

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-2 (昇圧形電源)

7-1 特性式と実測

(1) 定常特性

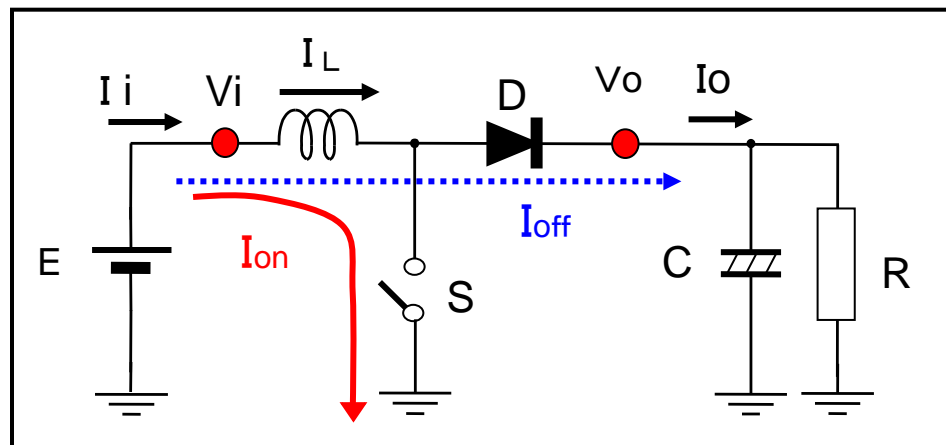
(A) 電圧変換率

● 理論式

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

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

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



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

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

図7.1 昇圧型スイッチング電源

● 実測値:

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

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

(7-1)

