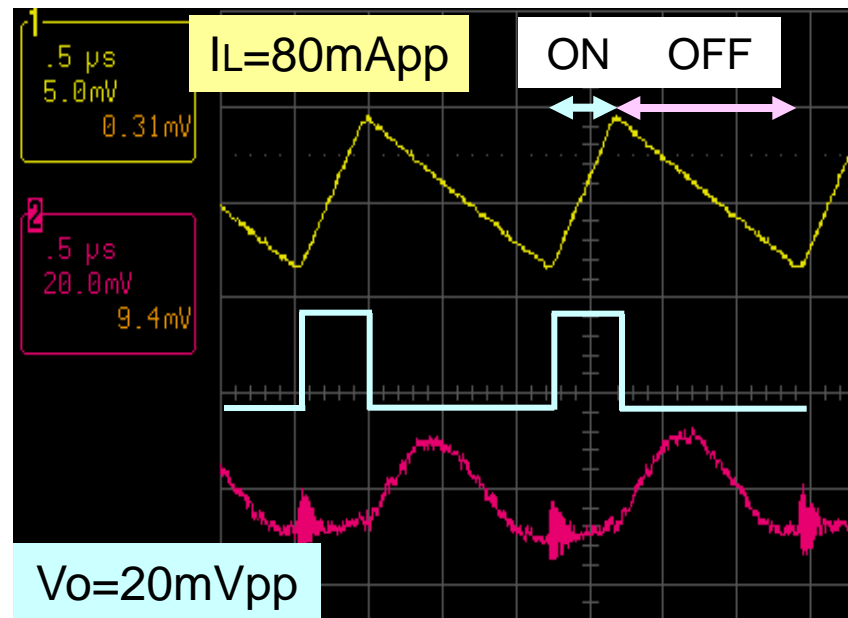
負荷側への電流は急峻

・コンデンサ両端電圧を測定

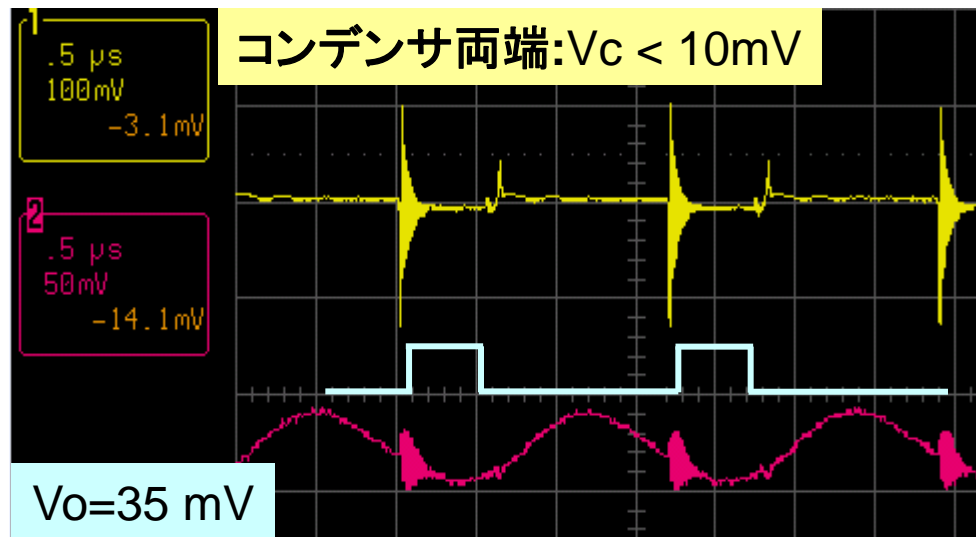
電圧リップル  $< 10 \text{ mVpp}$

理論値と合っている!!

