

# アプリケーション ノート

フルモールドタイプ チョツパ型スイッチングレギュレータIC

SI-8000S, SSシリーズ

*Not Recommended for New Designs*

第10版 2013年11月

サンケン電気株式会社

## — — — 目次 — — —

1. 概要		
1-1 特長	-----	3
1-2 主な用途	-----	3
1-3 種別	-----	3
2. 製品仕様		
2-1 外形図	-----	4
2-2 定格	-----	5
2-3 回路図	-----	6
3. SI-8000S,SS シリーズの動作説明		
3-1 PWM 出力電圧制御	-----	7
3-2 過電流・過熱保護	-----	8
4. 使用に際しての注意事項		
4-1 外付部品選定上の注意	-----	9
4-2 パターン設計上の注意	-----	14
4-3 動作波形の確認	-----	15
4-4 電源の安定性	-----	16
4-5 熱設計	-----	21
5. 応用		
5-1 ソフトスタート	-----	23
5-2 出力 ON・OFF 制御	-----	23
5-3 出力電圧可変	-----	24
5-4 スパイクノイズの低減	-----	26
5-5 逆バイアス保護	-----	26
5-6 反転チョッパ	-----	27
6. 熱減定格	-----	29
7. 代表特性例	-----	30
8. 用語解説	-----	35

## 1. 概要

SI-8000S,SS シリーズは、降圧スイッチングレギュレータに必要な各種の機能と保護機能を備えたチョツパ型スイッチングレギュレータ I C です。4 点の外付け部品で高精度高能率のスイッチングレギュレータを構成することができます。尚、SI-8000SS シリーズは SI-8000S シリーズの出力電圧選別品です。

### ● 1-1 特長

- ・ 小型大出力電流 3 A  
TO 2 2 0 クラスの外形で、出力電流が最大 3 A です。
- ・ 高効率 8 4 % (SI-8050S, SS  $V_{IN}=20V/I_o=1A$ )  
高効率の為発熱が小さく、放熱器も小型にする事が出来ます。
- ・ 外付部品 4 点  
入出力コンデンサ、ダイオード、コイルのみでレギュレータを構成出来ます。
- ・ 出力電圧、位相補正内部調整済  
面倒な外付部品による出力電圧、位相補正の調整は不要です。
- ・ タイミングコンデンサ内蔵型基準発振  
発振周波数設定用の外付コンデンサは不要です。
- ・ 過電流、過熱保護内蔵  
垂下型過電流保護及び過熱保護回路を内蔵しています。(自動復帰型)
- ・ ソフトスタート機能 (出力 ON/OFF 可能)  
外付コンデンサの追加で、起動時に出力電圧立ち上がり速度を遅らせる事が出来ます。又出力の ON/OFF 制御も可能です。
- ・ 絶縁板不要  
フルモールド型ですので放熱器への取り付けに際し絶縁板が不要です。

### ● 1-2 主な用途

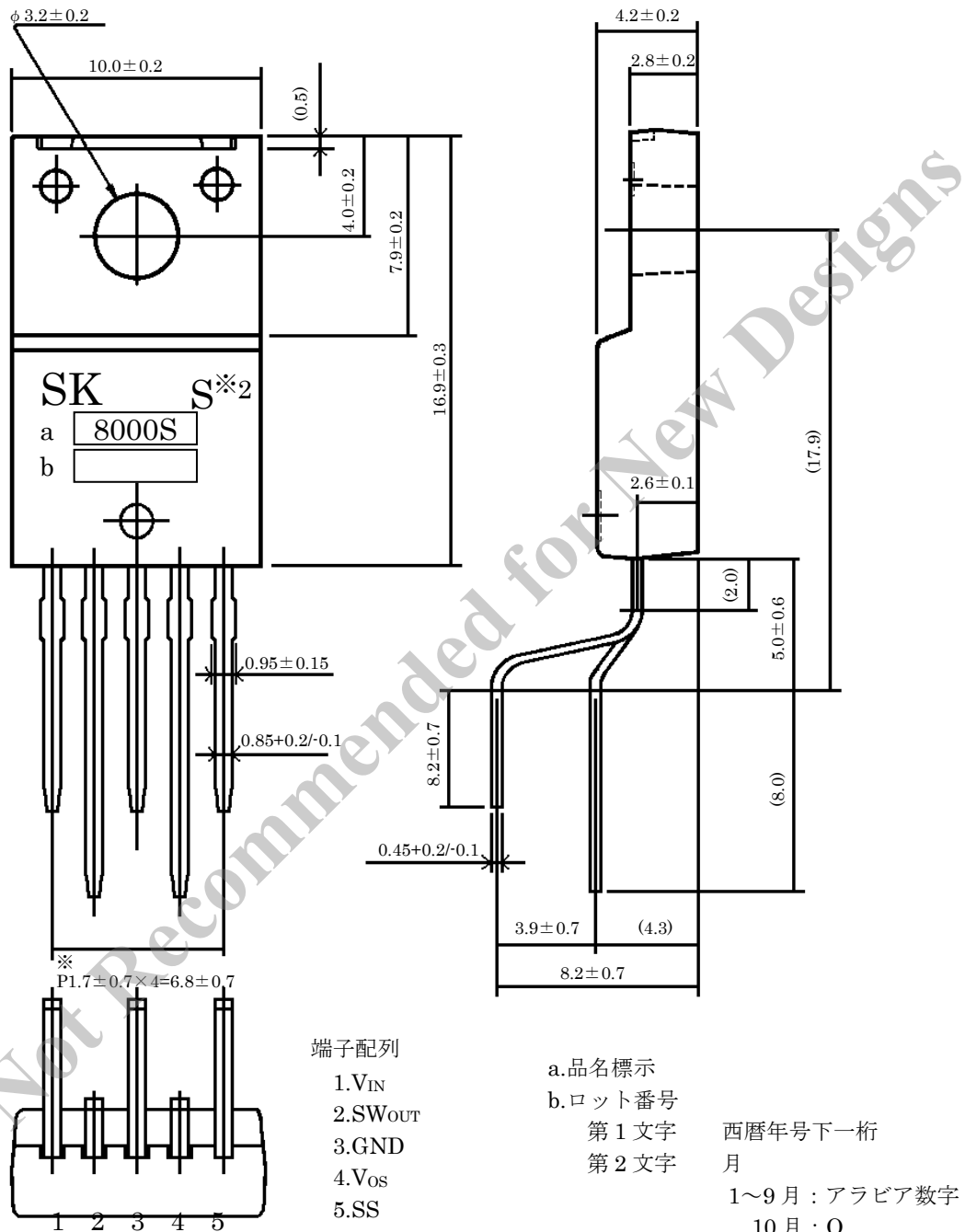
- ・ オンボードローカル電源
- ・ O A 機器用電源
- ・ レギュレータ 2 次側出力電圧安定化
- ・ テレコム用電源

### ● 1-3 種別

- ・ 種別：半導体集積回路 (モノリシック I C)
- ・ 構造：樹脂封止型 (トランスファーモールド)

## 2. 製品仕様

### ● 2-1 外形図 (リードフォーミング No : LF1101)



<注> ※印寸法はリード先端部の寸法を示す。

※2 SI-8000SS は SK マークの右側に”S”を

捺印してあります。SI-8000S は SK マークの右側に”S”を捺印する場合があります。

単位: mm

図番: TG3A-1102

## ● 2-2 定格

## ラインナップ

品名	V <sub>OUT</sub> (V)
SI-8033S	3.3
SI-8050S	5
SI-8090S	9
SI-8120S	12
SI-8150S	15

## 絶対最大定格

項目	記号	定格値	単位
入力電圧	V <sub>IN</sub>	43 *1	V
無限大放熱時許容損失	Pd1	18	W
放熱板未使用時許容損失	Pd2	1.5	W
接合部温度	T <sub>j</sub>	125	°C
保存温度	T <sub>stg</sub>	-40~+125	°C
S W端子印加逆電圧	V <sub>sw</sub>	-1	V

\*1 : SI-8033S,SI-8033SS は 35V です。

## 推奨動作条件

項目	記号	SI-8033S, SS	SI-8050S, SS	SI-8090S, SS	SI-8120S	SI-8150S	単位
直流入力電圧	V <sub>IN</sub>	5.5~28	7~40	12~40	15~40	18~40	V
出力電流	I <sub>o</sub>	0~3					A
動作時接合温度	T <sub>jop</sub>	-30~+125					°C

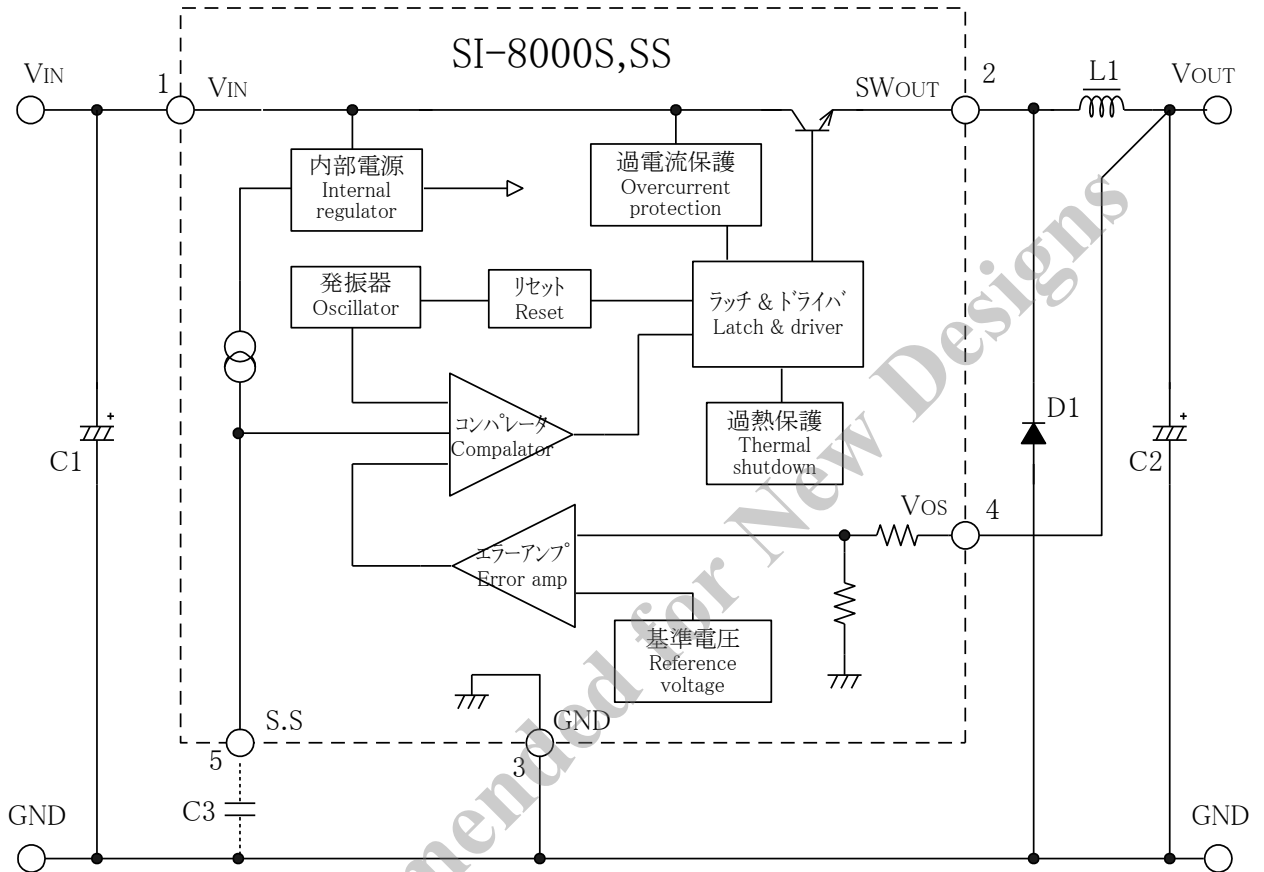
## 電気的特性

(T<sub>a</sub>=25 °C)

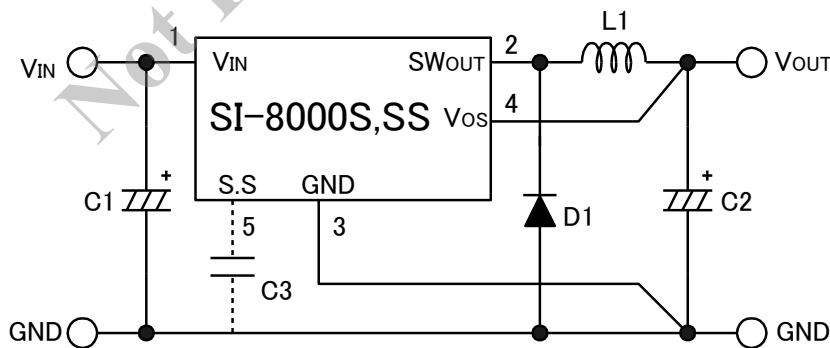
項目	記号	SI-8033S			SI-8050S			SI-8090S			SI-8120S			SI-8150S			単位
		min	typ	max	min	typ	max	min	typ	max	min	typ	max	min	typ	max	
設定出力電圧	Vo	3.17	3.30	3.43	4.80	5.00	5.20	8.55	9.00	9.45	11.5	12.0	12.5	14.25	15.0	15.75	V
	SS	3.234	3.30	3.366	4.90	5.00	5.10	8.73	9.00	9.27	—	—	—	—	—	—	
	条件	V <sub>IN</sub> =15V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =20V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =21V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =24V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =25V/I <sub>o</sub> =1A			
効率	η		79			84			88			90			91		%
	条件	V <sub>IN</sub> =15V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =20V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =21V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =24V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =25V/I <sub>o</sub> =1A			
スイッチング周波数	f		60			60			60			60			60		kHz
	条件	V <sub>IN</sub> =15V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =20V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =21V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =24V/I <sub>o</sub> =1A			V <sub>IN</sub> =25V/I <sub>o</sub> =1A			
入力電圧対出力電圧 (I <sub>out</sub> =1A)	ΔV <sub>o</sub> line		25	80		40	100		50	120		60	130		60	130	mV
	条件	V <sub>IN</sub> =8~28V			V <sub>IN</sub> =10~30V			V <sub>IN</sub> =15~30V			V <sub>IN</sub> =18~30V			V <sub>IN</sub> =21~30V			
出力電流対出力電圧 (I <sub>out</sub> =0.5~1.5A)	ΔV <sub>oload</sub>		10	30		10	40		10	40		10	40		10	40	mV
	条件	V <sub>IN</sub> =15V			V <sub>IN</sub> =20V			V <sub>IN</sub> =21V			V <sub>IN</sub> =24V			V <sub>IN</sub> =25V			
過電流保護開始電流	I <sub>s</sub>	3.1			3.1			3.1			3.1			3.1			A
	条件	V <sub>IN</sub> =15V			V <sub>IN</sub> =20V			V <sub>IN</sub> =21V			V <sub>IN</sub> =24V			V <sub>IN</sub> =25V			
出力電圧温度変動	Kt		±0.5			±0.5			±1.0			±1.0			±1.0		mV/°C

● 2-3 回路図

2-3-① 内部等価回路図



2-3-② 標準接続図



C1 : 50V/1000  $\mu$  F

C2 : 50V/1000  $\mu$  F

C3 : 0.01  $\mu$  F

(ソフトスタート

機能を使用時のみ)