表7.1 降圧型電源の実測値

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

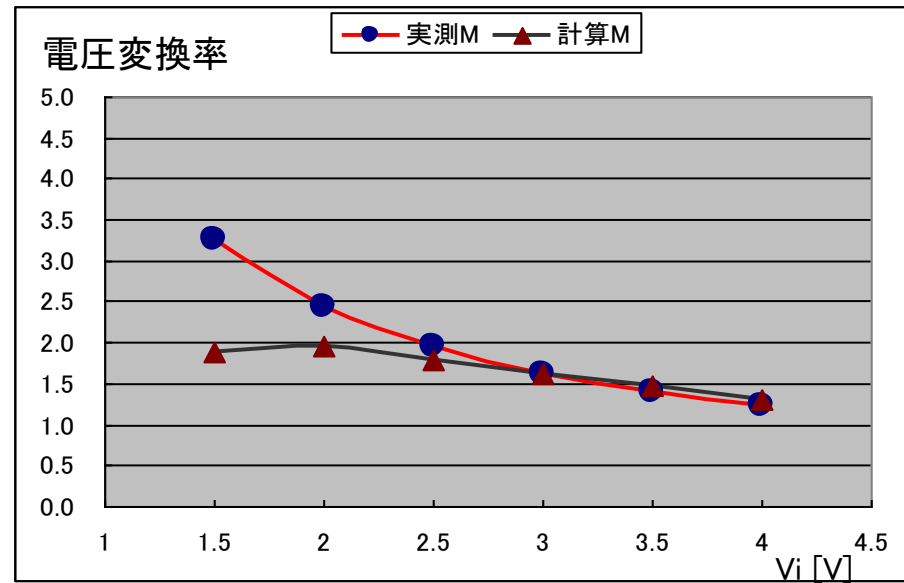


図7.2 電圧変換率の実測

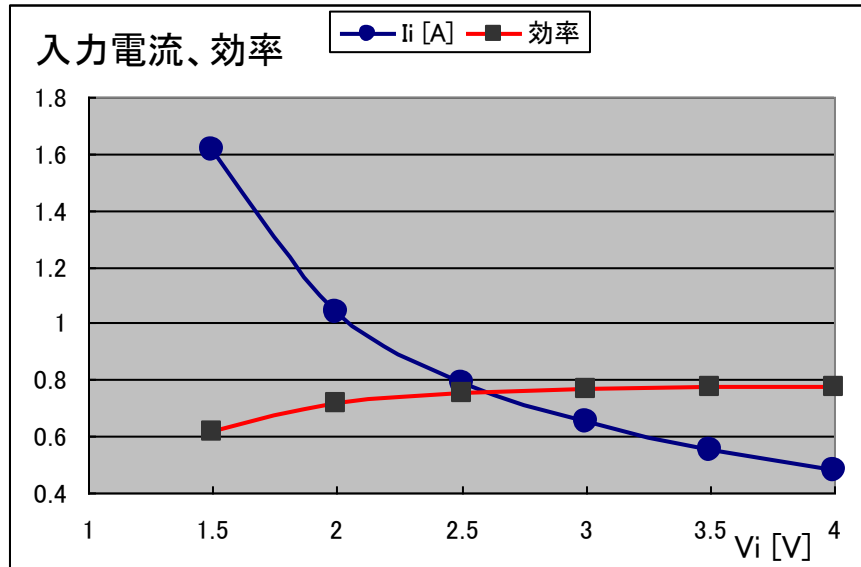


図7.4 入力電流、効率の実測

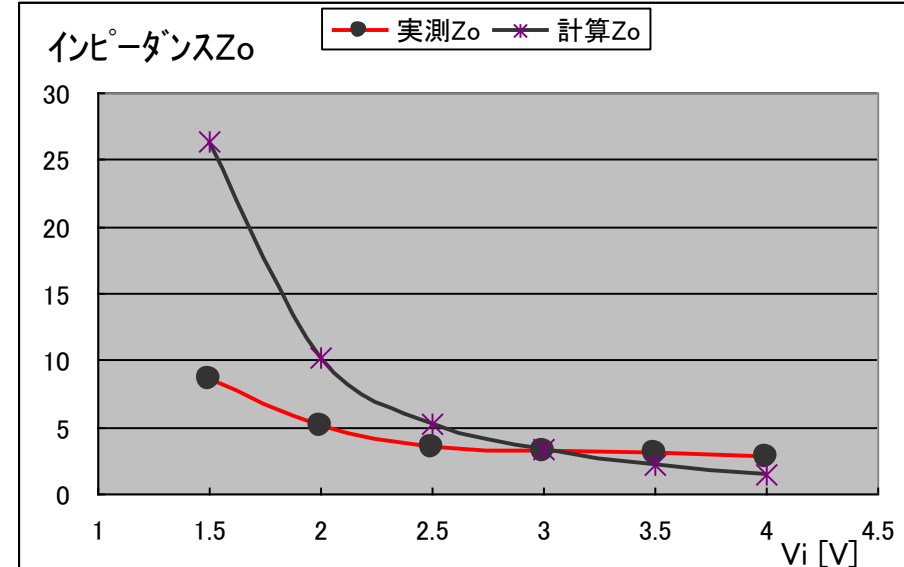


図7.3 内部抵抗の実測

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

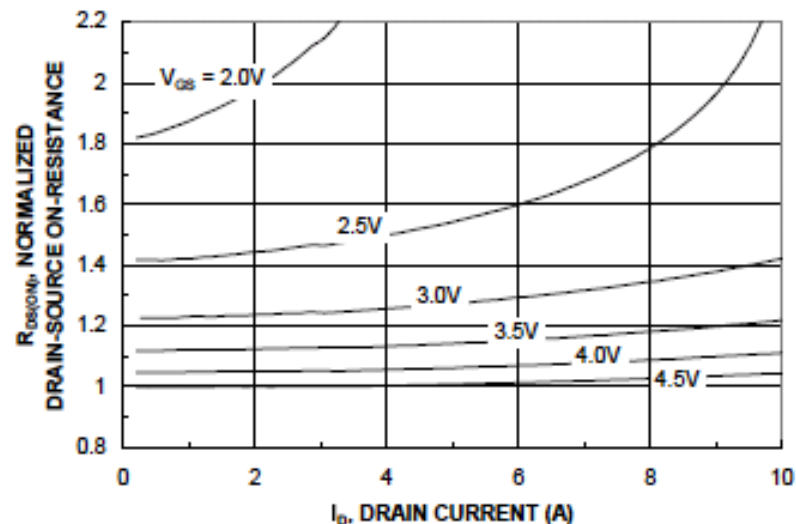


Figure 2. On-Resistance Variation with Drain Current and Gate Voltage.

表7.2 NMOSの諸特性

図7.5 NMOSの内部抵抗

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	$I_D = 250 \mu A, \text{Referenced to } 25^\circ C$		-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	Ω
$I_{D(on)}$	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 ($V_i=1.5V$ 、 $V_o=5.0V$)

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

$$\begin{aligned} * \Delta V_o &= 0.009 \cdot D \cdot I_o = 0.55 \text{ [mVpp]} \\ & \quad (I_o=0.305A, D=0.2 @ V_i=1.5V) \end{aligned}$$