(ダイオード電流はうまく測れない)



電圧リップル2 ( $V_i = 3.5 \text{ V}$ ,  $D = 0.6$ )



(OSコン+セラコン)時のリップル電圧 ( $V_i = 3.5 \text{ V}$ )

## (C) 入力電圧と定常リプル

### ● 理論式 (2-69)(2-70)

$$\Delta V_o = \frac{D \cdot T_o}{CR} V_o \doteq (1-D') \frac{T_o \cdot I_o}{C} \quad (7-4)$$

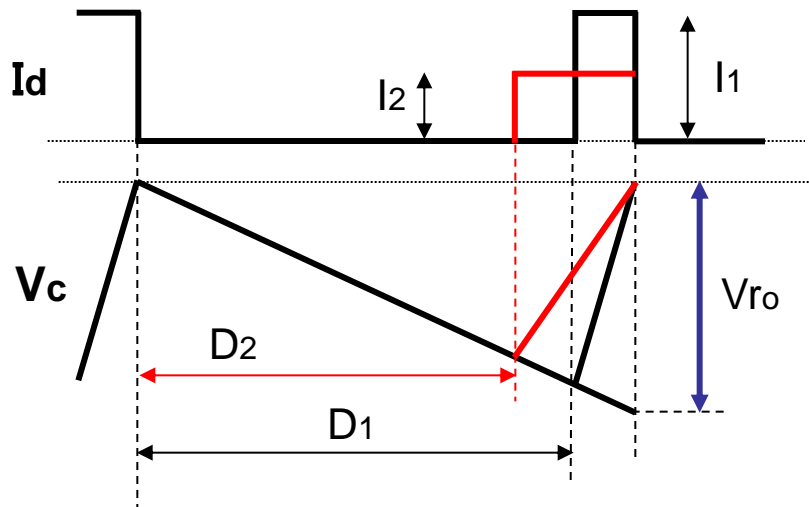
### ● 実測値4: 出力コンデンサ両端リプル

\*  $V_i$ ダウんで、 $D'$ ダウんで( $D$ アップ)

\* ダイオードピーク電流と類似

### ● 上式を図で考えてみると

$$V_r = D \cdot V_{ro} \propto D \quad (7-5)$$



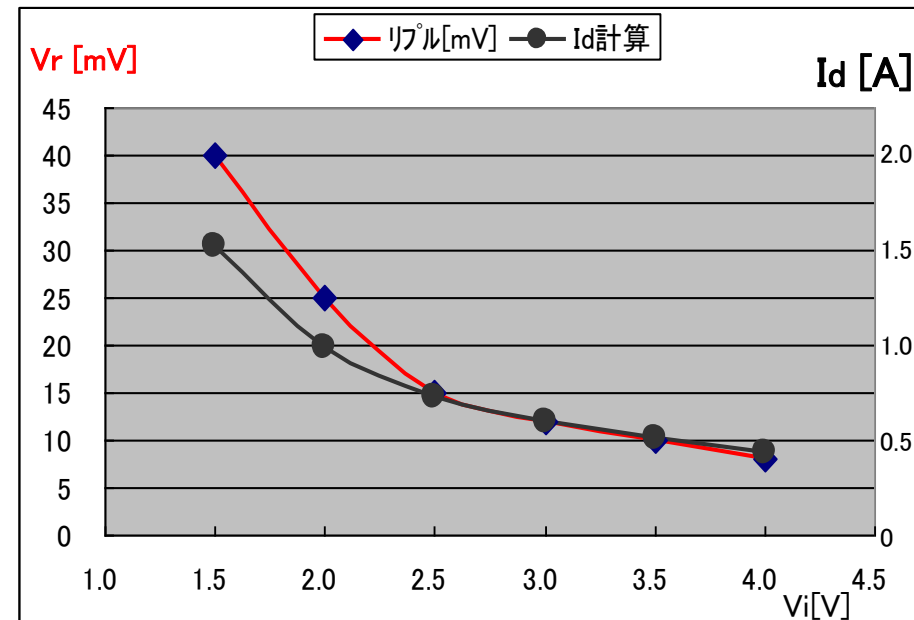
$$L=23\mu\text{H}, R_L=85\text{m}\Omega$$

$$C_i = \text{ケミコン} 100\mu\text{F}$$

$$C_o = \text{OS} 100\mu\text{F}$$

$$+ \text{セラコン} 47\mu\text{F}$$

$$T_o = 1.8\mu\text{s}$$



ダイオード電流と電圧リプル  
( $V_o=5.0\text{V}, I_o=0.305\text{A}$ )