L1 : 150  $\mu$  H

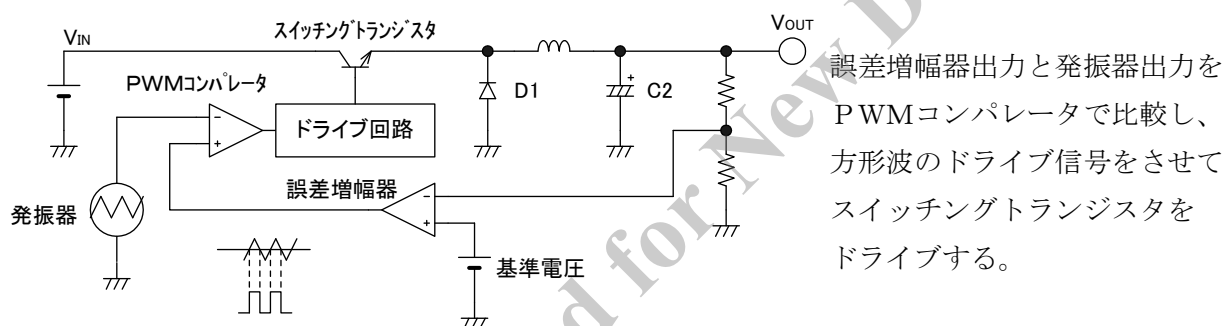
D1 : RK46 (サンケン製)  
(made by Sanken)

### 3. SI-8000S,SS の動作説明

#### ● 3-1 PWM出力電圧制御

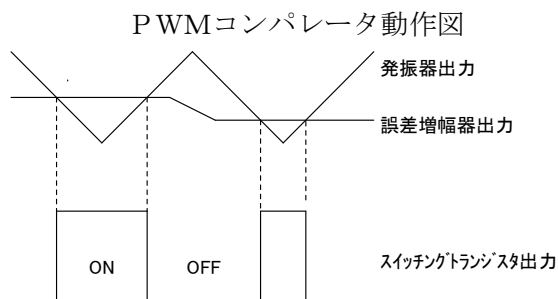
SI-8000S,SS シリーズは、PWM方式にて出力電圧を制御しており、PWMコンパレータ、発振器、誤差増幅器、基準電圧、出力トランジスタドライブ回路、等を内蔵しております。PWMコンパレータの入力には発振器からの三角波出力(≒60KHz)と誤差増幅器の出力が与えられます。PWMコンパレータは発振器出力と誤差増幅器出力を比較し、発振器出力に対し誤差増幅器出力が上回った時間にスイッチングトランジスタがONになるよう制御しています。

PWM制御チョップ型レギュレータ基本構成



仮に出力電圧が上昇しようとした場合、誤差増幅器は反転型のため誤差増幅器の出力は低下します。誤差増幅器出力が低下すると発振器の三角波レベルを下回る時間が増加しスイッチングトランジスタのON時間を短縮させる事により出力電圧を一定に保ちます。このようにスイッチングの周波数は固定したままで、スイッチングトランジスタのON時間を変化させる事により出力電圧を制御しています。

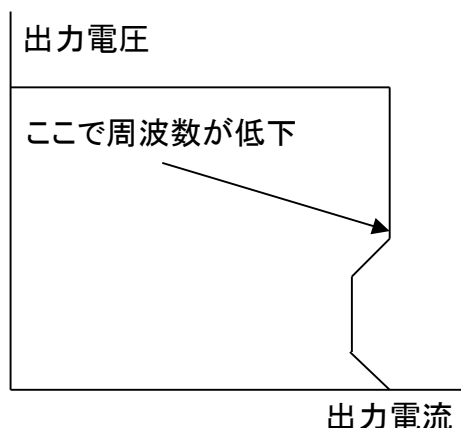
( $V_{in}$  が高い程スイッチングトランジスタのON時間は短くなります。)



スイッチングトランジスタの方形波出力は、チョークコイルとコンデンサによるLCローパスフィルターにより平滑され、安定化された直流電圧として負荷へ供給される事になります。

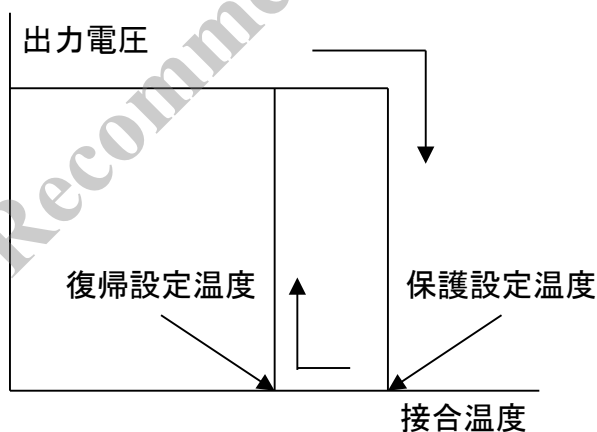
### ● 3 - 2 過電流・過熱保護

過電流時出力電圧特性



SI-8000S,SS シリーズは、垂下型過電流保護回路を内蔵しています。過電流保護回路はスイッチングトランジスタのピーク電流を検出し、ピーク電流が設定値を超えると強制的にトランジスタのON時間を短縮させて出力電圧を低下させ電流を制限しています。更に出力電圧が定格値の約 50%まで低下しますとスイッチング周波数を約 30KHz に落とし低出力電圧時の電流増加を防止しています。過電流状態を解除すると出力電圧は自動的に復帰します。

過熱保護時出力電圧特性



過熱保護回路は、ICの半導体接合温度を検出し、接合温度が設定値を超えると出力トランジスタを停止させ、出力をOFFとします。接合温度が過熱保護設定値より約 15°C程度低下しますと自動的に復帰します。

#### ※（過熱保護特性）注意事項

瞬時短絡等の発熱に対しICを保護する回路であり、長時間短絡等、発熱が継続する状態での信頼性を含めた動作を保証するものではありません。



## 4. 使用に際しての注意事項

### ● 4-1 外付部品選定上の注意

#### 4-1-① チョークコイルL1

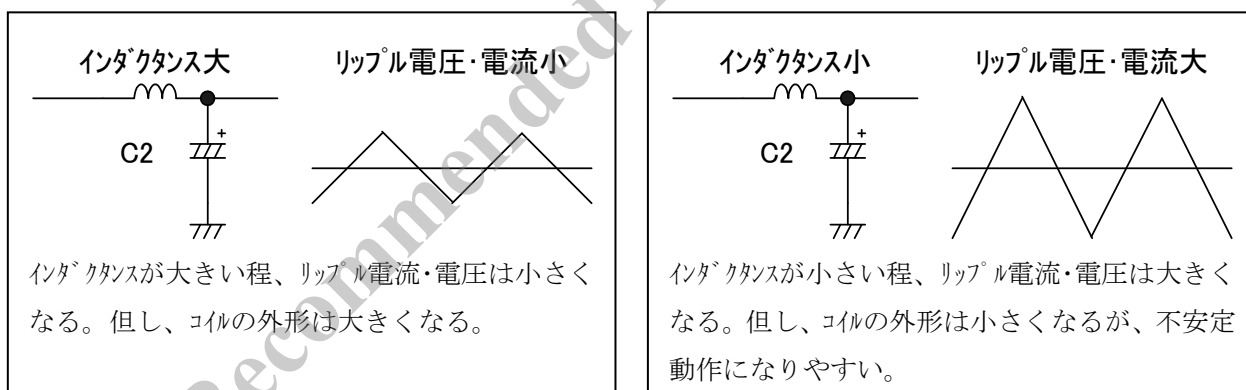
チョークコイルL1は、チョップ型スイッチングレギュレータの中心的役割を果たしています。レギュレータの安定動作維持のため、飽和状態での動作や、自己発熱による高温動作等の危険な状態は回避しなくてはなりません。チョークコイル選定のポイントとしては以下の事項が挙げられます

a) スwitchングレギュレータ用である事

ノイズフィルタ用のコイルは、損失が大きく発熱が大となりますのでご使用を避けて下さい。

b) インダクタンス値が適正である事

チョークコイルのインダクタンスは、大きい程コイルを流れるリップル電流が減少し出力リップル電圧が小さくなりますが、コイルの外形は大形になります。逆に小さなインダクタンスとすると、スイッチングトランジスタやダイオードを流れるピーク電流が増大して損失が増加し、リップル電圧も大きくなり安定動作確保の上で好ましくありません。



仕様書に示すインダクタンス値は、安定動作に適した目安の値ではありますが、(1)式によって適当なインダクタンス値を求めることもできます。

ここで、 $\Delta IL$  はチョークコイルのリップル電流値を示し、大略下記の目安に従って設定します。

- ・使用出力電流が SI-8000S, SS の最大定格(3A)に近い場合：出力電流 $\times 0.2\sim 0.3$ 倍
- ・使用出力電流が大略 1A 以下の場合：出力電流 $\times 0.3\sim 0.4$ 倍

$$L1 = \frac{(VIN - VOUT) \cdot VOUT}{\Delta IL \cdot VIN \cdot f} \quad \text{--- (1)}$$

例えば  $V_{IN}=25V$ ,  $V_{OUT}=5V$ ,  $\Delta IL=0.5A$ , 周波数=60KHz とすると、

$$L1 = \frac{(25-5) \times 5}{0.5 \times 25 \times 60 \times 10^3} \doteq 133\mu H$$

となりますので、インダクタンスが約 130 $\mu$ H のコイルを選択すればよい事になります。但し、算出されたインダクタンス値によってはスイッチングトランジスタのピーク電流が増大します。その結果、過電流検出にピーク電流検出方式を採用している為、過電流検出ポイントが低下する場合があります。

c) 定格電流を満足する事

チョークコイルの定格電流は、使用する最大負荷電流より大きくなくてはなりません。負荷電流がコイルの定格電流を越えると、インダクタンスが激減し、ついには飽和状態となります。この状態では、高周波インピーダンスが低下し、過大な電流が流れますのでご注意ください。

d) ノイズが少ない事

ドラム型のような開磁路型コアは、磁束がコイルの外側を通過するため周辺回路へノイズによる障害を与える事があります。なるべくトロイダル型や EI 型、EE 型のような閉磁路型コアのコイルをご使用下さい。

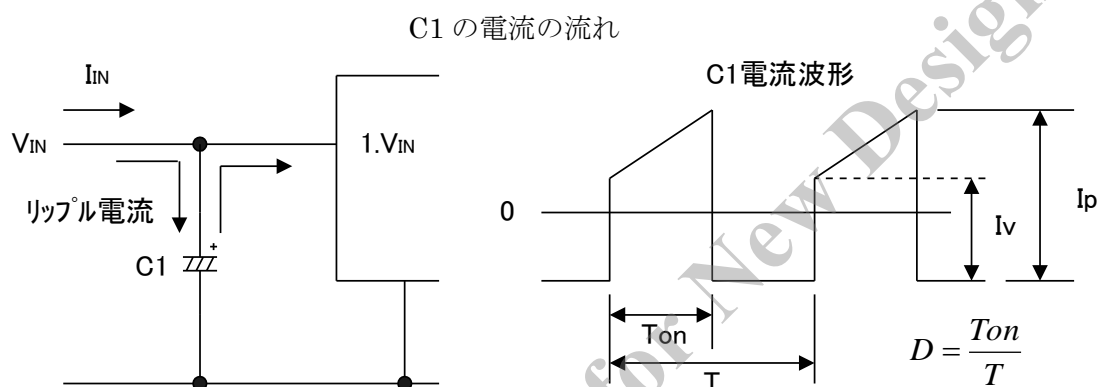
Not Recommended for New Designs

#### 4-1-② 入力コンデンサC1

入力コンデンサは、入力回路のバイパスコンデンサとして動作し、スイッチング時の急峻な電流をレギュレータに供給しており、入力側の電圧降下を補償しています。従って極力レギュレータICの近くに取り付ける必要があります。また、AC整流回路の平滑コンデンサが入力回路にある場合には、入力コンデンサは平滑コンデンサと兼用とする事が出来ませんが、同様の配慮が必要です。

C1選定のポイントとして次の事が挙げられます。

- a) 耐圧を満足する事
- b) 許容リップル電流値を満足する事



入力コンデンサのリップル電流は負荷電流の増加に伴って増大する。

これら耐圧や許容リップル電流値を、オーバーしたりディレーティング無しで使用した場合、コンデンサ自身の寿命が低下（パンク、容量の減少、等価インピーダンス増大、等）するばかりでなく、レギュレータの異常発振を誘発する危険があります。従って、十分なマージンをとった選択が必要です。尚入力コンデンサに流れるリップル電流実効値  $I_{rms}$  は下記の（2）式で求められます。

$$I_{rms} \approx 1.2 \times \frac{V_o}{V_{in}} \times I_o \quad \text{--- (2)}$$

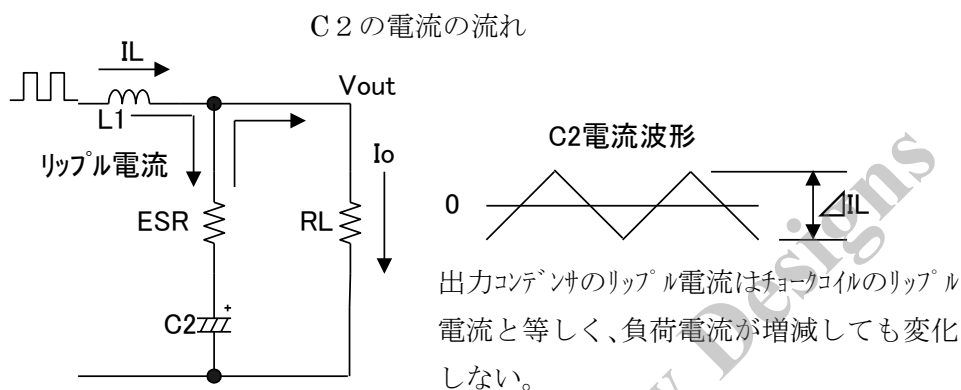
例えば  $V_{in}=20V$ ,  $I_o=3A$ ,  $V_o=5V$  とすると、

$$I_{rms} \approx 1.2 \times \frac{5}{20} \times 3 = 0.9A$$

となりますので、許容リップル電流が、0.9A より大きいコンデンサを選ぶ必要があります。

#### 4-1-③ 出力コンデンサC2

出力コンデンサC2は、チョークコイルL1と共にLCローパスフィルターを構成し、スイッチング出力の平滑コンデンサとして機能しています。出力コンデンサにはチョークコイル電流の脈流部 $\Delta IL$ と等しい電流が充放電されています。従って入力コンデンサと同様に、耐圧及び許容リップル電流値を十分なマージンを取った上で満足する必要があります。



出力コンデンサのリップル電流実効値は、下記の(3)式で求められます。

$$I_{rms} = \frac{\Delta IL}{2\sqrt{3}} \quad \text{--- (3)}$$

例えば $\Delta IL$ を0.5Aとしますと、

$$I_{rms} = \frac{0.5}{2\sqrt{3}} \approx 0.14A$$

となり、許容リップル電流が0.14A以上のコンデンサが必要になります。

又レギュレータの出力リップル電圧 $V_{rip}$ は、チョークコイル電流の脈流部 $\Delta IL$ (=C2充放電電流)と出力コンデンサC2の等価直列抵抗ESRの積によって定まります。

$$V_{rip} = \Delta IL \cdot C2ESR \quad \text{--- (4)}$$

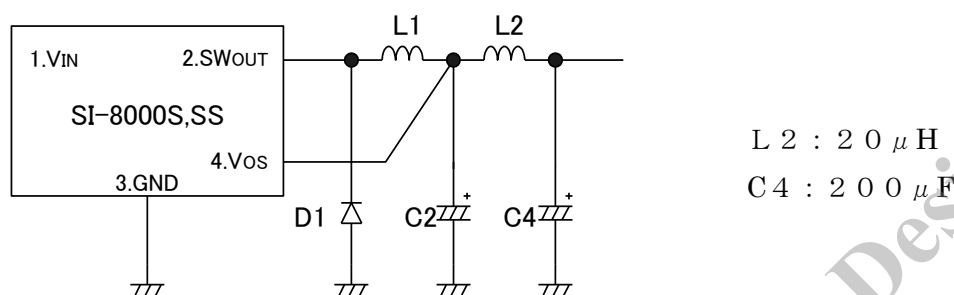
従って出力リップル電圧を小さくするには、等価直列抵抗ESRの低いコンデンサを選ぶ必要があります。一般的に電解コンデンサにおいては同一シリーズの製品ならば、同一耐圧で容量が大きい程、又は同一容量で耐圧が高い程(≒外形が大きくなる程)ESRは低くなります。