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

● 実測値1: OSコン (=200 μF) 接続

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

* ESRの検討

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

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

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

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

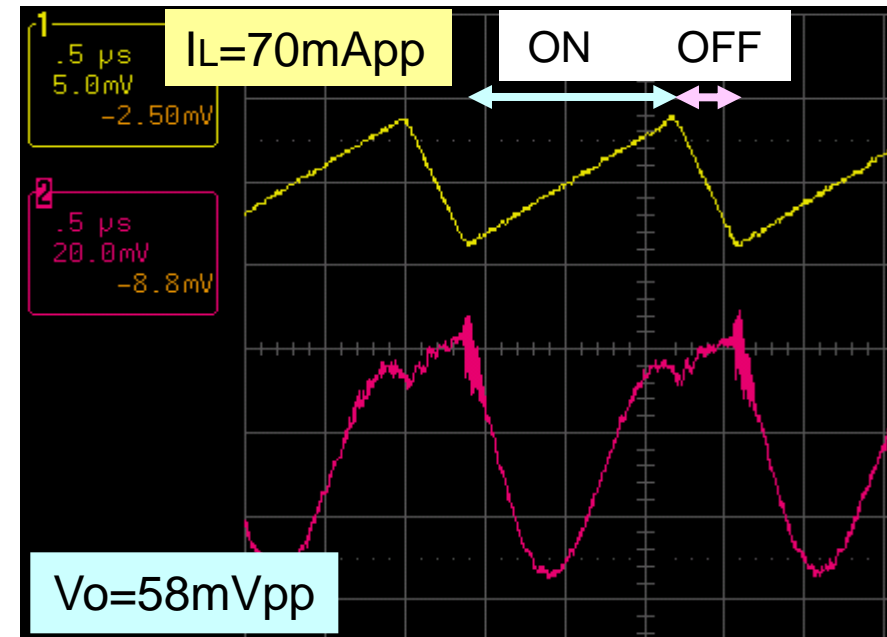


図7.6 電圧リップル1 ($V_i=1.5V$ 、OSコン)

● 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:

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

?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

電圧リプル < 10mVpp

理論値と合っている!!

⇒ GNDラインの見直し必要

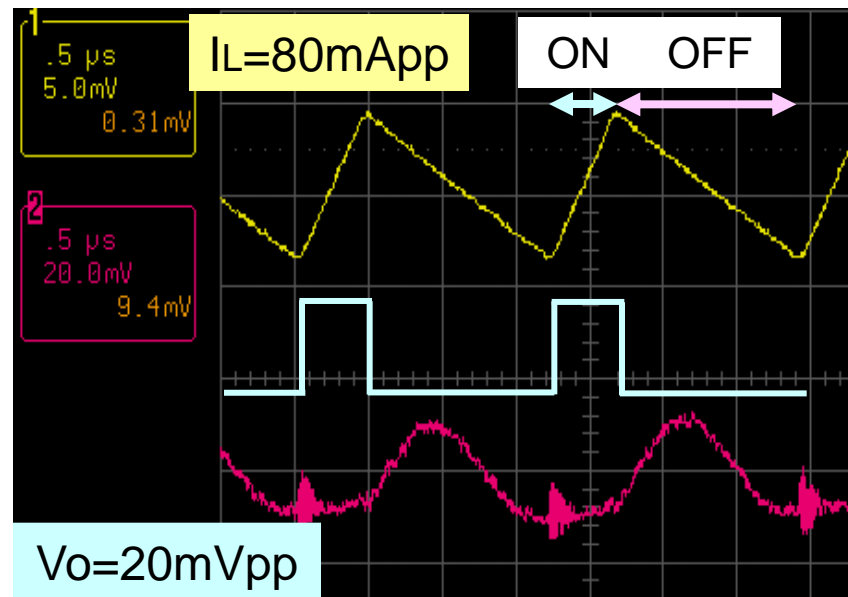


図7.7 電圧リプル2 ($V_i = 3.5\text{V}$ 、OSコン)

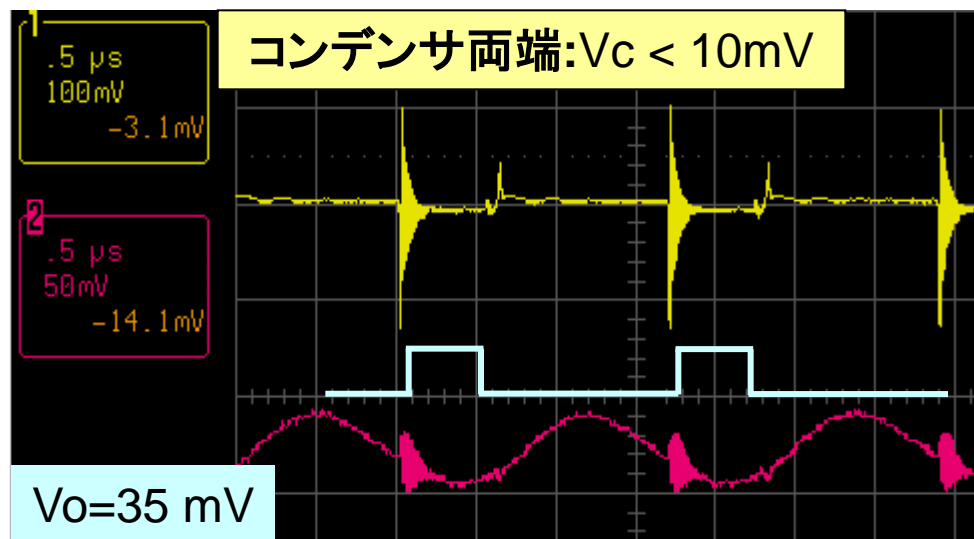


図7.8 電圧リプル3 (OS+セラコン)