## (2) 動特性(負荷応答特性)

### (A) 電流ステップと電圧ドロップ

#### ● 出力リップ

##### \* 条件:

$$V_i = 2.5V$$

$$\Delta I_o = 0.4A \quad (I_o = 0.35 \sim 0.75A)$$

$$di/dt = 120 \text{ mA/us}$$

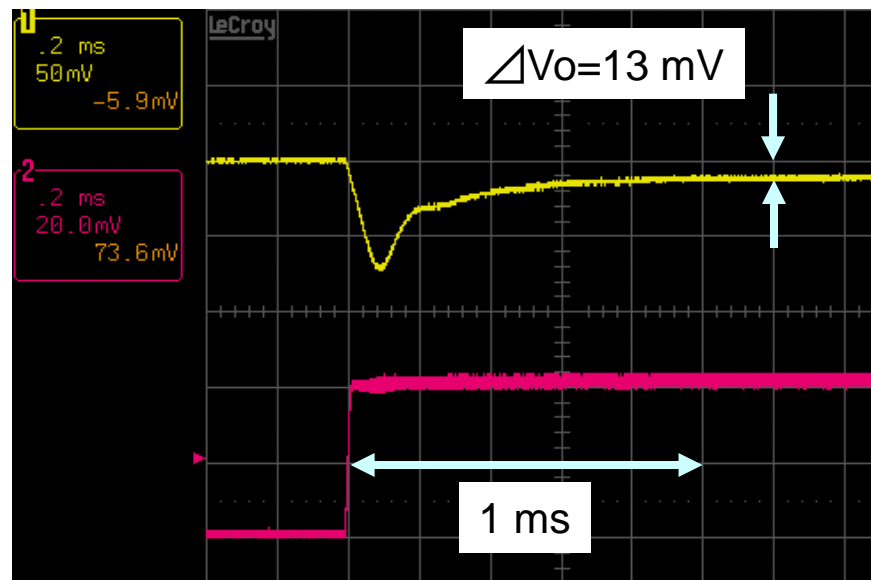
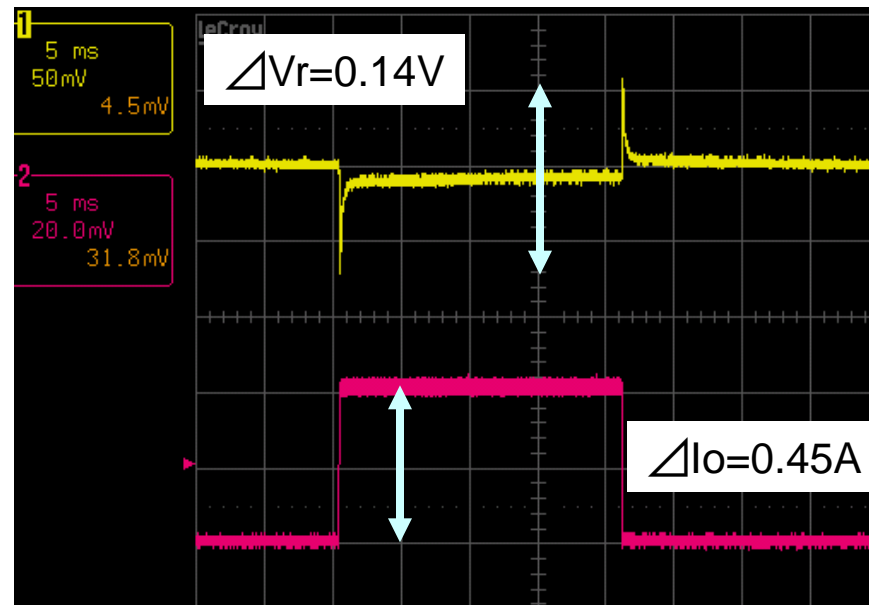
##### \* 実測性能:

$$\text{オフセット: } \Delta V_o = -13\text{mV}$$

$$\text{ドロップ: } \Delta V_p = -75\text{mV} / 50\text{us}$$

・右波形は、LPFによりSWノイズ除去

$$F_c = 3.4\text{kHz} \quad (C = 0.1\mu\text{F}, R = 470\Omega)$$



昇圧形負荷応答特性



## (B) 入力電圧 vs 負荷応答リップル

\* 条件: 前ページと同様

\* 実測性能:

・入力電圧が高いと、リップル小

\* 理由は...