ここで $\Delta IL=0.5A$   $V_{rip}=40mV$  としますと、

$$C2esr = 40 \div 0.5 = 80m\Omega$$

となり、ESRが $80m\Omega$ 以下のコンデンサを選べば良い事になります。またESRは温度によって変化し一般に低温になると増加しますので、使用温度におけるESRを確認する必要があります。尚ESR値はコンデンサ固有のものでコンデンサメーカーにお問い合わせ下さい。

しかし出力コンデンサの ESR が極端に小さくなりますと（約 10~30mΩ 以下）、レギュレータの帰還ループ内の位相余裕が不足し、動作が不安定になる恐れがあります。この為、出力コンデンサにタンタルコンデンサや積層セラミックコンデンサを単体で用いる事は適当ではありません。但し低温(<0°C)で使用される場合には、電解コンデンサと並列にタンタルコンデンサや積層セラミックコンデンサを接続すると出力リップル電圧の低減に有効です。更に、一層出力リップル電圧を小さくするには、下図に示すように、LCフィルタを一段追加しπ型フィルタを構成するのが効果的です。



但し 2 段目のフィルタを追加した場合には出力電圧検出点（Vos 端子への配線）を 2 段目フィルタの前段にしないと異常発振を起こす事がありますので、注意が必要です。

このように、出力コンデンサ C 2 においては、耐圧及び許容リップル電流が満足されれば、容量より ESR の方が動作安定度に与える影響が大きい事にご注意ください。

#### 4-1-④ フライホイールダイオード・D1

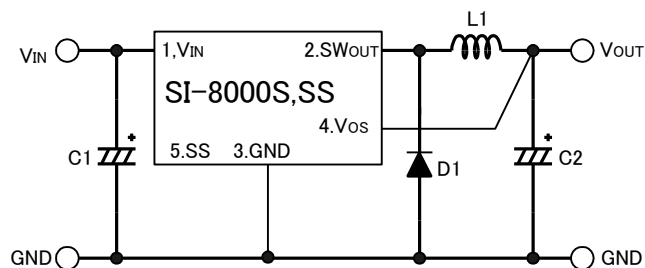
フライホイールダイオード D 1 は、スイッチングオフ時にチョークコイルに貯えられたエネルギーを放出させる為の物です。フライホイールダイオードには必ずショットキーバリアダイオードを使用して下さい。一般の整流用ダイオードやファーストリカバリダイオード等を使用した場合、リカバリ及びオン電圧による逆電圧印可により IC を破壊する恐れがあります。

又 SI-8000S,SS シリーズの SWOUT (2 番端子) から出力された電圧は入力電圧とほぼ同等である為、フライホイールダイオードの逆方向耐圧が入力電圧以上あるものをご使用下さい。

## ● 4-2 パターン設計上の注意

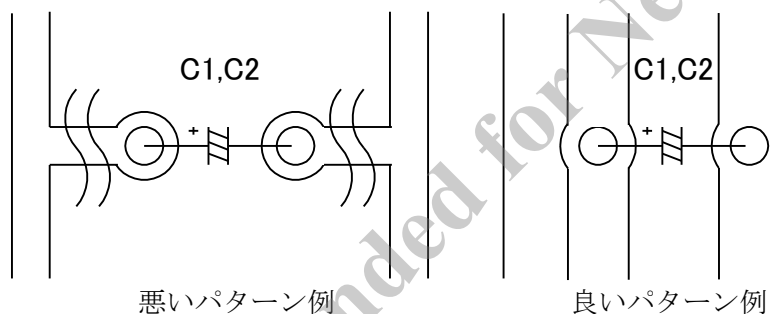
### 4-2-① 大電流ライン

接続図中の太線部分には大電流が流れますので、出来る限り太く短いパターンとして下さい。



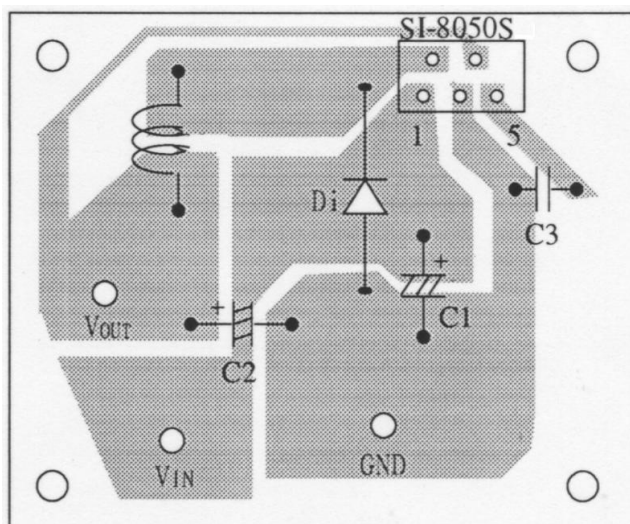
### 4-2-② 入出力コンデンサ

入力コンデンサC1と、出力コンデンサC2は、出来る限りICに近づけて下さい。入力側にAC整流回路の平滑コンデンサがある場合には、入力コンデンサと兼用にする事が可能ですが、距離が離れている場合には、平滑用とは別に入力コンデンサを接続する事が必要です。また入出力コンデンサのリード線には、大電流が高速で充放電されるので、リード線の長さは最短として下さい。コンデンサ部分のパターン引き回しにも同様の配慮が必要です。



### 4-2-③ センシング端子

出力電圧センシング端子Vosは出来る限り出力コンデンサC2に近い所に接続して下さい。(Vos端子流入電流は1mA程度です。) 遠い場合、レギュレーションの低下、スイッチングリップルの増大により異常発振の原因となる事がありますのでご注意下さい。



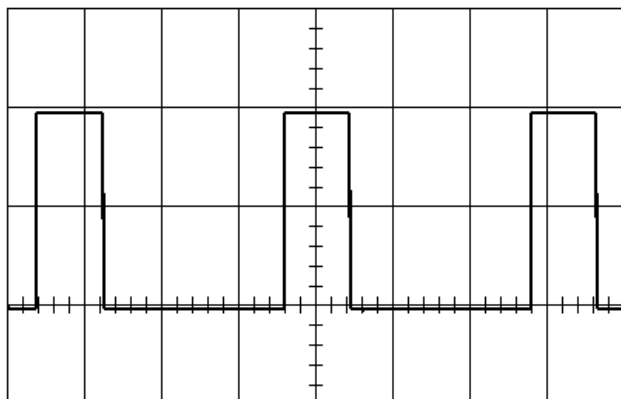
基板パターン例

Top view : 部品面

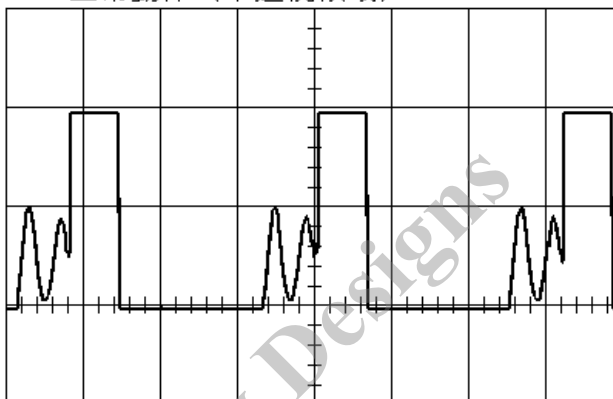
### ● 4 - 3 動作波形の確認

スイッチング動作が正常であるかどうかは SI-8000S,SS の 2 - 3 端子間波形 (SW<sub>OUT</sub>-GND 間波形)にて確認できます。以下に正常動作時及び異常発振時における波形例を示します。

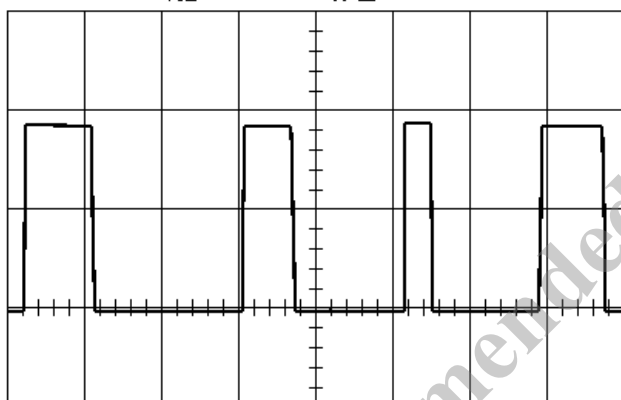
1. 正常動作 (連続領域)



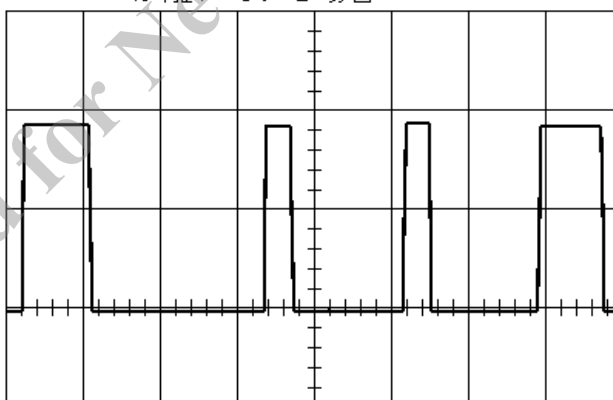
2. 正常動作 (不連続領域)



3. C1 が離れている場合



4. C2 が離れている場合



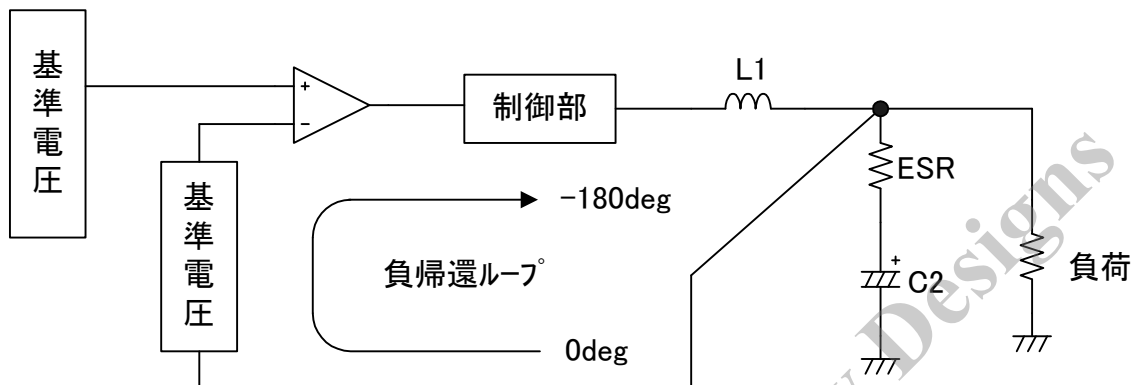
連続領域は、チョークコイルを流れる電流に、三角波に直流成分が重畳している領域であり、不連続領域はチョークコイル電流が少ない為チョークコイルを流れる電流が断続的になる (ゼロになる期間が発生する) 領域です。従って負荷電流が多い場合は連続領域に、少ない場合は不連続領域になります。連続領域ではスイッチング波形は通常の方角波の形状となり (波形 1)、不連続領域ではスイッチング波形に減衰振動が発生しますが (波形 2)、これは正常な動作であり問題はありません。

ところが IC と C1, C2 が離れていると、上の波形 (3, 4) にみられるように、スイッチングの ON・OFF 時間が乱れるジッタが発生します。前述の通り、C1, C2 は IC の近くに接続する事が必要です。

## ● 4-4 電源の安定性

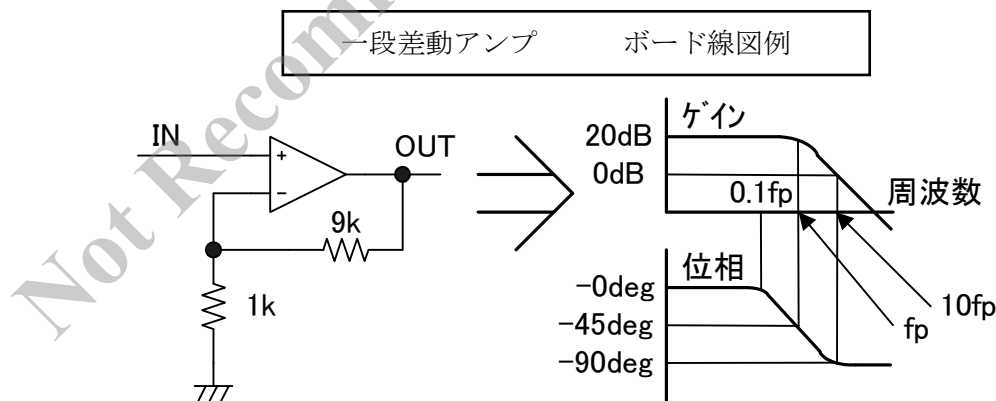
### 4-4-① 位相余裕

PWM制御チョップパ型レギュレータの回路ブロック図を下図に示します。これよりPWM制御チョップパ型レギュレータは、あらかじめ設定された基準電圧と、出力電圧を常時比較して出力電圧を制御する**負帰還増幅器である事が解ります**。従って出力電圧の変動を誤差増幅器で検出して出力を制御する為の負帰還ループを有しています。



負帰還ループ内の位相は、出力電圧の変動を打ち消す為 180deg ずれていますが、さらに**増幅度 (ゲイン) が 1 以上の状態において位相が 180deg 遅れると**、位相のずれは合計で 360deg に達し、安定動作領域を外れて異常発振を起こします。これをバルクハウゼンの発振条件といいます。従って実際の安定化電源ではこの発振条件が成立しないようにしなくてはなりません。

バルクハウゼンの発振条件が成り立つかどうかは、負帰還ループの周波数-ゲイン・位相特性により判定する事が可能です。この周波数-ゲイン・位相特性をボード線図と呼びます。





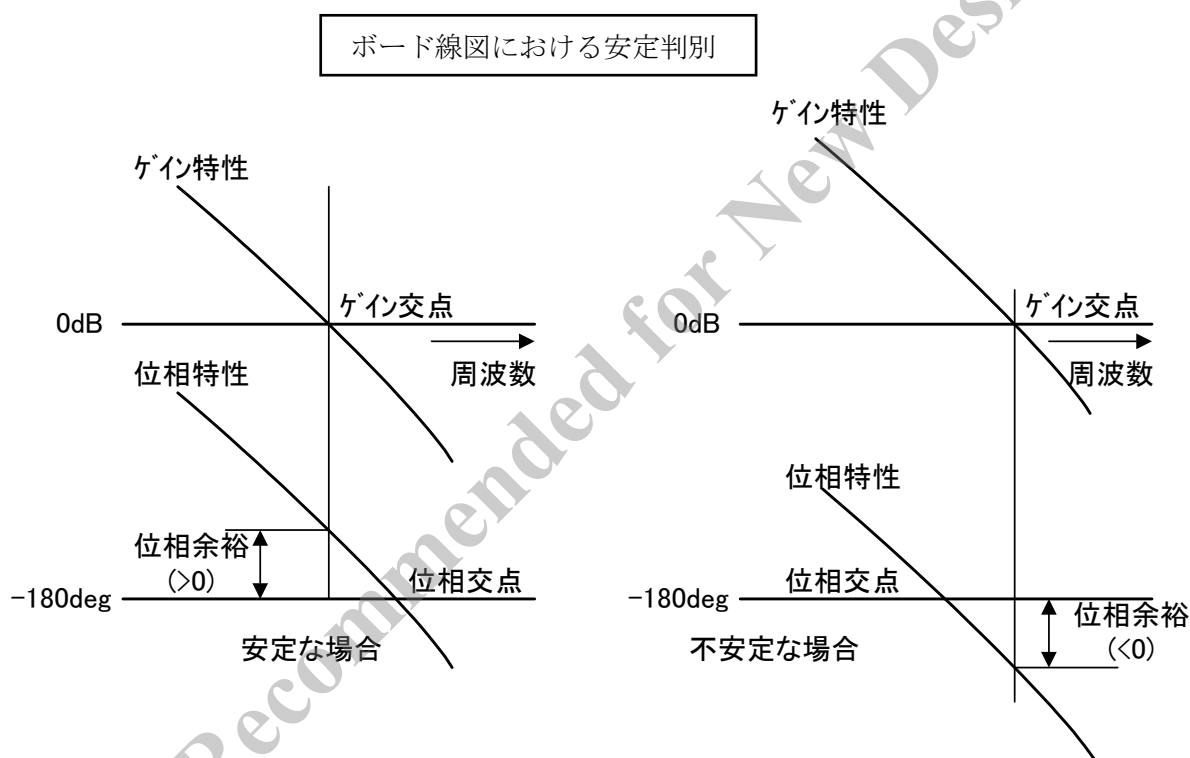
ここでボード線図上において

- ゲインが1 (0 dB) になる周波数：ゲイン交点
- 帰還ループの位相が $-180\text{deg}$ になる周波数：位相交点

と呼びます。ゲイン交点の周波数において位相が $-180\text{deg}$ に達していなければ発振条件は成立しない事になります。そこで、

ゲイン交点における位相 $-( -180\text{deg}) = \text{ゲイン交点における位相} + 180\text{deg}$

を位相が $-180\text{deg}$ までどれだけ余裕があるかを示す値として用い、これを位相余裕と呼びます。位相余裕が大きい程、入出力条件や温度等の周囲環境が変化しても異常発振を起こしにくくなります。従って安定動作を保つ為には十分な位相余裕を見込んでおく必要があります。