(C) 入力電圧と定常リプル

● 理論式

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

● 実測値4: 出力コンデンサ両端リプル

* V_i ダウンで、 D' ダウン (D アップ)

* I_{Dpeak} と類似 $\Rightarrow r_D$ ダウン必要

● 上式を図で考えてみると

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

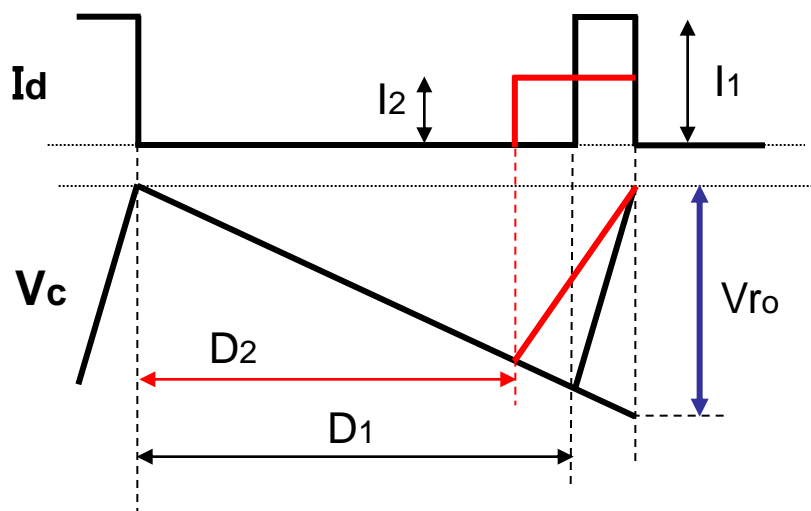


図7.9 入力電圧とデューティの関係

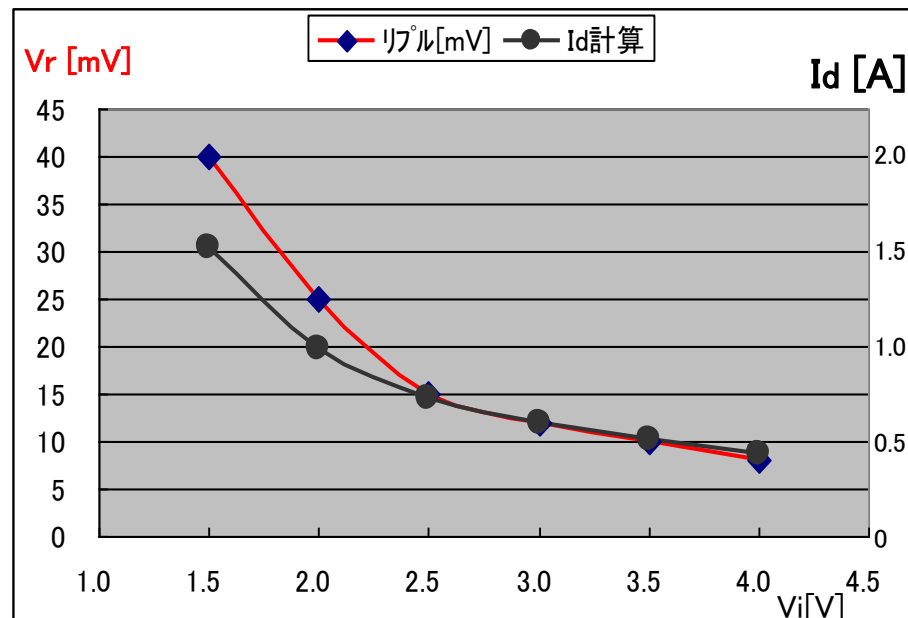
$$L=23\mu\text{H}, R_L=85\text{m}\Omega$$

$$C_i = \text{ケミコン} 100\mu\text{F}$$

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

$$+ \text{セラコン} 47\mu\text{F}$$

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



($V_o=5.0\text{V}, I_o=0.3\text{A}$)