応答特性式(2-89)において  
(2-81)(2-45)より

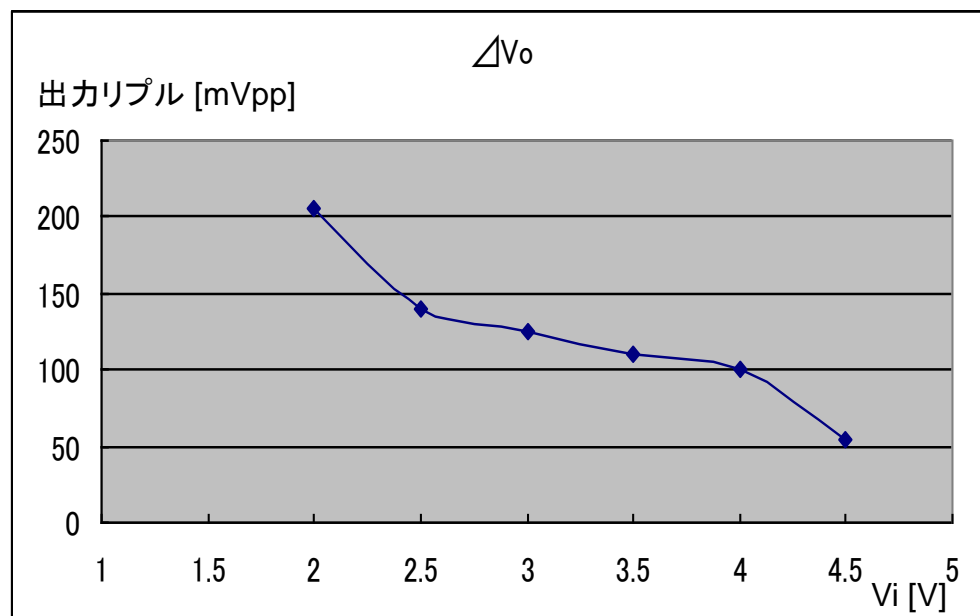
● 昇圧型電源の動特性:

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

$$w_n^2 = \frac{R + RD'^2}{LCR} \quad (7-6)$$

\* 入力電圧が高い  $\Rightarrow M=1/D'$  が小さい  $\Rightarrow D'$  が大きい  $\Rightarrow w_n$  が高い