#### 4-4-② レギュレータ IC 内部の位相特性

チョップ型レギュレータの位相特性は、レギュレータ IC 内部の位相特性と LC フィルタの位相特性の合成になります。レギュレータ IC 内部の位相特性は、一般的には制御部の遅れ時間と出力誤差増幅器の位相特性で定まります。この内、制御部の遅れ時間による位相遅れは、実使用上はほとんど問題になる事はありません。従って出力誤差増幅器の位相特性が重要になります。出力誤差増幅器の位相特性の補正については、レギュレータ IC の種類により、これを IC 内部で調整済みとしているものと、IC 外部に抵抗やコンデンサの外付け部品を接続して位相補正を行うものがあります。前者の場合は後述します LC フィルタの選択のみに留意すれば特に問題はありませんが、後者の場合は製品毎のアプリケーションに従って正しく位相補正を施す事が必要です。

#### 4-4-③ LCフィルタの位相特性

チョップ型レギュレータの位相余裕は、出力平滑用LCフィルタの位相特性に、大きく左右されます。LCフィルタの位相特性は、理論上は二次遅れ要素の特性を示します。これはコイルのインダクタンスL1とコンデンサの容量C2の組み合わせにより特定の周波数で共振を起こし、共振点より高い周波数では、位相が最大 180deg 遅れる事になります。

共振周波数  $f_{LC}$  は

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{---- (5)}$$

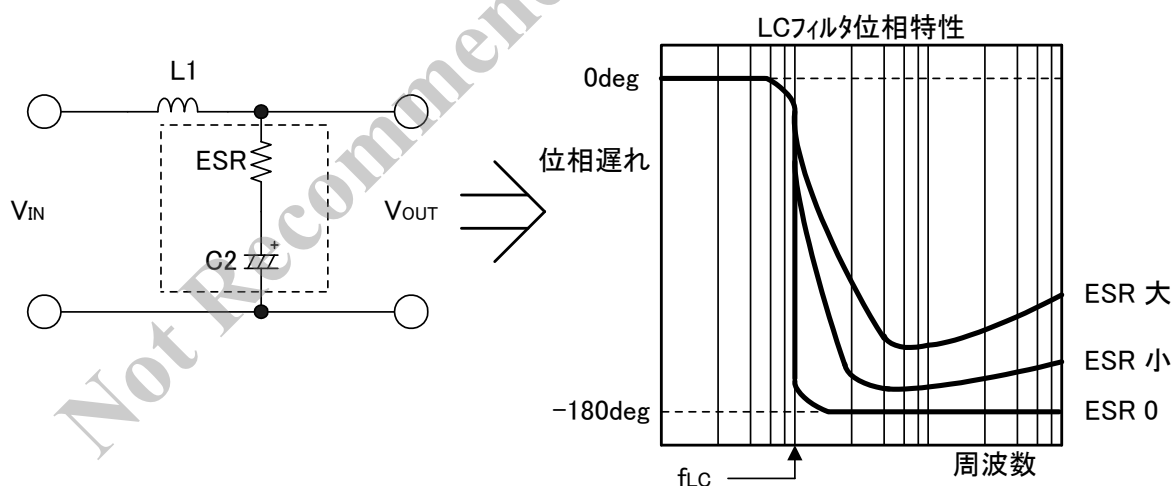
位相特性は

- 共振周波数  $f_{LC}$  より低い周波数の位相特性は：0deg
- 共振周波数  $f_{LC}$  より高い周波数の位相特性は：-180deg

となります。

従って出力平滑用LCフィルタが理論通りの位相特性を示すとなると、このフィルタの部分だけで位相遅れは-180degに達し、レギュレータとしての位相余裕は0degになってしまいます。

しかし現実のLCフィルタにおいてはコンデンサの等価直列抵抗(ESR)の影響により、LCフィルタの位相遅れは180degより少なくなります。よって、この等価直列抵抗の位相補正効果により、レギュレータとしての位相余裕を確保する事が出来ます。

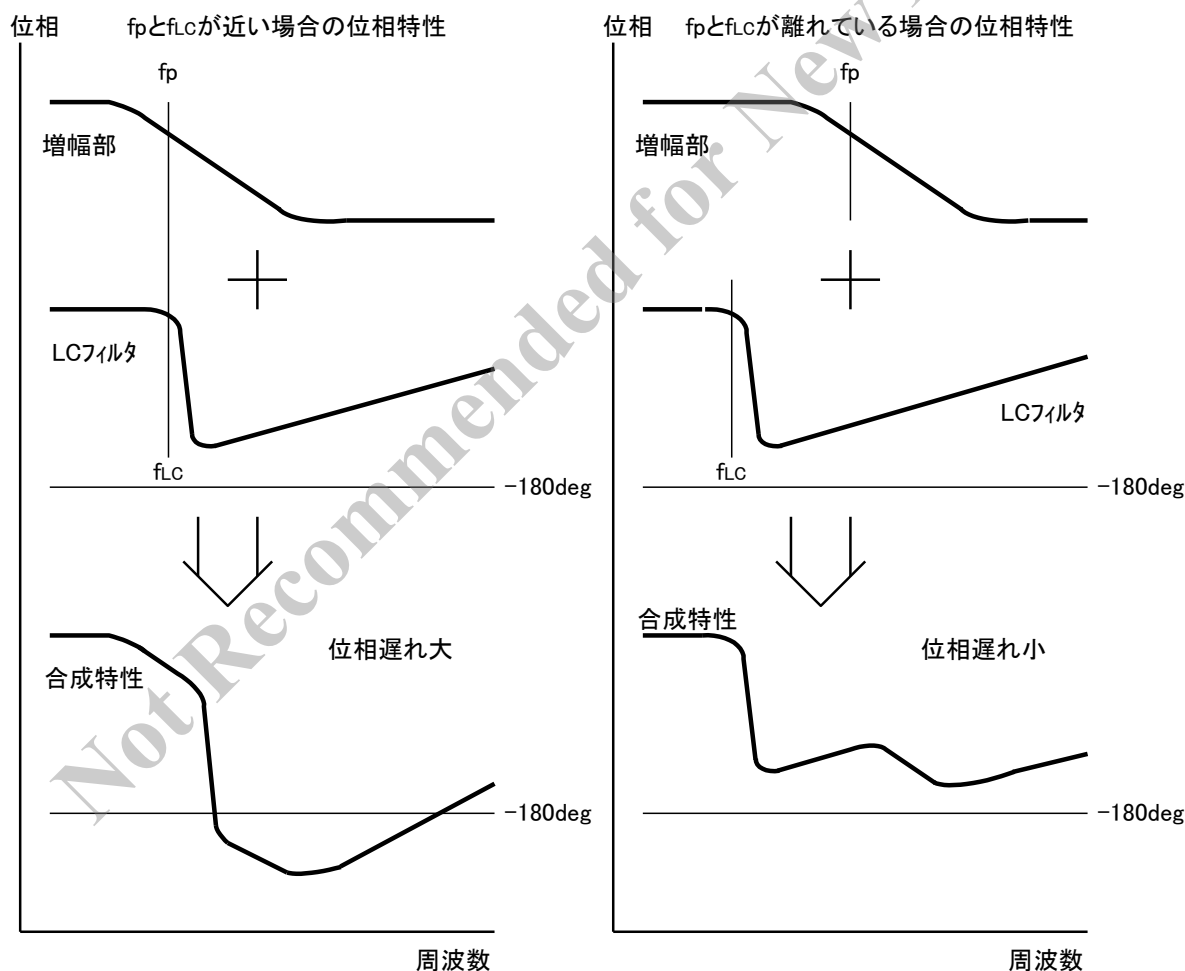


一般的に、出力LCフィルタにタンタル・コンデンサや積層セラミック・コンデンサのようなESRの非常に小さいコンデンサを用いますと、フィルタ部分の位相遅れが大きくなります。よって位相余裕確保の面からは、出力フィルタには電解コンデンサの使用が適当です。

#### 4-4-④ IC内部とLCフィルタの位相特性の関連

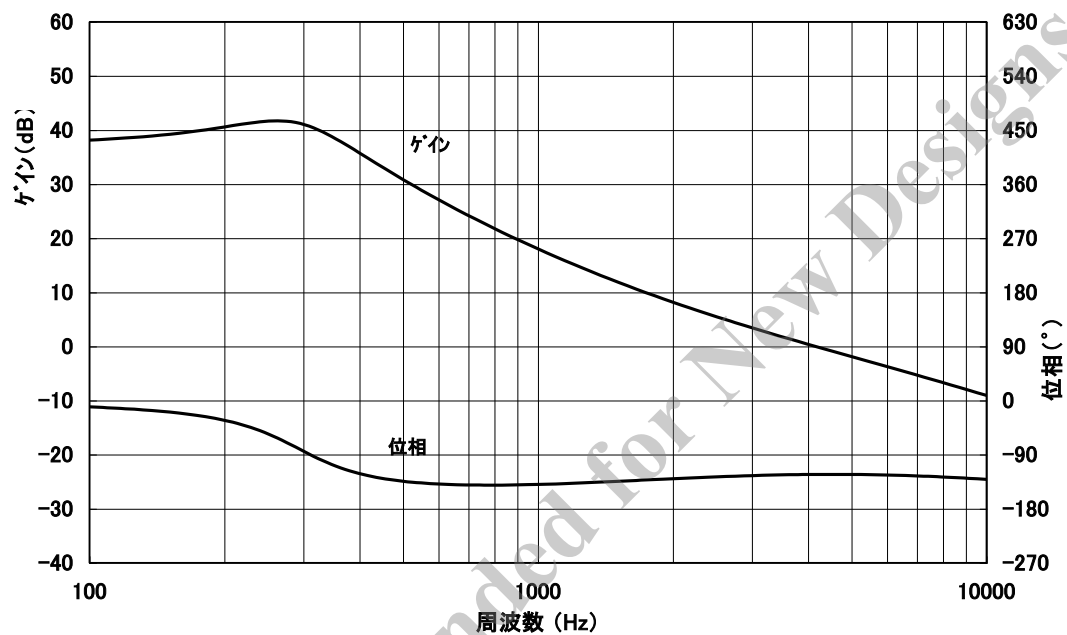
チョップパ型レギュレータの位相特性は前述のとおり、誤差増幅器と、LCフィルタの位相特性でほとんど決まってしまう。そこで両者の特性の関連が重要になります。

誤差増幅器のゲイン低下開始周波数すなわち第1ポール周波数  $f_p$  と、LCフィルタの共振周波数  $f_{LC}$  が接近していると、両者の位相遅れが集中するためレギュレータの位相余裕が少なくなってしまいます。そこで  $f_p$  と  $f_{LC}$  の適切な分布が重要になります。通常、誤差増幅器の位相遅れは、第1ポール周波数  $f_p$  の0.1倍の周波数から始まります。そこで位相遅れの集中を避ける為には、LCフィルタの共振周波数  $f_{LC}$  を誤差増幅器第1ポール周波数  $f_p$  の0.1倍未満としておかななくてはなりません。



一般的にチョッパ型レギュレータ IC の  $f_p$  周波数は、数～十数 KHz 以上に設定されています。そこで各レギュレータ IC のアプリケーションに記載されている LC フィルタの定数において、コイルのインダクタンスやコンデンサの容量を、推奨値より小さくしますと、LC フィルタの共振周波数  $f_{LC}$  が上昇して位相余裕が減少する危険があるので注意が必要です。周囲部品の定数は、各レギュレータ IC のアプリケーションに従い正しくお選びください。

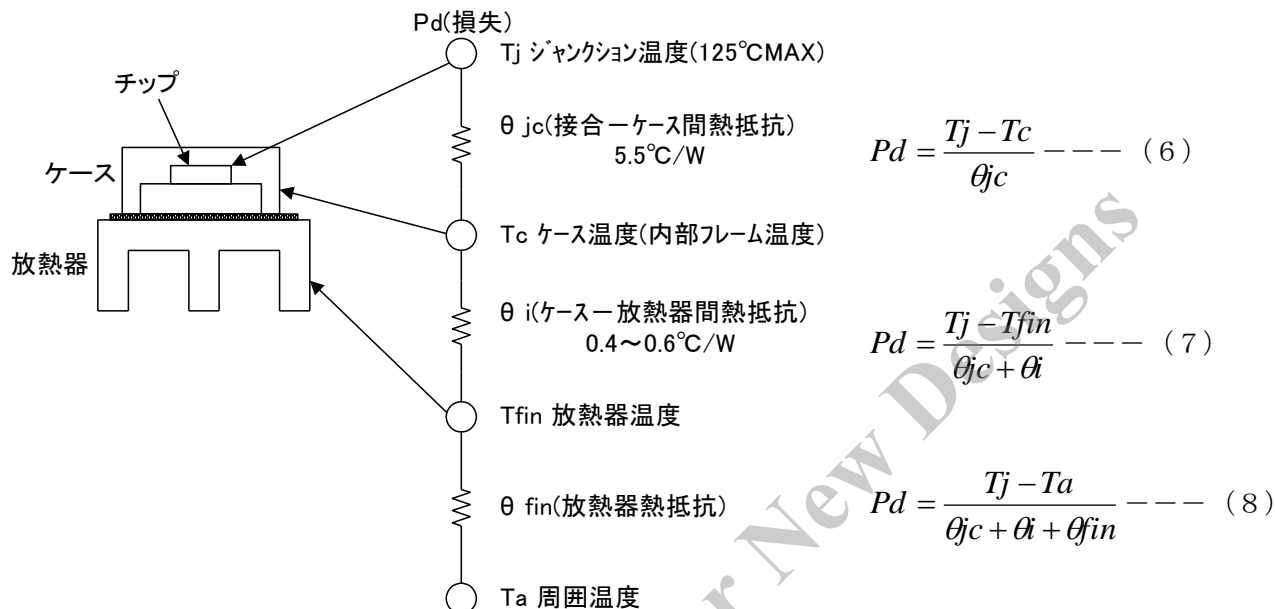
チョッパ-Reg ゲイン、位相特性例



## ● 4-5 熱設計

### 4-5-① 放熱の計算

レギュレータの損失  $P_d$  と、接合部温度  $T_j$ 、ケース温度  $T_c$ 、放熱器温度  $T_{fin}$ 、周囲温度  $T_a$  は、以下の関係にあります。



$T_{j\text{MAX}}$  は製品固有の値であり、厳守する必要があります。この為には、 $P_{d\text{MAX}}$ 、 $T_{a\text{MAX}}$  に応じた放熱器設計 ( $\theta_{fin}$  の決定) が必要になります。これらをつかりやすくグラフ化した物が熱減定格であります。放熱器設計は以下の手順で行います。