図7.10 I_D と電圧リプルの関係

(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

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

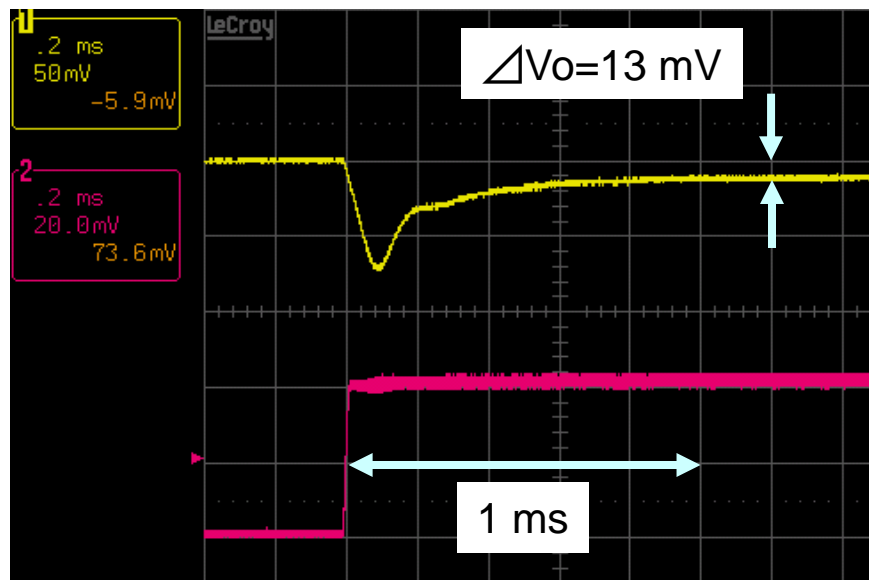
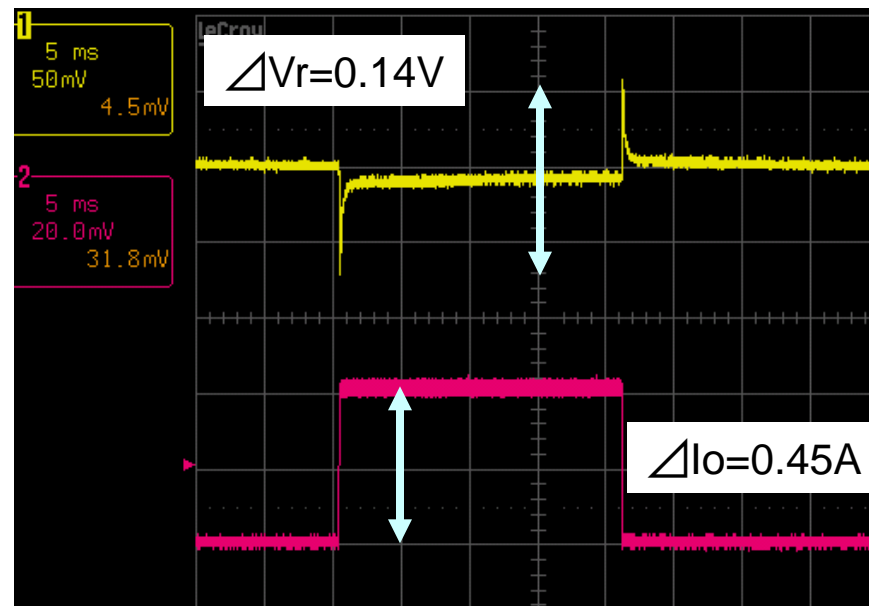


図7.11 負荷応答特性 ($\Delta I = 0.45A$)