---



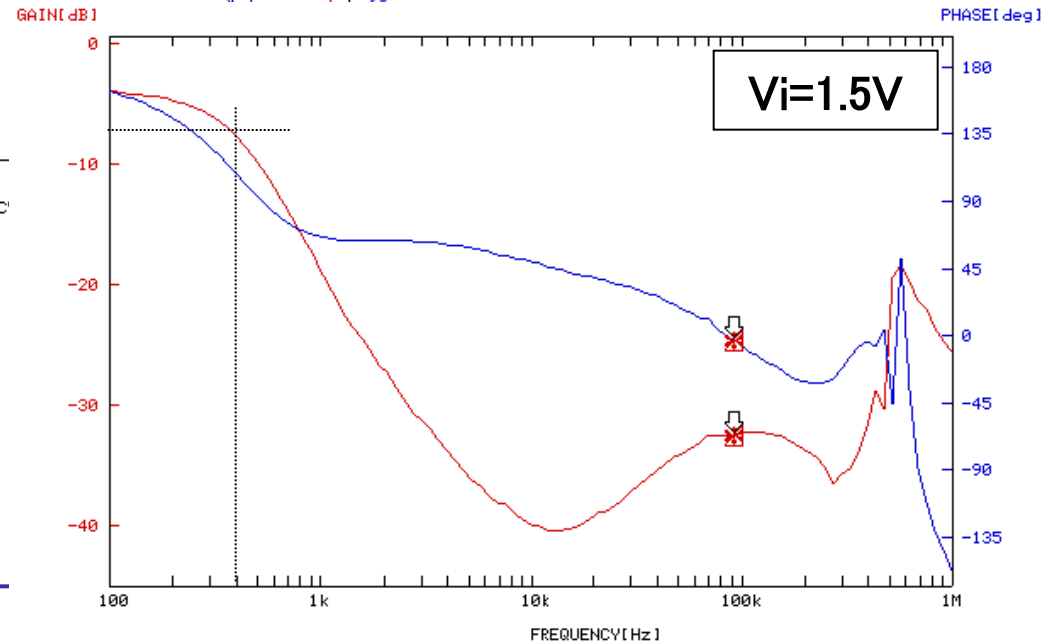
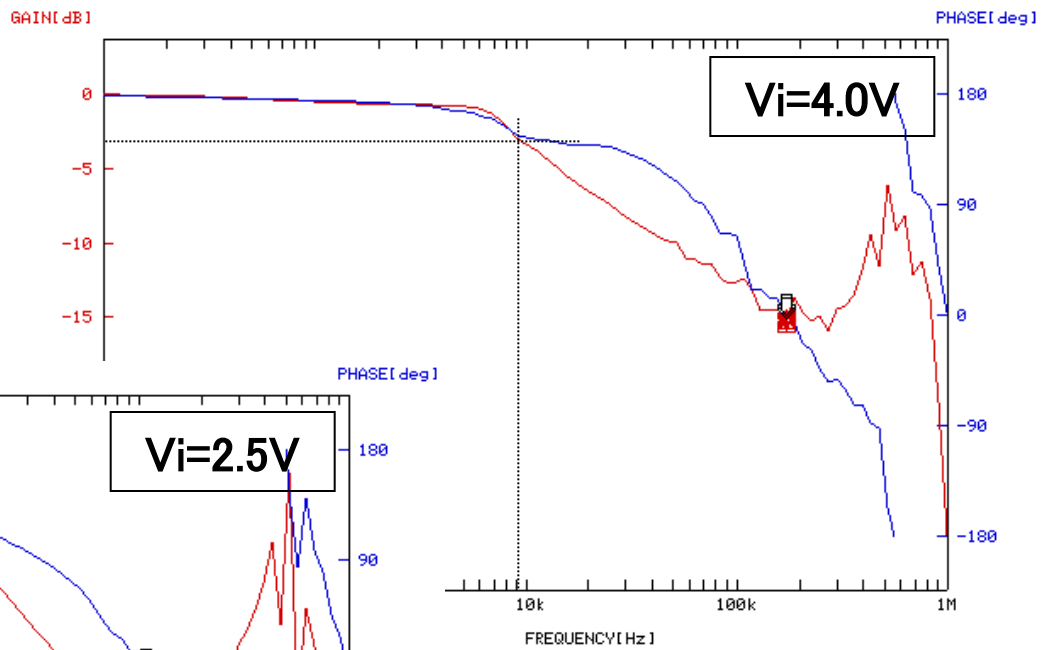
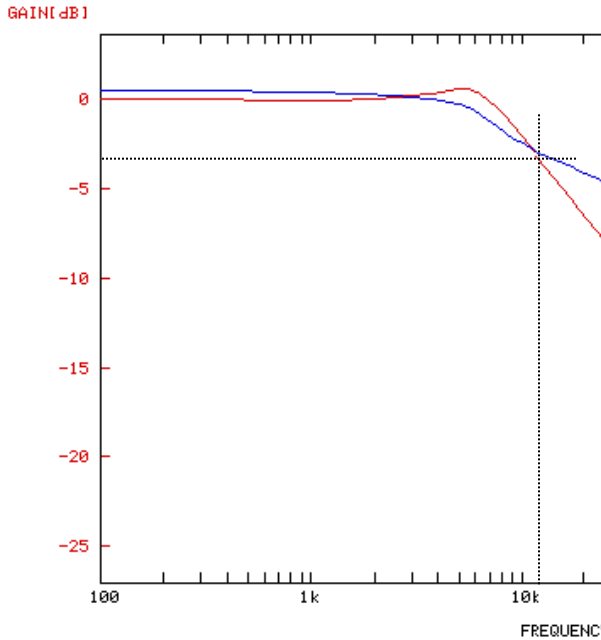
入力電圧 vs 負荷応答出力リップル

# (3) ループ特性

## (A) 閉ループ伝達関数

\* 入力電圧 vs. 伝達特性

( $I_o=0.35A$ 、OSコン: 100 $\mu F$ )



- $V_i=4.0V, 2.5$  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  $F_c$  が低下もってゲインを高めるべき