- 1) セット内最大周囲温度  $T_{a\text{MAX}}$  を求める。
- 2) 入出力条件を変化させ最大損失  $P_{d\text{MAX}}$  を求める

$$P_d = V_{OUT} \cdot I_o \left( \frac{100}{\eta_x} - 1 \right) - V_f \cdot I_o \left( 1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right) \quad \text{--- (9)}$$

※  $\eta_x$  = 効率 (%) ,  $V_f$  = ダイオード順方向電圧

- 3) 熱減定格上の交点より放熱器の大きさを決定する。

又計算にて必要な放熱器の熱抵抗を求める事も出来ます。必要な放熱器の熱抵抗は、

$$\theta_{ci} + \theta_{fin} = \frac{T_j - T_a}{P_d} - \theta_{jc} \quad \text{--- (10)}$$

で求められます。例として、以下に SI-8050S を  $V_{IN}=10\text{V}$ 、 $I_o=3\text{A}$ 、 $T_a=85^\circ\text{C}$  で使用する場合の熱計算例を示します。代表特性例より効率  $\eta=77\%$ 、 $V_f=0.5\text{V}$  として、

$$P_d = 5 \times 3 \times \left( \frac{100}{77} - 1 \right) - 0.5 \times 3 \times \left( 1 - \frac{5}{10} \right) \doteq 3.73\text{W}$$

$$\theta_{ci} + \theta_{fin} = \frac{125 - 85}{3.73} - 5.5 \doteq 5.22^\circ\text{C/W}$$

よって熱抵抗が  $5^\circ\text{C/W}$  以下の放熱器が必要になります。

以上により放熱器が決定された事になりますが、一般的には 10~20%以上のディレーティングで使用します。又実際には、実装上の違いにより放熱効果が大きく変化します。

従って、実装状態での放熱器温度あるいはケース温度の確認が必要となります。

#### 4-5-② 放熱器への取り付け

##### シリコングリスの選択

SI-8000S,SS を放熱器に取り付ける際には、ICと放熱器の間に必ずシリコングリスを薄く均一に塗布して下さい。塗布を省略すると、IC裏面と放熱器表面のミクロ的な凹凸による接触不完全により、熱抵抗 $\theta_i$ が大きく増加してICの発熱が高くなり、寿命を悪化させる要因となります。

又、使用するシリコングリスの種類によっては、オイル分が分離しIC内部に浸透して、パッケージの変形や内蔵素子へ悪影響を及ぼす事があります。変性シリコンオイルを基油したシリコングリス以外は使用しないで下さい。以下に弊社が推奨致しますシリコングリスを示します。

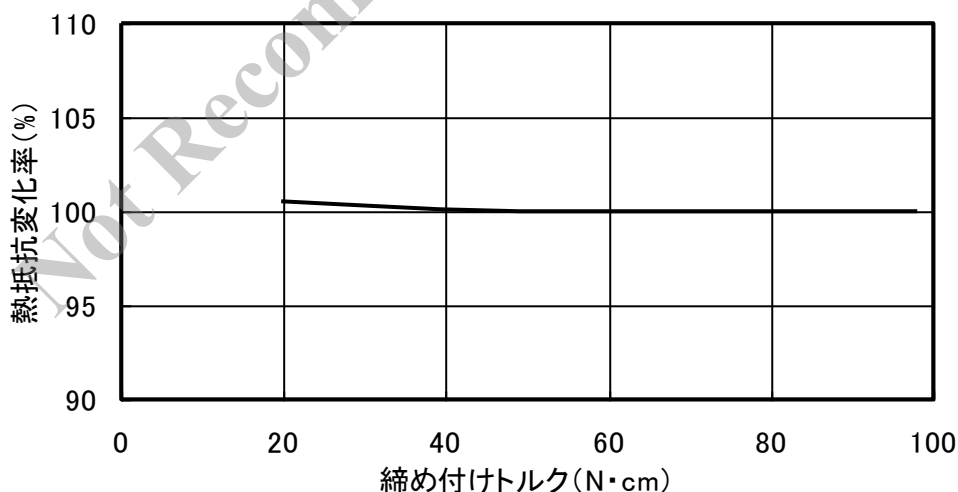
##### 弊社推奨シリコングリス

G 7 4 6	信越化学工業 (株)
S C 1 0 2	トーレシリコン (株)
Y G 6 2 6 0	東芝シリコン (株)

##### 取り付けネジの締め付けトルク

ICのパッケージを損傷することなくICと放熱器間の熱抵抗を低く押さえるには、適切なネジ締め付けトルクの管理が必要です。シリコングリスを塗布しても締め付けトルクが不足しますと、熱抵抗 $\theta_i$ が上昇してしまいます。

SI-8000S,SS については58.8~68.6N・cm(6.0~7.0kg・cm)を推奨します。



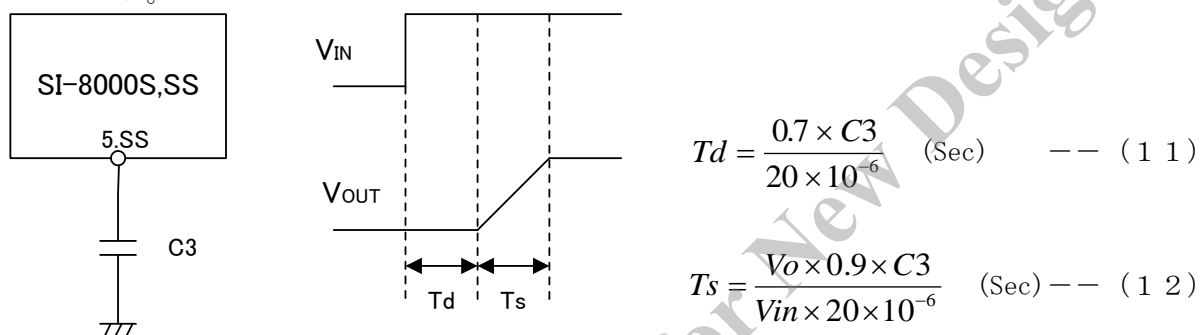
※1 58.8N・cm (6kg・cm) を100%とした時の熱抵抗変化率を示す。

※2 シリコングリスはG746を使用

## 5. 応用

### ● 5-1 ソフトスタート

5番端子にコンデンサを接続すると入力電圧投入時にソフトスタートがかかるようになります。コンデンサC3はPWM制御のOFF期間をコントロールして立ち上がり時間を制御する為のもので、遅れ時間Td及び立ち上がり時間Tsは下記の式で求められます。但し実機においては、入力電源、負荷の立ち上がり、等の影響を受ける為多少の変動があります。ソフトスタート機能を使用しない場合は5番端子をオープンとして下さい。



例えば  $V_{IN}=20V$ 、 $V_o=5V$ 、 $C3=1\mu F$  とすると、

$$T_d = \frac{0.7 \times 1 \times 10^{-6}}{20 \times 10^{-6}} = 35(ms) \quad T_s = \frac{5 \times 0.9 \times 1 \times 10^{-6}}{20 \times 20 \times 10^{-6}} \doteq 12(ms)$$

$$T_d + T_s \doteq 47(ms)$$

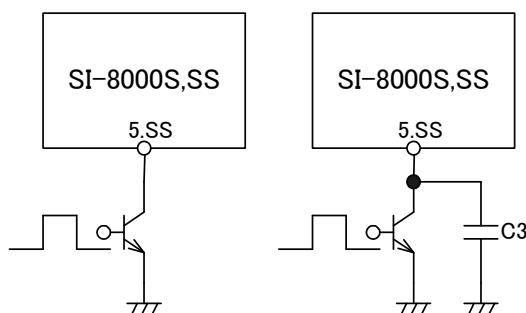
よって、電源投入後、出力電圧立ち上がりまで、47msかかる事になります。

但しC3を大きくしますとVinOFF後のC3ディスチャージも時間がかかるようになります。C3は10 $\mu$ F以内の値で使用される事をお奨めします。

\*不連続モード(軽負荷)での負荷条件では上記計算値よりTsが短くなる事があります。

### ● 5-2 出力のON・OFF制御

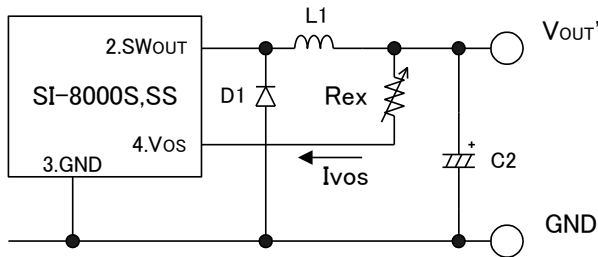
5番・ソフトスタート端子を用いて、出力ON・OFF制御が可能です。オープンコレクタ等のスイッチにより、5番端子をLoレベルとすると出力は停止します。又ソフトスタートとの併用も可能です。ソフトスタート端子はIC内部でプルアップ済みですので外部からは電圧を印加しないで下さい。



### ● 5-3 出力電圧可変 ON/OFF SS+ON/OFF

4番・Vos端子に抵抗を追加する事により出力電圧を上昇させる事が出来ます。  
(降下は不可)

#### 5-3-① 外付抵抗1本による出力電圧可変



出力電圧調整抵抗  $R_{ex}$  は、次式により求められます。

$$R_{ex} = \frac{V_{out'} - V_{os}}{I_{vos}} \quad \text{--- (13)}$$

$V_{os}$  : 製品設定出力電圧

$V_{out'}$  : 可変後出力電圧

$I_{vos}$  : Vos端子流入電流  $\approx 1\text{mA}$

※  $R_{ex}$  は、温度補償されませんので、出力電圧温度特性は低下します。また  $I_{vos}$  は ICの製品によって最大 $\pm 20\%$ のバラツキがあります。従って出力電圧のバラツキ範囲が広がりますので、精確な出力電圧の合わせ込みには半固定抵抗が必要です。

以下に  $R_{ex}$ 、 $I_{vos}$ 、 $V_{os}$  のバラツキを考慮した、出力電圧バラツキ範囲を示します。

i 最大出力電圧( $V_{out'MAX}$ )

$$V_{OUT\ MAX} = V_{os\ MAX} + R_{ex\ MAX} \times I_{vos\ MAX} \quad \text{--- (14)}$$

$V_{os\ MAX}$  : 設定出力電圧の最大値。P.6の電気的特性に示す、設定出力電圧のMAX値を入れて下さい。

$R_{ex\ MAX}$  :  $R_{ex}$ の最大値。抵抗の許容差より求めて下さい。

$I_{vos\ MAX}$  : Vos端子の最大流入電流。1.2mA

ii 最小出力電圧( $V_{out'MIN}$ )

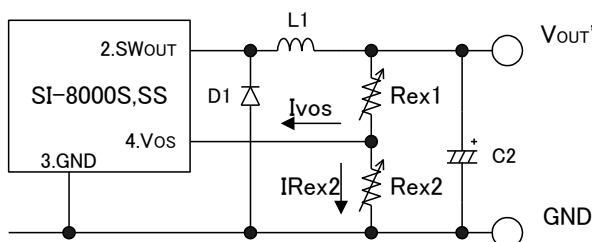
$$V_{out'\ MIN} = V_{os\ MIN} + R_{ex\ MIN} \times I_{vos\ MIN} \quad \text{--- (15)}$$

$V_{os\ MIN}$  : 設定出力電圧の最小値。P.6の電気的特性に示す、設定出力電圧のMIN値を入れて下さい。

$R_{ex\ MIN}$  :  $R_{ex}$ の最小値。抵抗の許容差より求めて下さい。

$I_{vos\ MIN}$  : Vos端子の最小流入電流。0.8mA

#### 5-3-② 外付抵抗2本による出力電圧可変



出力電圧調整抵抗  $R_{ex1,2}$  は、次式により求められます。

$$R_{ex1} = \frac{V_{out'} - V_{os}}{S \cdot I_{vos}} \quad \text{--- (16)}$$

$$R_{ex2} = \frac{V_{os}}{(S-1) \cdot I_{vos}} \quad \text{--- (17)}$$

$S$  : 安定係数

$R_{ex2}$  に電流をバイパスさせる事により、①の方法よりも温度特性及び出力電圧バラツキ範囲は改善されます。安定係数  $S$  は、 $V_{os}$  端子流入電流  $I_{vos}$  に対する  $I_{ReX2}$  の比を示



しており S を大きくする程、温度特性と出力電圧バラツキは改善されます。（通常 5～10 位）

以下に Rex1、Rex2、Ivos、Vos のバラツキを考慮した、出力電圧バラツキ範囲を示します。

i 最大出力電圧(Vout'MAX)

$$V_{out'MAX} = V_{osMAX} + R_{ex1MAX} \left( \frac{V_{osMAX}}{R_{ex2MIN}} + I_{vosMAX} \right) \quad (18)$$

VosMAX : 設定出力電圧の最大値。P.6 の電気的特性に示す、設定出力電圧の MAX 値を入れてください。

Rex1MAX : Rex1 の最大値。抵抗の許容差より求めてください。

Rex2MIN : Rex2 の最小値。抵抗の許容差より求めてください。

IvosMAX : Vos 端子の最大流入電流。1.2mA

ii 最小出力電圧(Vout'MIN)

$$V_{out'MIN} = V_{osMIN} + R_{ex1MIN} \left( \frac{V_{osMIN}}{R_{ex2MAX}} + I_{vosMIN} \right) \quad (19)$$

VosMIN : 設定出力電圧の最小値。P.6 の電気的特性に示す、設定出力電圧の MIN 値を入れてください。

Rex1MIN : Rex1 の最小値。抵抗の許容差より求めてください。

Rex2MAX : Rex2 の最大値。抵抗の許容差より求めてください。

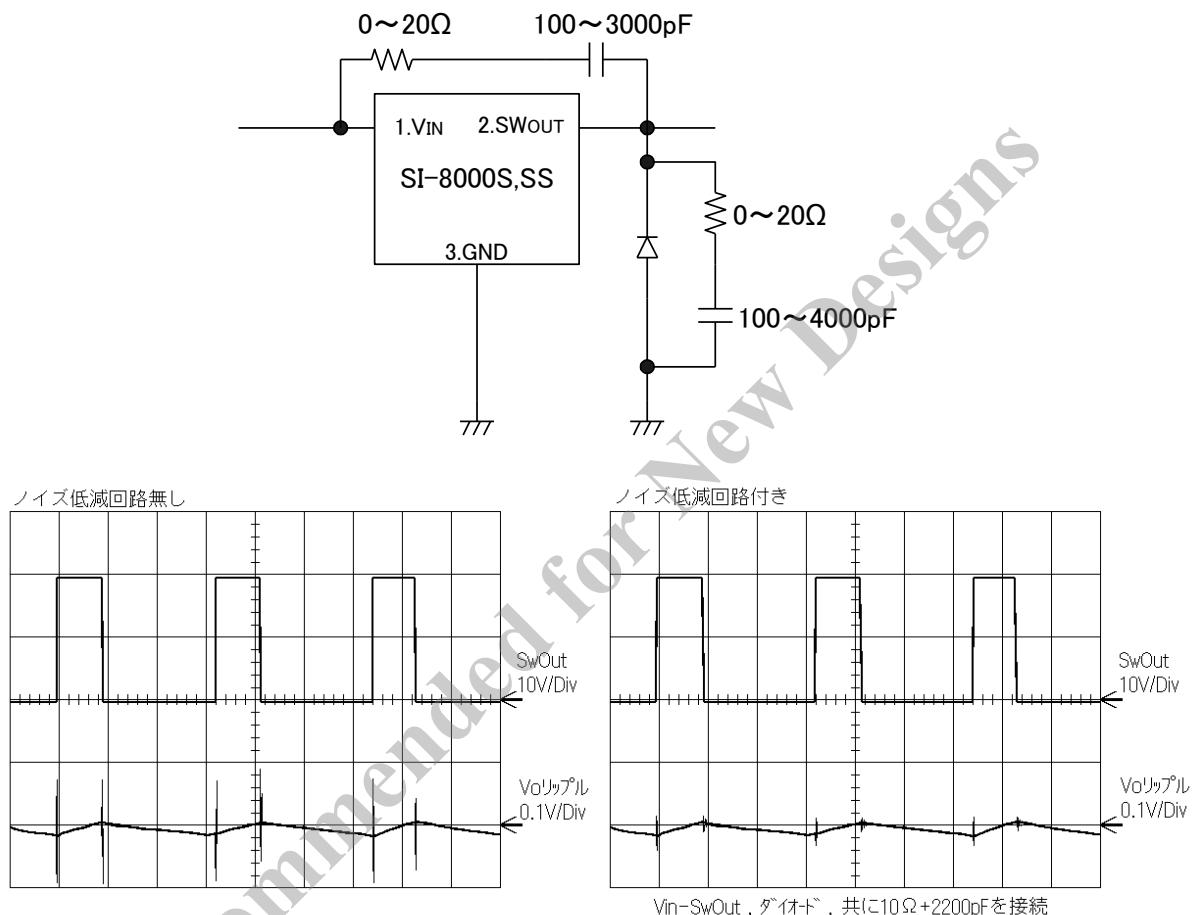
IvosMIN : Vos 端子の最小流入電流。0.8mA

### 5-3-③ 出力電圧可変時の注意事項

出力電圧を可変させた場合の懸念点としましては、レギュレーションの悪化、出力電圧温度係数の増加が想定されます。また大幅に可変させた場合は、コイル電流増大による、過電流保護電流低下が想定されることから、コイル容量値上昇が必要となる場合があります。以上の点から、出力電圧の可変上限としましては、設定出力電圧+5V 以内でのご使用を推奨致します。尚、出力電圧の可変下限としましては、設定出力電圧の MAX 値となります。