(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

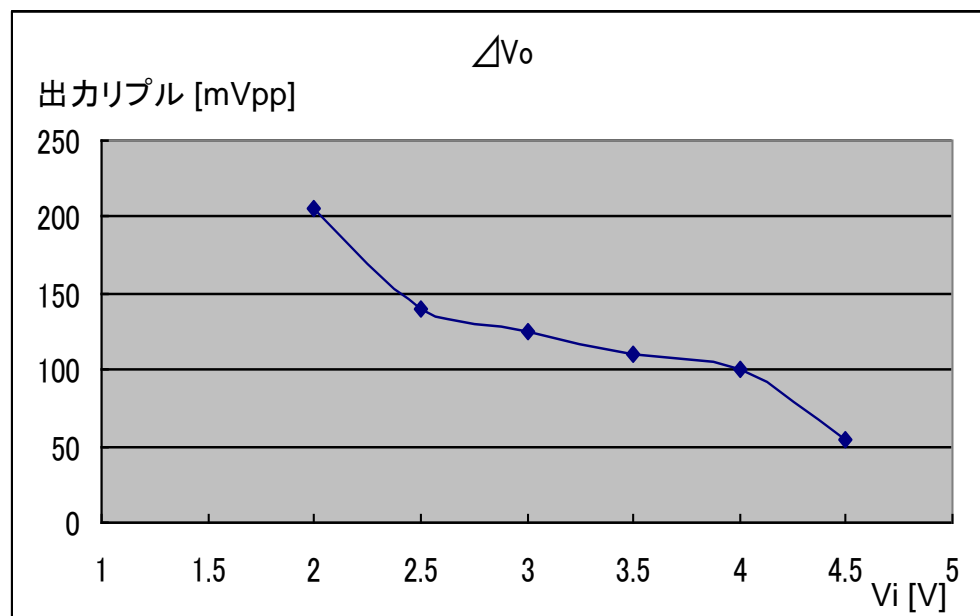


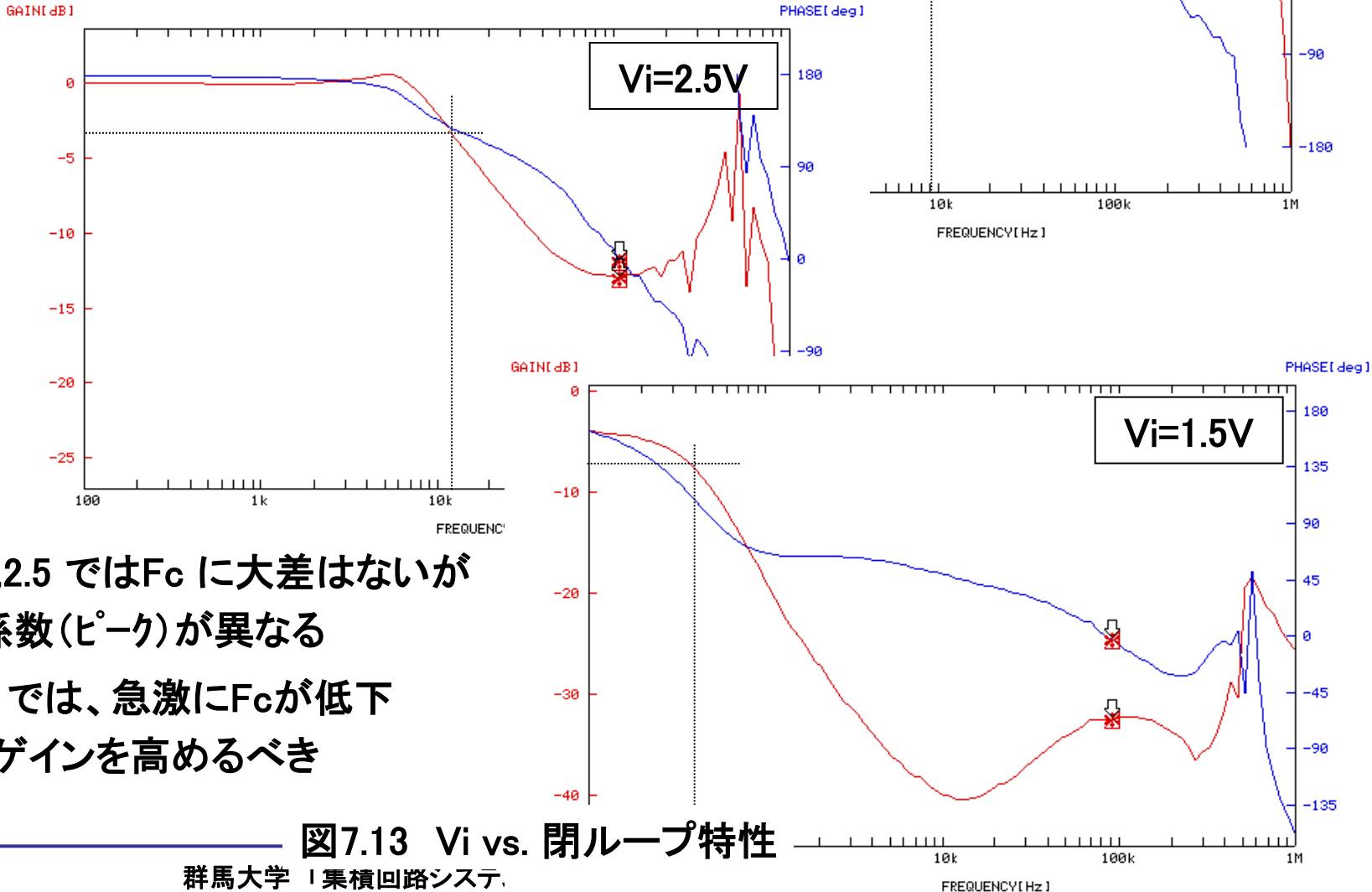
図7.12 入力電圧 vs 負荷応答出力リップル

(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 μF)



● $V_i=4.0V, 2.5$ 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
もっとゲインを高めるべき

図7.13 V_i vs. 閉ループ特性

(B) 出力C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 μ F変更)