## (B) ESRと伝達関数

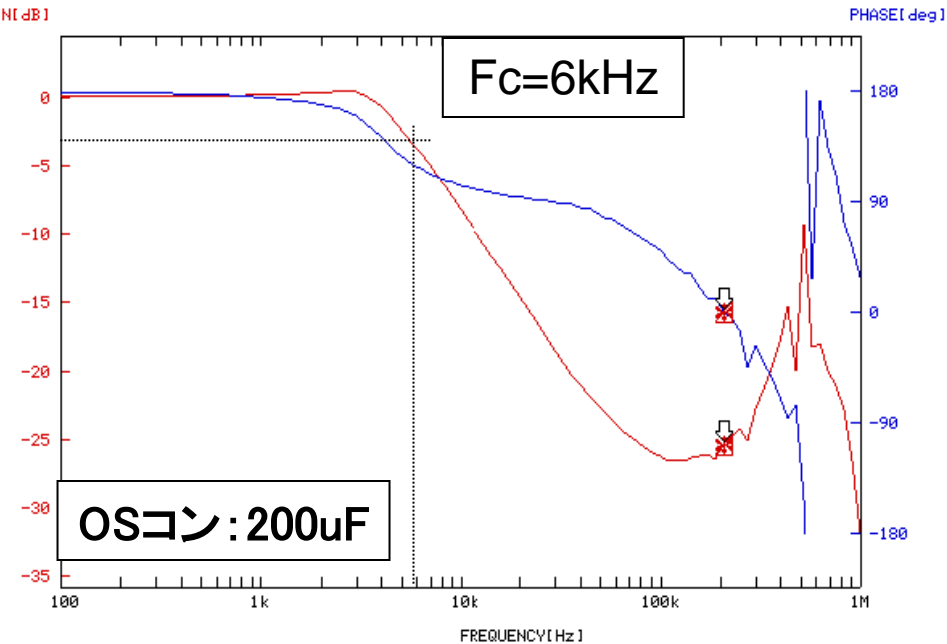
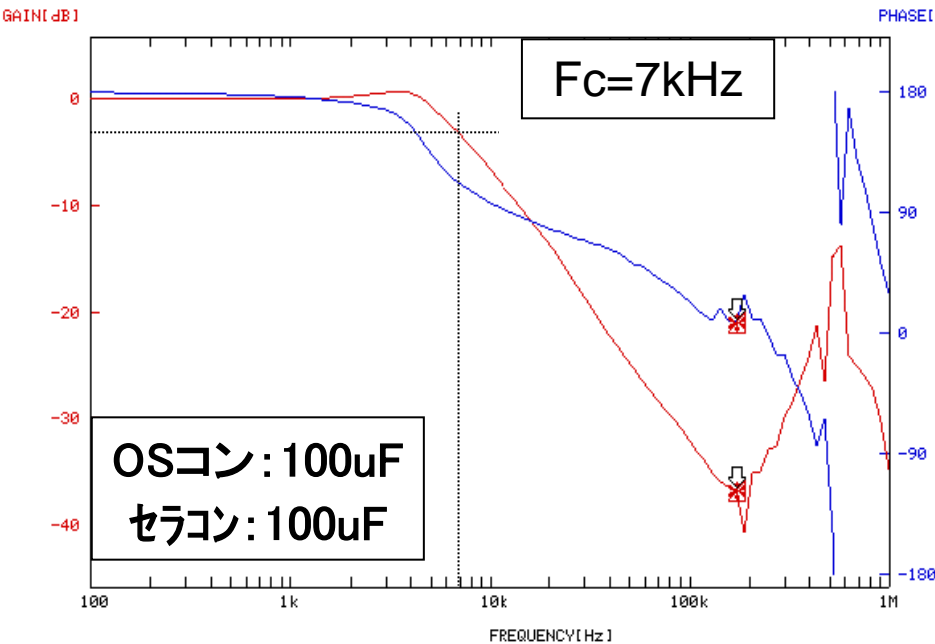
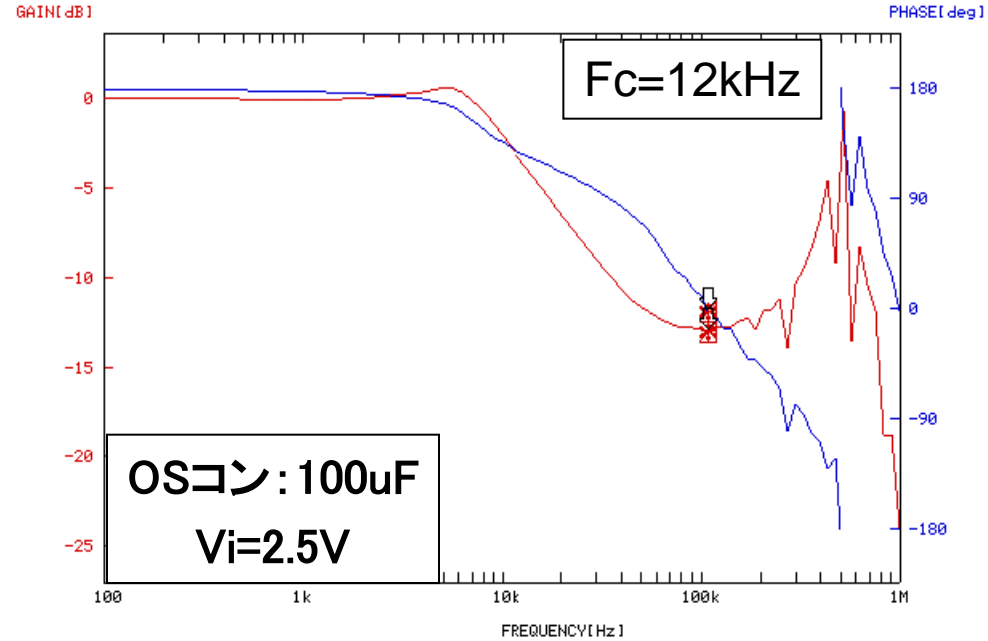
### ● 出力コンデンサによる相違