## ● 5-4 スパイクノイズの低減

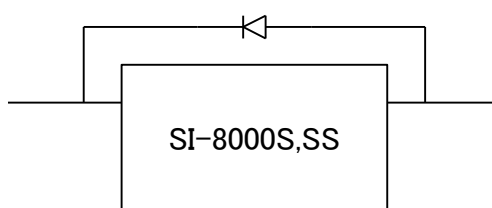
スパイクノイズを低減させるには、SI-8000S,SS の出力波形及び、ダイオードのリカバリータイムを、コンデンサで補正する方法がありますが、共に効率が弱冠低下しますので注意して下さい。



※オシロスコープにてスパイクノイズを観測される際には、プローブのGNDリード線が長いとリード線がアンテナ的作用をしてスパイクノイズが異常に大きく観測されることがあります。スパイクノイズの観測に当たってはプローブのリード線を最短にして出力コンデンサの根本に接続して下さい。

## ● 5-5 逆バイアス保護

バッテリーチャージ等、入力端子より出力の電圧が高くなるような場合には、入出力間に逆バイアス保護用のダイオードが必要となります。



## ● 5-6 反転チョッパ

### 5-6-① チョークコイルL1, ダイオードD1 電流定格

反転チョッパは降圧チョッパと回路方式が異なる事から、チョークコイルL1、ダイオードD1に流れる電流は大きくなります。ピーク電流は式20より求められます。この式より入力電圧が低いほど、ピーク電流が大きくなることから、最小入力電圧にてピーク電流が満足できるチョークコイル、ダイオードを選定して下さい。

$$I_p \approx \frac{I_o \max(V_{in \min} + |V_o|)}{V_{in \min}} + \frac{V_{in \min} |V_o|}{V_{in \min} + |V_o|} \times \frac{1}{2L_1 f_{osc}} \quad \text{式20}$$

fosc : 60kHz  
L1 : チョークコイルインダクタンス  
式24より算出願います。

### 5-6-② 入出力コンデンサC1, C2リップル電流

出力コンデンサC2は降圧チョッパに比べ、大きなリップル電流が流れる事から、出力コンデンサの許容リップル電流に注意願います。出力コンデンサのリップル電流(CoIrms)は以下の式22より求められます。また、反転チョッパでは、降圧チョッパに比べ、リップル電圧が大きくなることから、低 ESR 品の使用を推奨します。入力コンデンサのリップル電流(CinIrms)については、式21より算出願います。

$$C_{inIrms} = \sqrt{\frac{|V_o|}{|V_o| + V_{in}} \left\{ \frac{1}{3} (I_p^2 + I_p I_v + I_v^2) - \frac{|V_o|}{4V_{in}|V_o|} (I_p + I_v)^2 \right\}} \quad \text{式21}$$

$$C_{oIrms} = \sqrt{\frac{V_{in}}{|V_o| + V_{in}} \left\{ \frac{1}{3} (I_p^2 + I_p I_v + I_v^2) - \frac{V_{in}}{4V_{in}|V_o|} (I_p + I_v)^2 \right\}} \quad \text{式22}$$

I<sub>p</sub> : ピーク電流最大値

I<sub>v</sub> : ピーク電流最小値

I<sub>load</sub> : 定常電流

$$I_v = \frac{I_{load}(V_{in} + |V_o|)}{V_{in}} - \frac{V_{in}|V_o|}{V_{in} + |V_o|} \times \frac{1}{2L_1 f_{osc}} \quad \text{式23}$$

### 5-6-③ チョークコイルL1容量

反転チョッパは降圧チョッパと回路方式が異なる事から、降圧チョッパと同じ設計手順でのチョークコイル容量の算出は出来ません。反転チョッパの場合、コイルに蓄積されたエネルギーが出力電力になる事から、チョークコイルのインダクタンスL1は式24, 25より求められます。

$$L_1 = \frac{V_{in}^2 \times t_{on}^2 \times f_{osc}}{2 \times |V_o| \times I_o \max} \quad \text{式24}$$

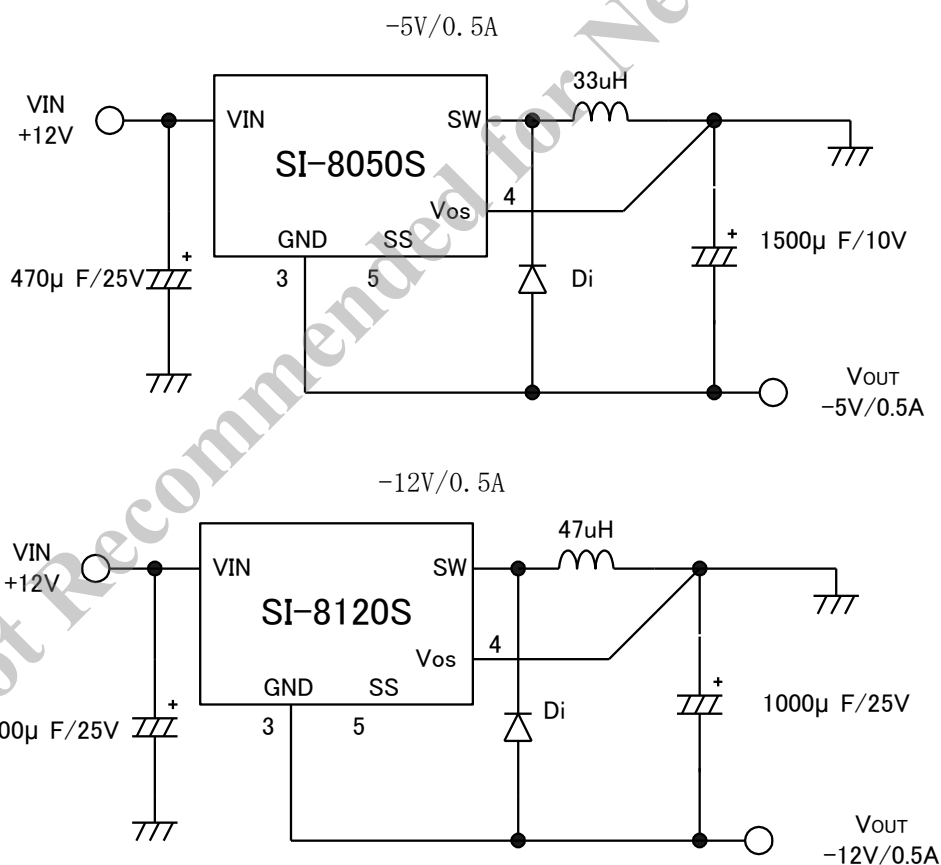
$$t_{on} = \frac{|V_o|}{(|V_o| + V_{in \min}) \times f_{osc}} \quad \text{式25}$$

### 5-6-④ 入力電圧と出力電流範囲

反転チョッパとして SI-8000S, SS シリーズを使用した場合の入力電圧、出力電流、ピーク電流範囲を以下に示しますが、実動での十分な評価を願います。

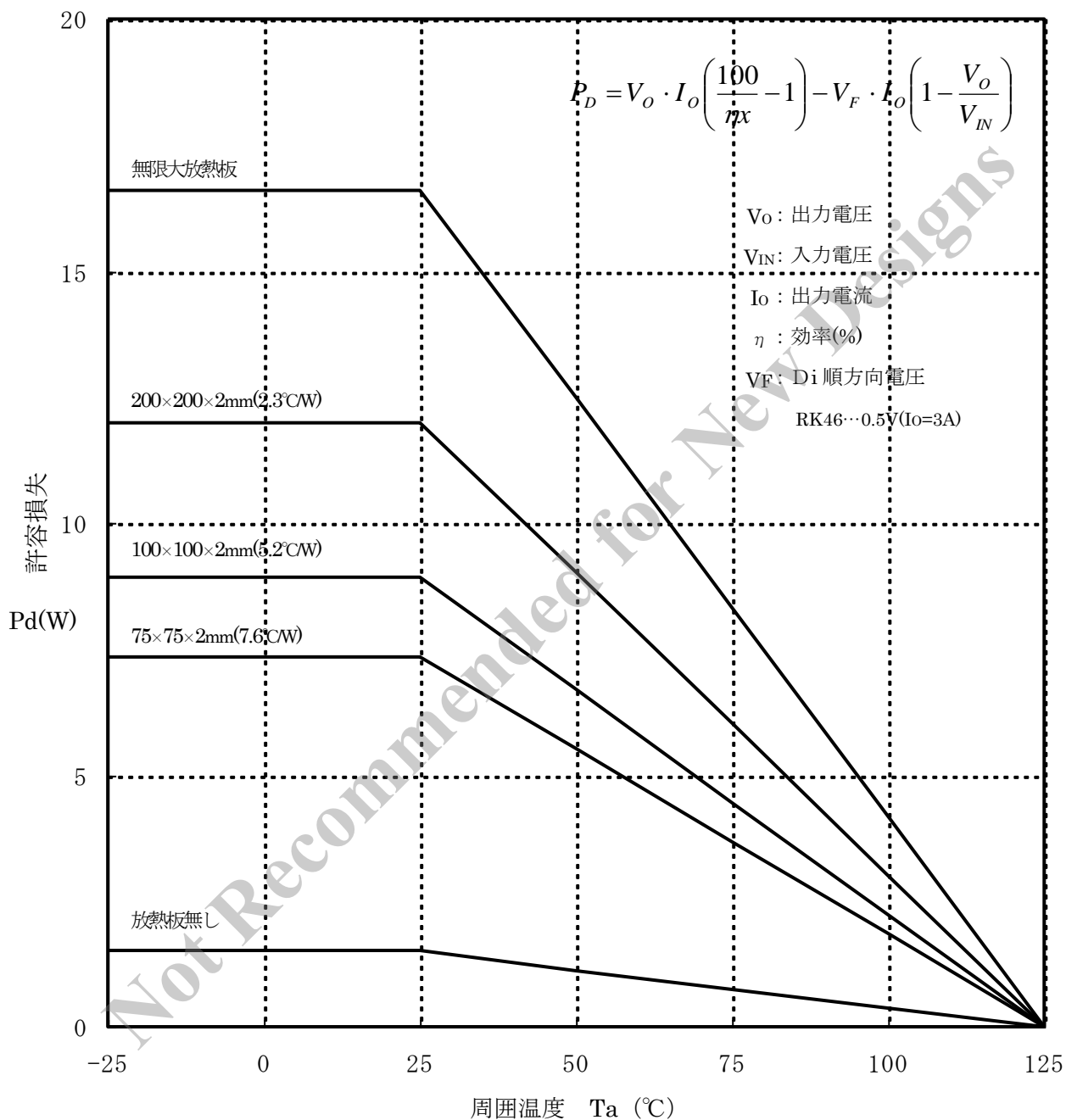
- ・入力電圧：スイッチングトランジスタのコレクター-エミッタ間には入力電圧と出力電圧の和が印加される為、最大入力電圧は  $40V - V_o$  となります。又 10V 以下では、ピーク電流が急激に上昇する事から入力電圧範囲は  $10 \sim 40 - V_o (V)$  となります。
- ・出力電流：最大出力電流としては、チョークコイルのインダクタンスによって異なりますが、0.8A 程度となります。
- ・ピーク電流：ピーク電流が大きい場合、過電流保護動作の可能性がある事から、ピーク電流は 3A 以下にして下さい。ピーク電流は式 20 より算出できますが、実動においても確認願います。

### 5-6-⑤ 回路例



※出力側のGNDに注意して下さい。

## 6. 熱減定格



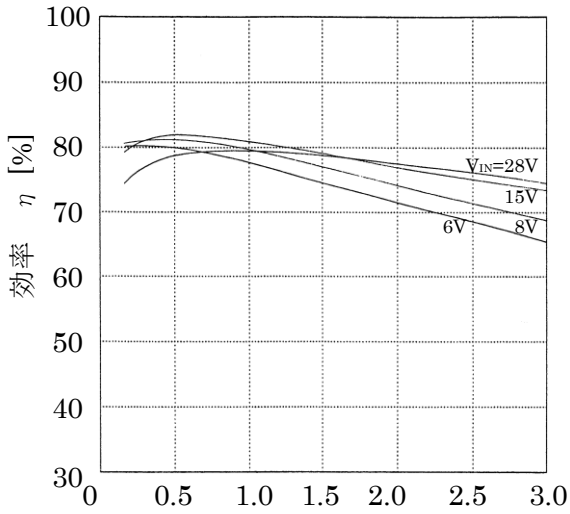
注1: 効率は、入力電圧、出力電流によって変化する為、4-2の効率曲線より求め、パーセント表示のまま代入する。