F_c 不変なれど、特性明確化

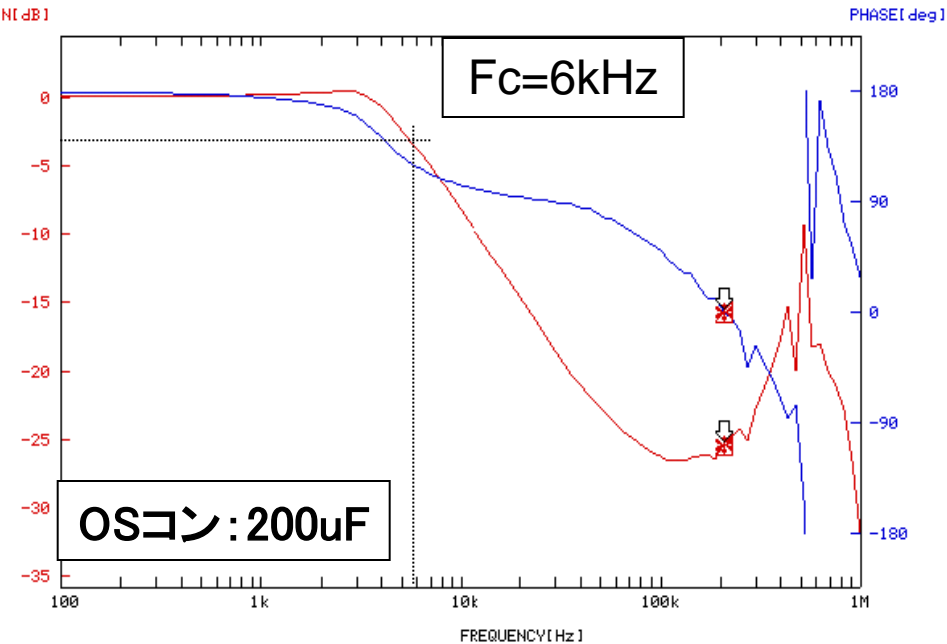
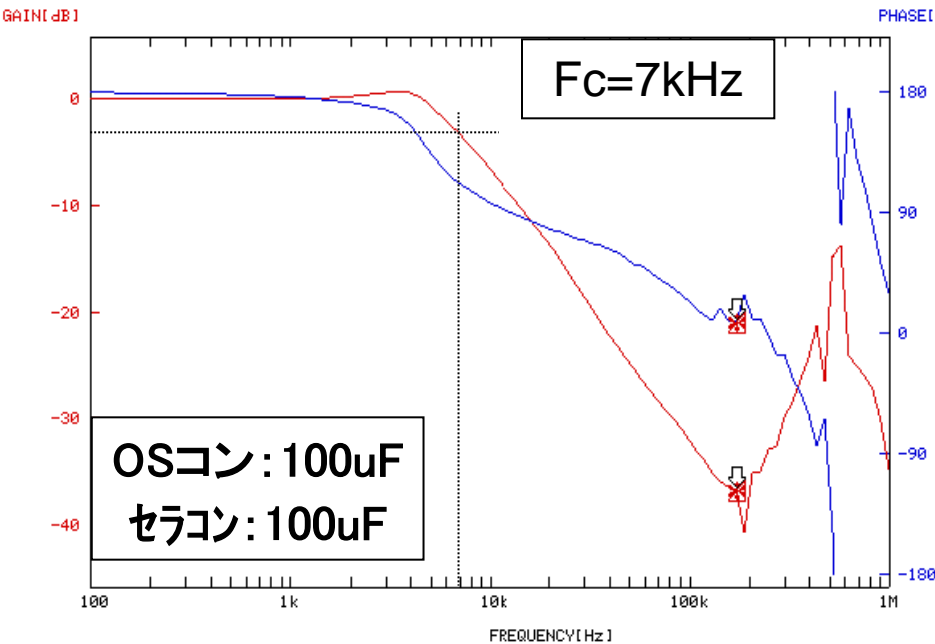
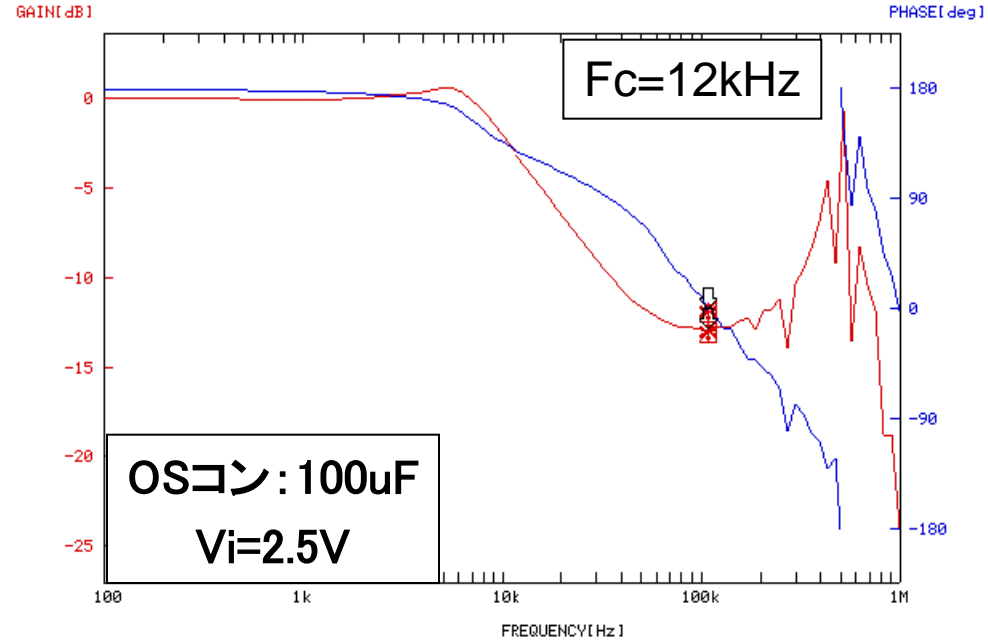