( $V_i=2.5V$ 、 $I_o=0.35A$ )

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

\* ESRの低減(セラコン100 $\mu$ F変更)

$F_c$ 不変なれど、特性明確化



## 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

( $C_o$ : 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

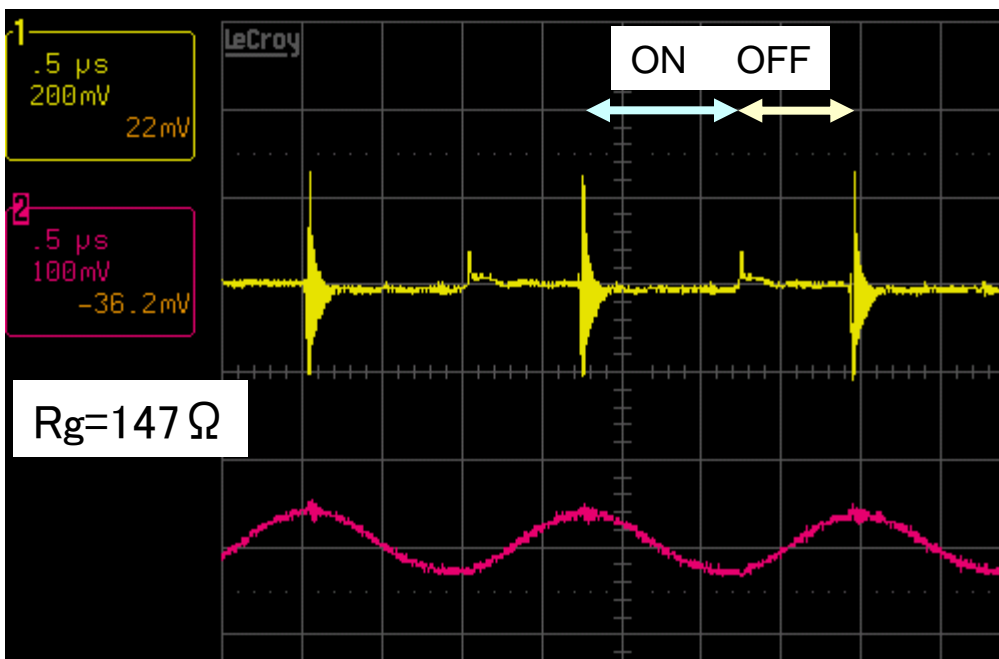
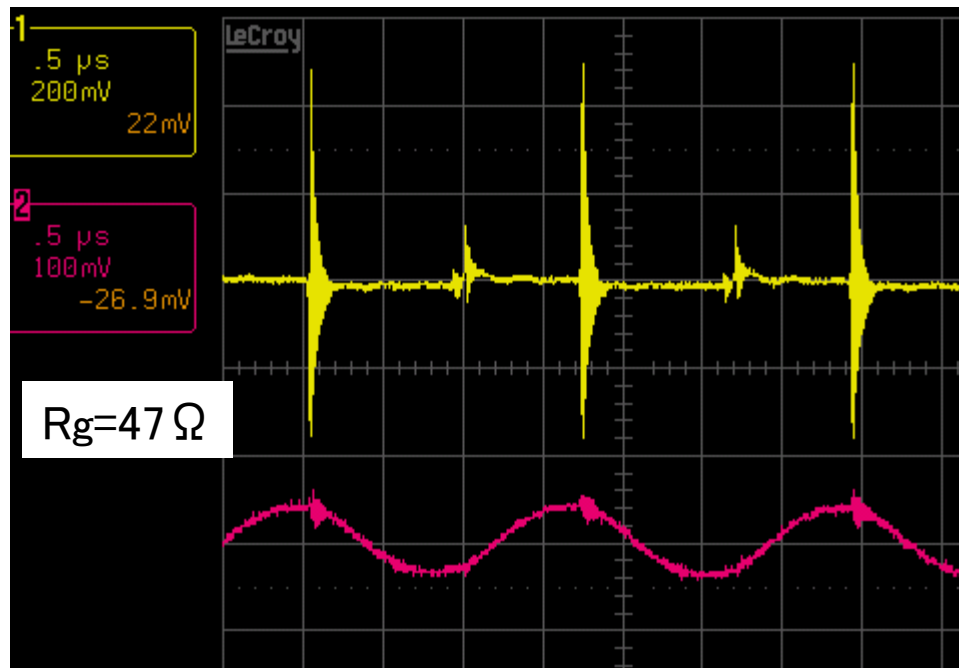
\* 抵抗:  $47 \Rightarrow 147 \Omega$