注2: Di熱設計は別途行う必要があります。

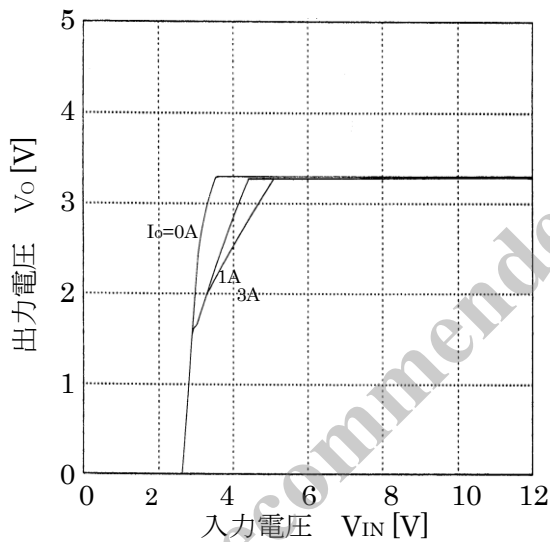
# 7. 代表特性例

SI-8033S, SS

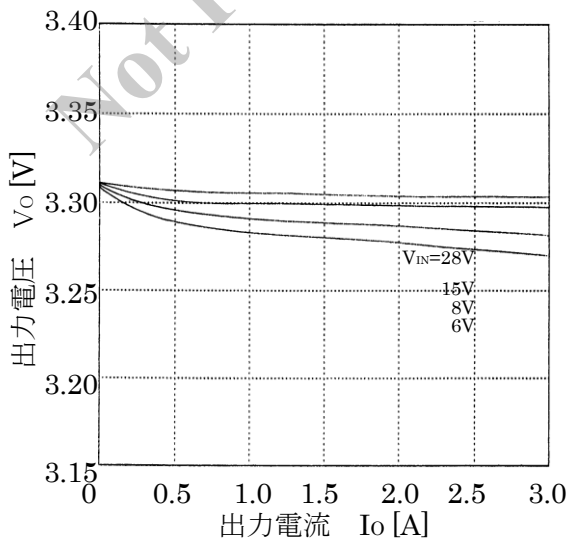
(1) 効率



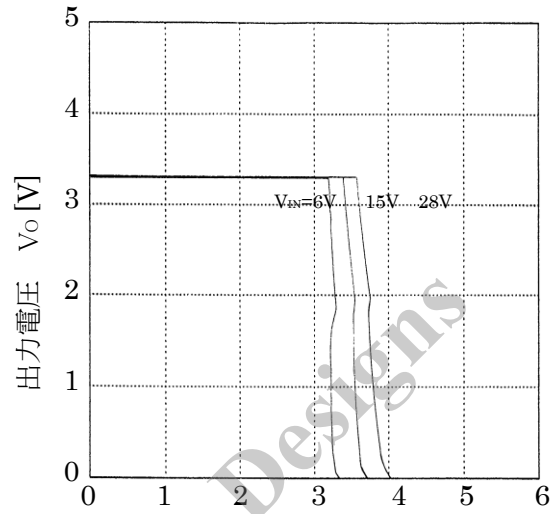
(2) 出力電圧立上り ※Load=C.C



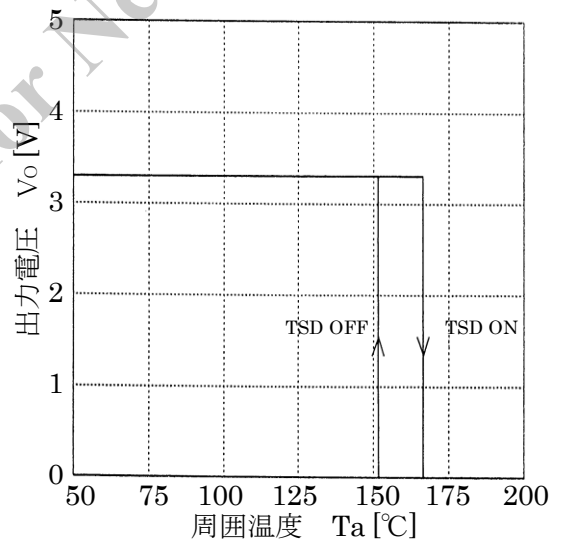
(3) 出力電圧変動



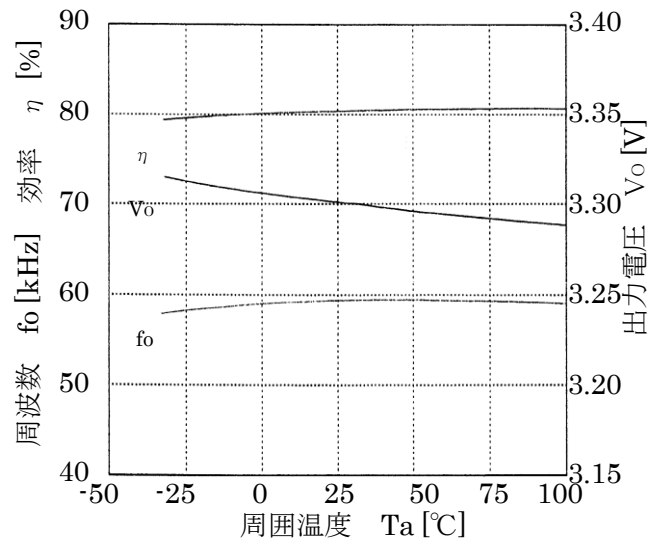
(4) 過電流保護特性



(5) 過熱保護 VIN=15V, Io=0A

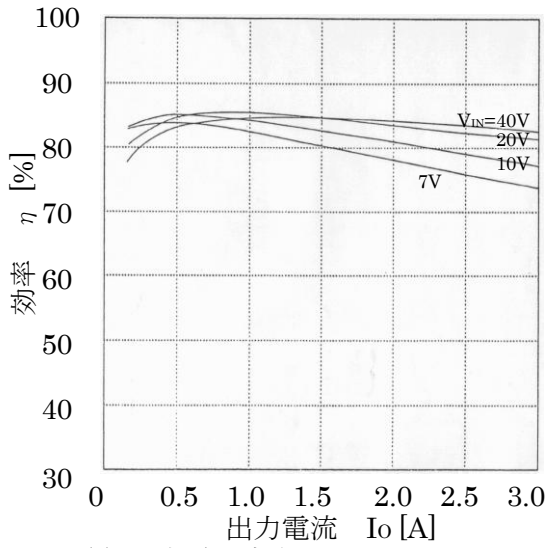


(6) 温度特性 VIN=15V, Io=1A

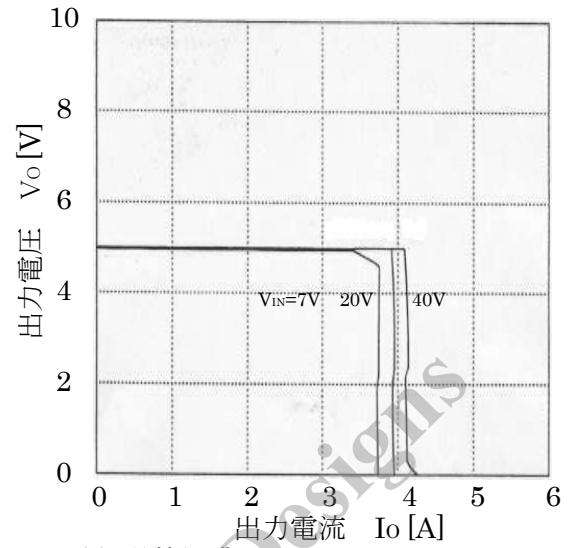


SI-8050S, SS

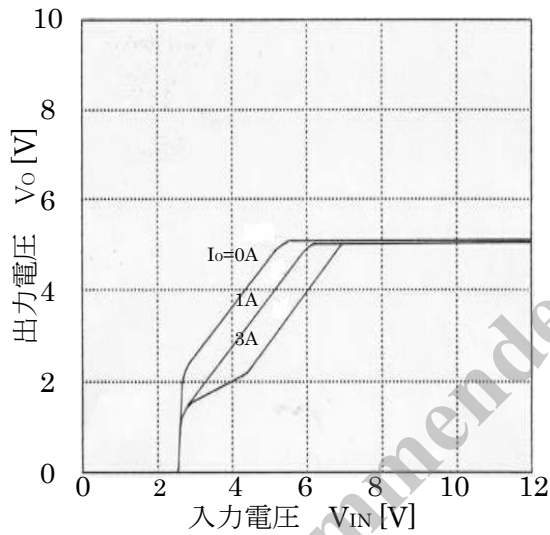
(1) 効率



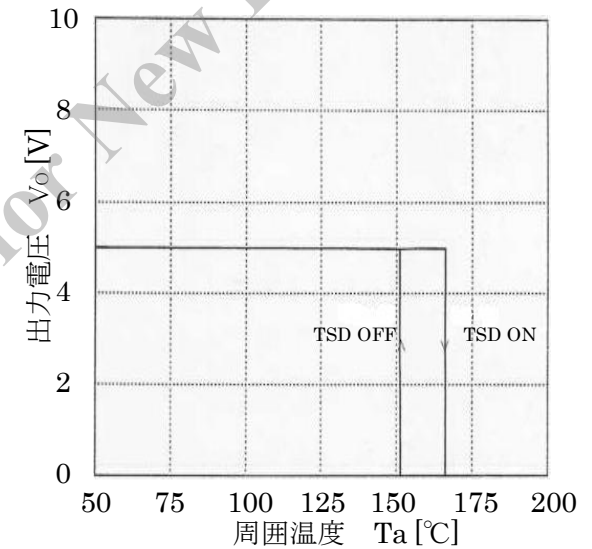
(4) 過電流保護特性



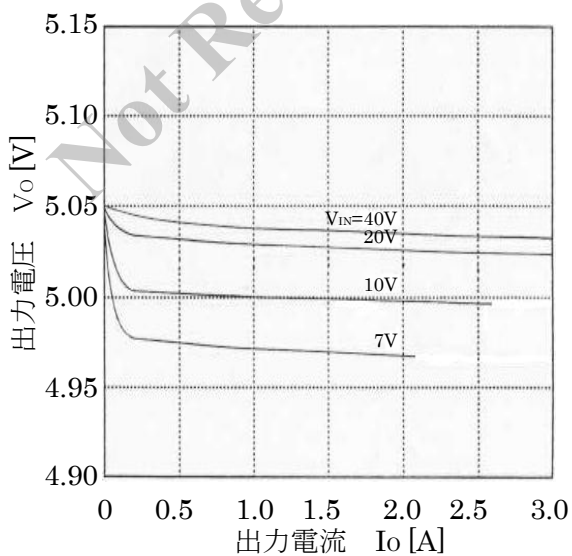
(2) 出力電圧立上り ※Load=C.C



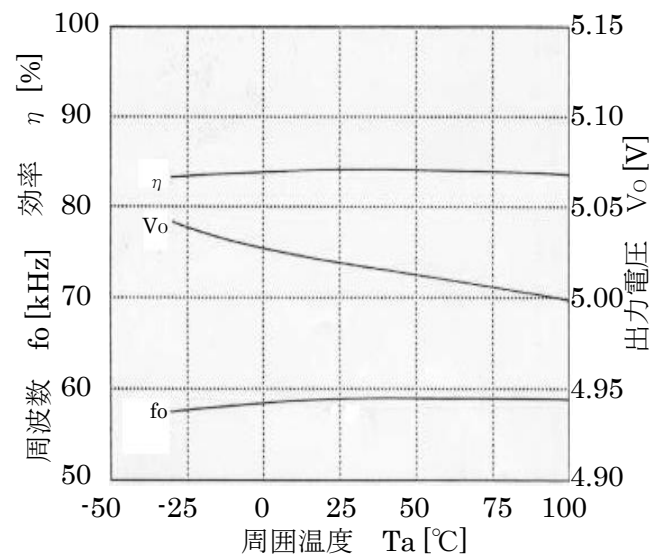
(5) 過熱保護  $V_{IN}=20V, I_o=0A$



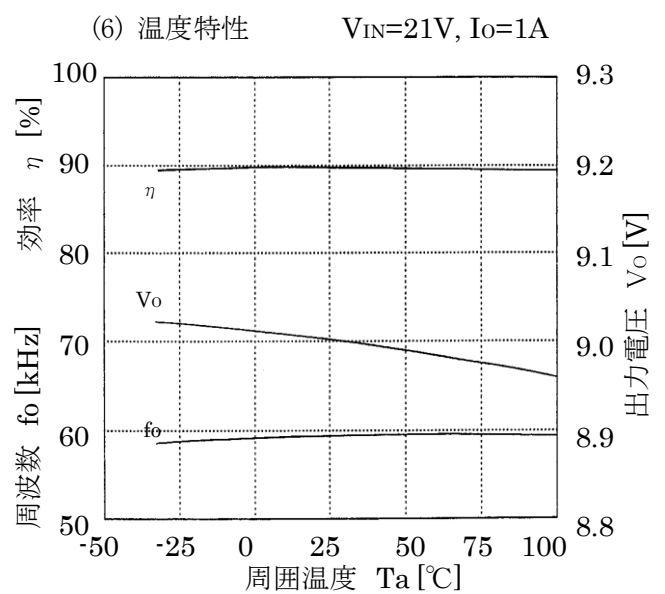
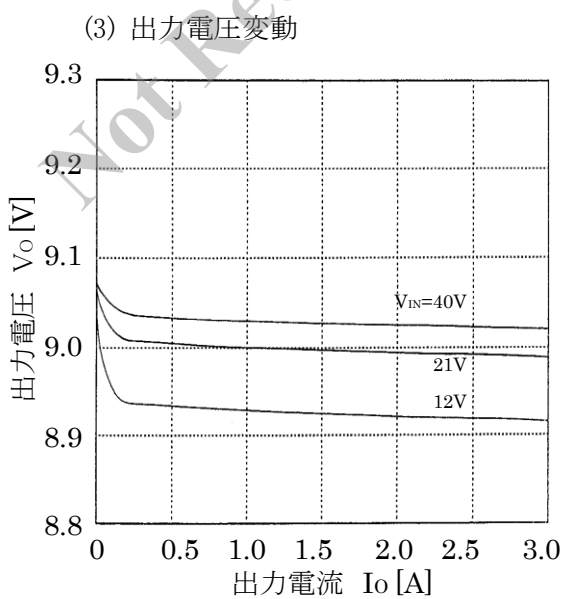
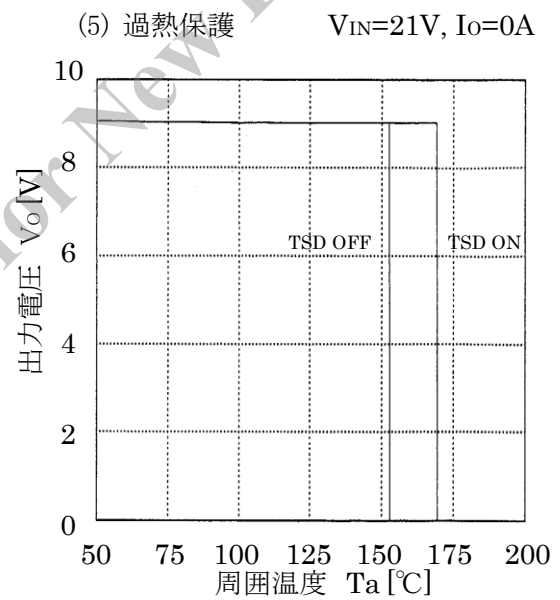
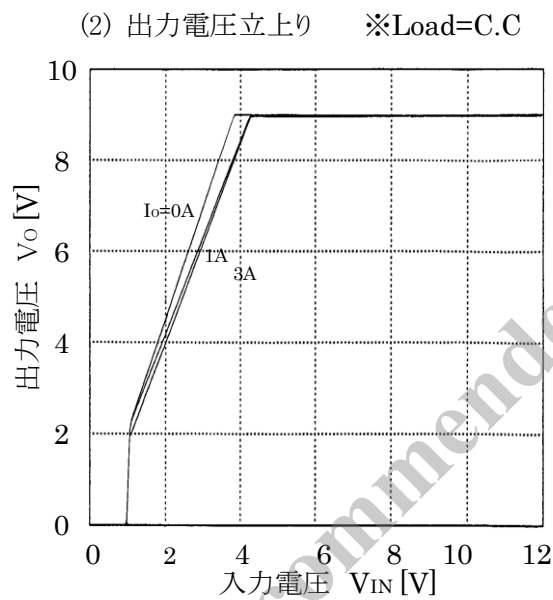
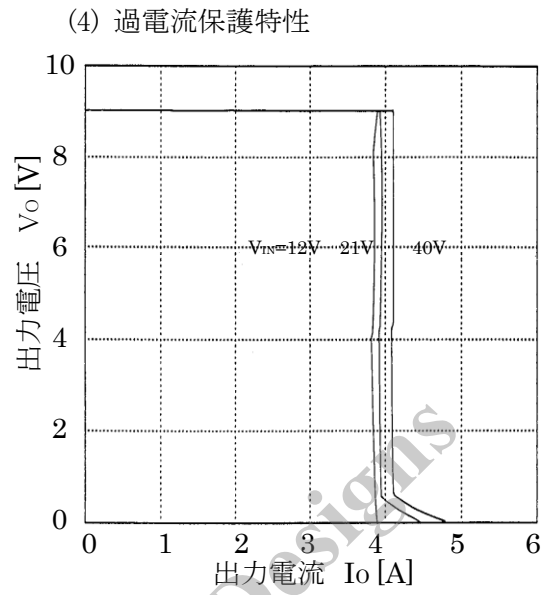
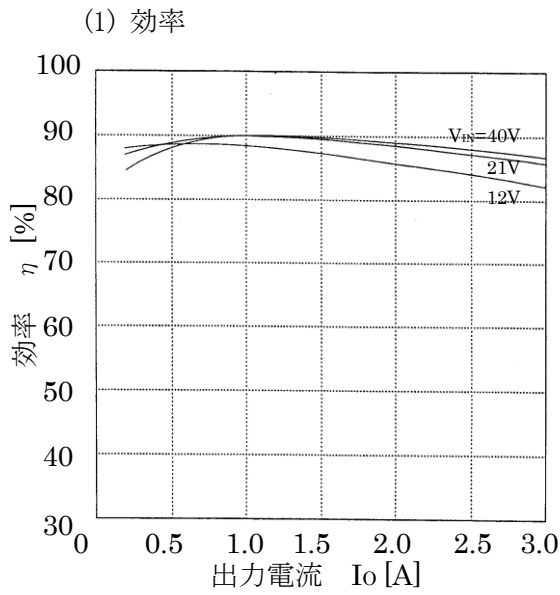
(3) 出力電圧変動