図7.14 C_o vs. 閉ループ特性

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 μF +セラコン47 μF)

● 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 μF 追加

\Rightarrow 大差なし

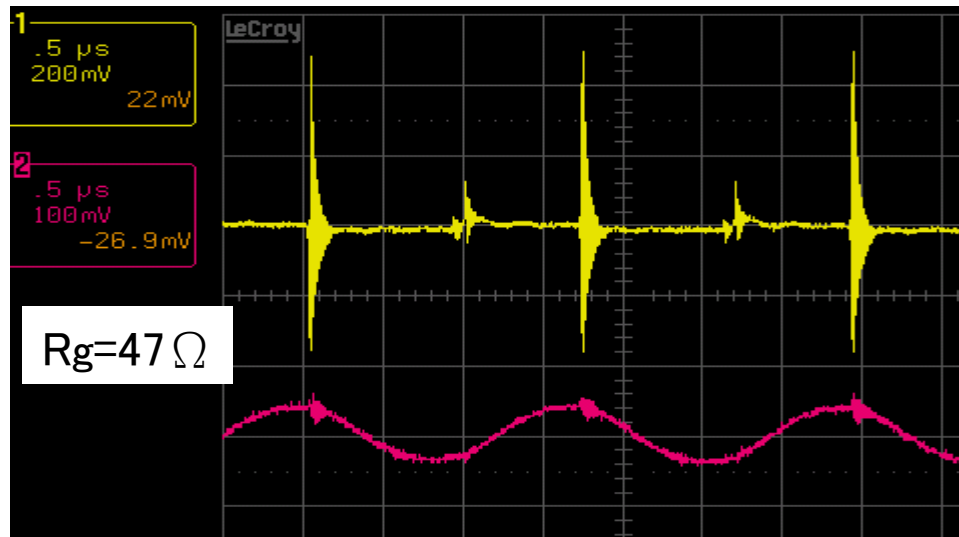


図7.15 スイッチング・ノイズ

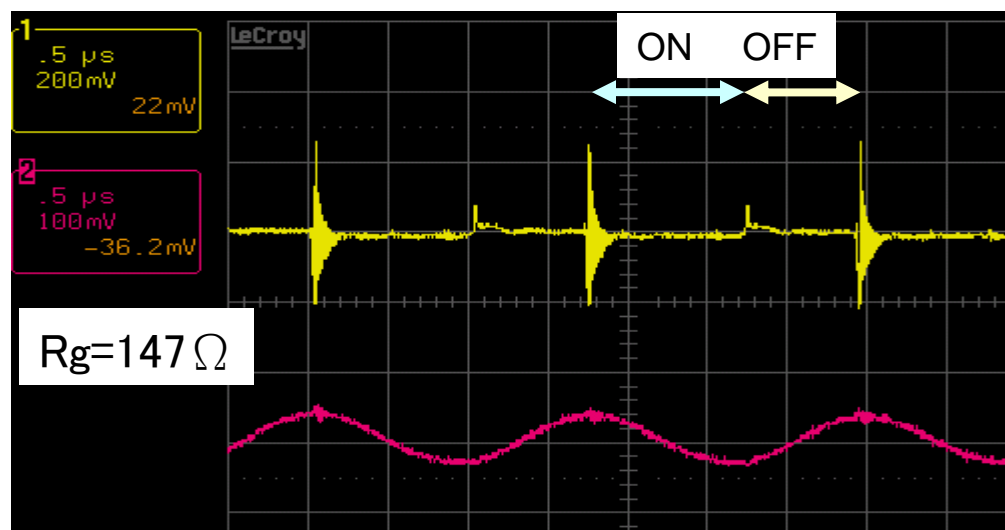


図7.16 スイッチング・ノイズ改善

★その他の条件変更では、改善少