$\Rightarrow$  リプル:  $0.80 \Rightarrow 0.45\text{Vpp}$

#### ● 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

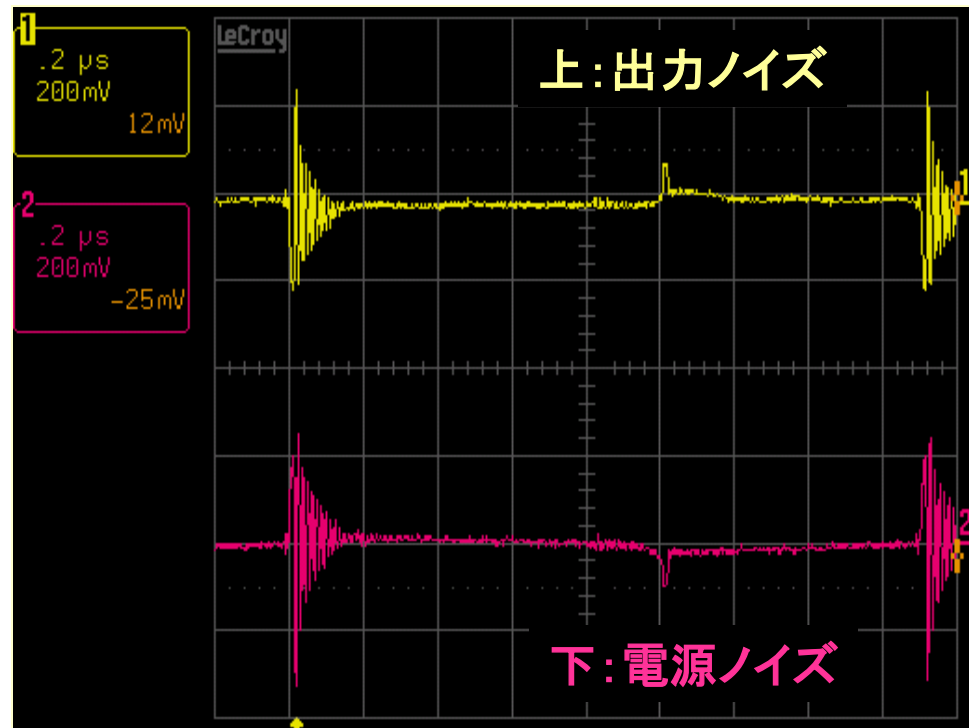
#### \* 初期状態

- ・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

・  $\eta_o = 75.5\%$   $\Rightarrow$   $L_1 = 71.2\%$

・ 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