(6) 温度特性  $V_{IN}=20V, I_o=1A$

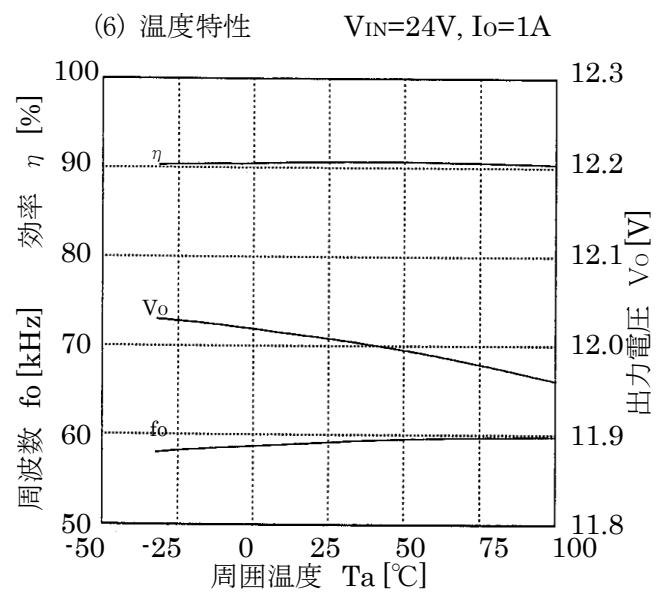
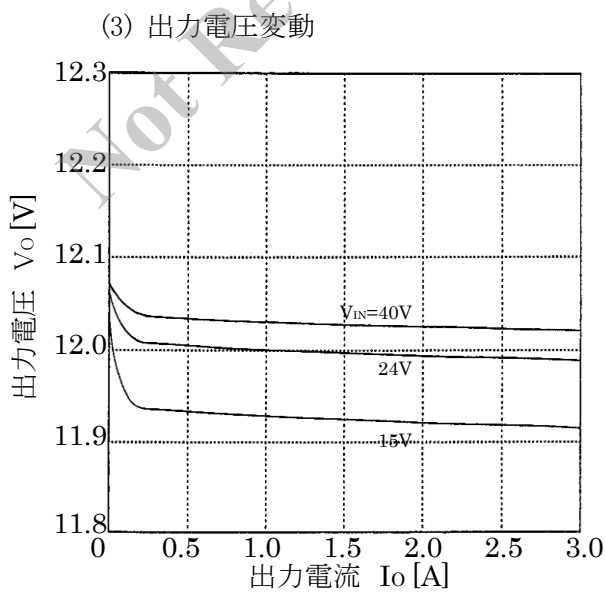
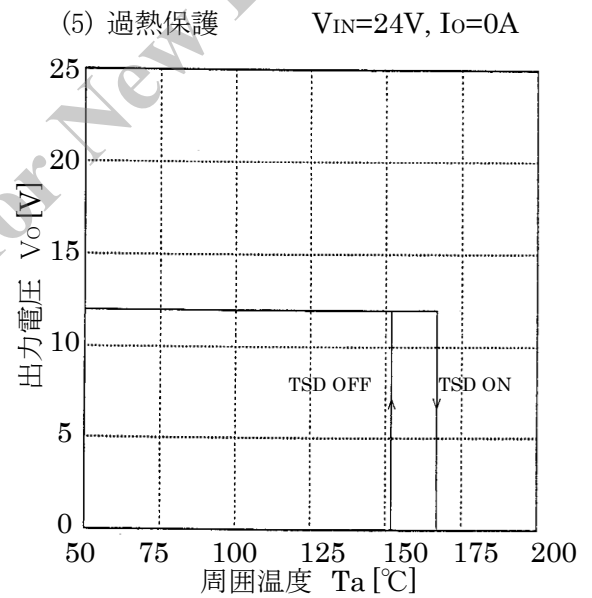
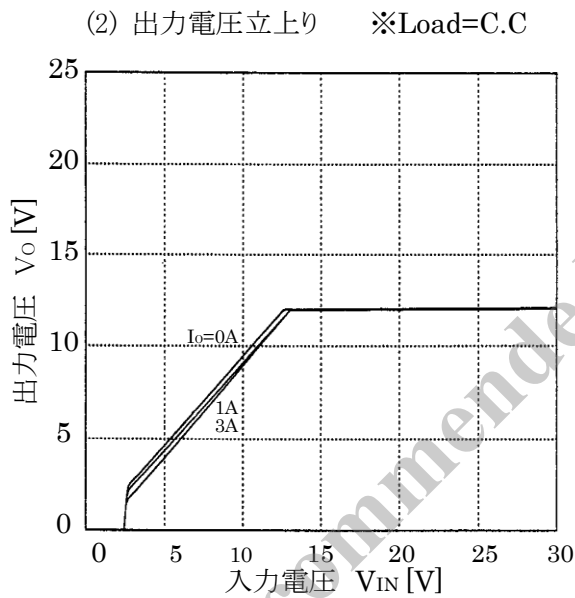
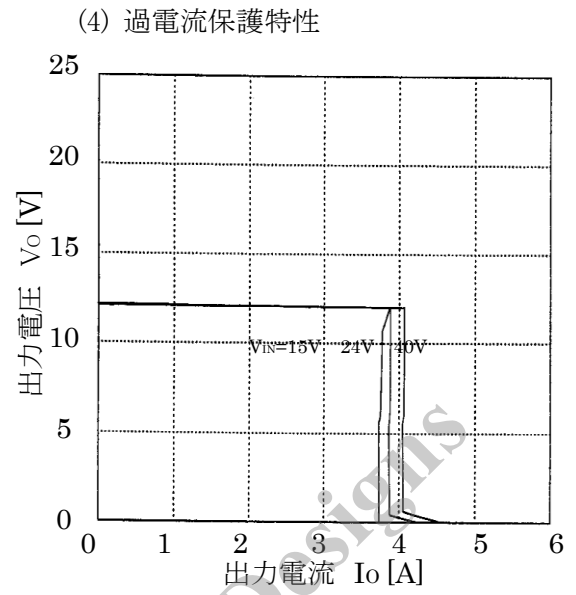
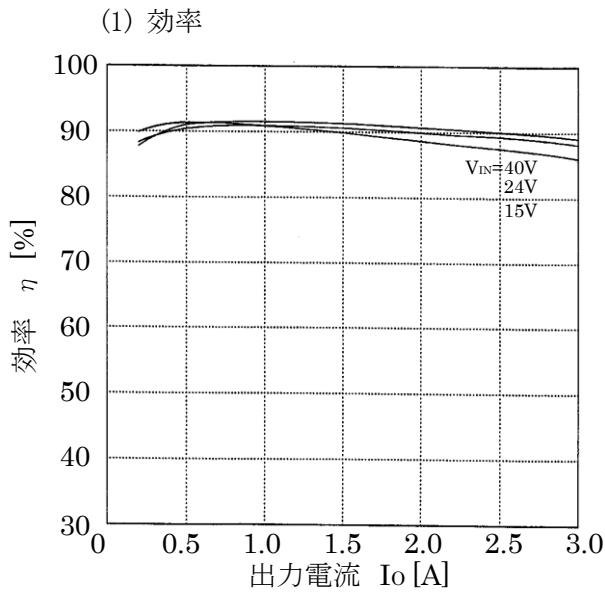


SI-8090S, SS



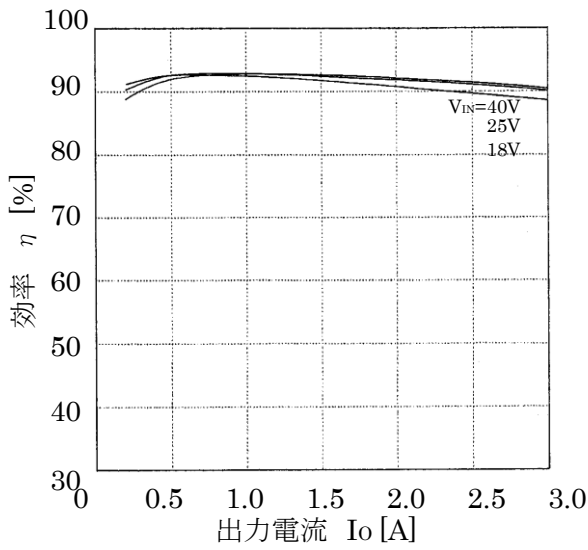


SI-8120S

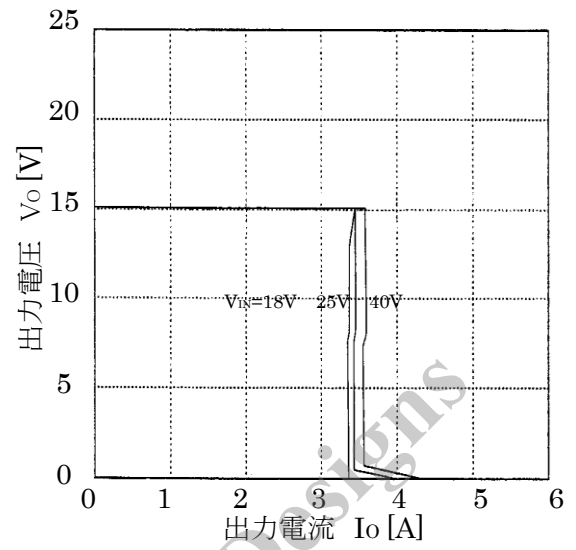


SI-8150S

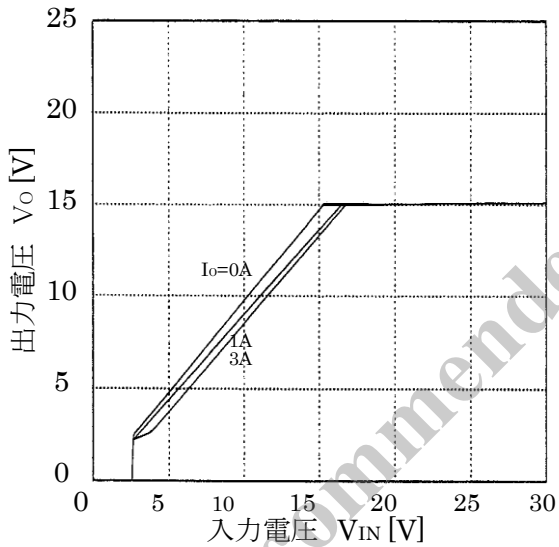
(1) 効率



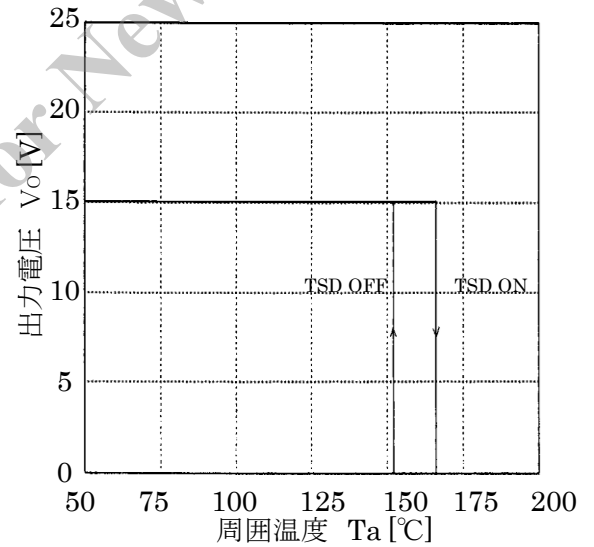
(4) 過電流保護特性



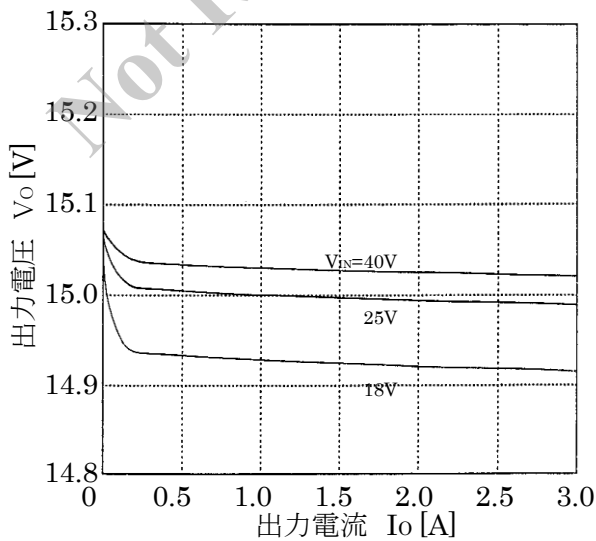
(2) 出力電圧立上り ※Load=C.C



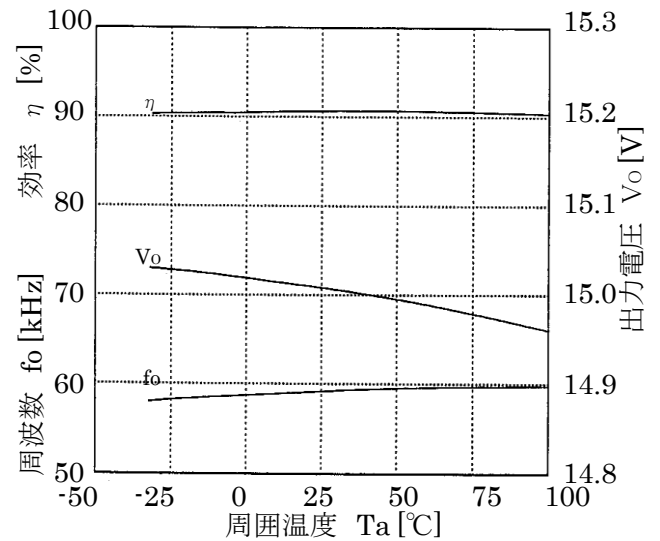
(5) 過熱保護  $V_{IN}=25V, I_o=0A$



(3) 出力電圧変動



(6) 温度特性  $V_{IN}=25V, I_o=1A$



## 8. 用語解説

- **ジッタ**

異常スイッチング動作の一種で、入出力条件が一定にも関わらずスイッチングパルス幅が変動する現象であります。ジッタが発生すると、出力のリプル電圧ピーク幅が増加します。

- **推奨動作条件**

正常な回路機能を維持するために必要とされる動作条件を示すもので、実使用においては当条件内とする必要があります。

- **絶対最大定格**

破壊限界を示す定格であり、瞬時動作及び定常動作において、一項目かつ一瞬たりとも規格値を超えないように配慮する必要があります。

- **電気的特性**

各項目に示している条件で動作させた場合の特性値規格であります。動作条件が異なる場合には、規格値から外れる可能性があります。

- **PWM (Pulse width modulation)**

パルス変調方式の一種で、変調信号波(チョップパ型スイッチングレギュレータの場合、出力電圧)の変化に応じて、パルスの幅を変えて変調する方式であります。

- **ESR (Equivalent series resistance)**

コンデンサの等価直列抵抗値を示します。コンデンサに直列に接続された抵抗と同等の作用を示します。

## ！注意

- 本書に記載されている内容は、改良などにより予告なく変更する事があります。ご使用の際には、最新の情報である事をご確認下さい。
- 本書に記載されている動作例及び回路例は、使用上の参考として示したもので、これらに起因する当社もしくは第三者の工業所有権、知的所有権、その他の権利の侵害問題について当社はいっさい責任を負いません。
- 本書に記載されている製品をご使用の場合は、これらの製品と目的物との組み合わせについて使用者の責任において検討・判断を行って下さい。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体製品では、ある確率での欠陥、故障の発生は避けられません。部品の故障により結果として、人身事故、火災事故、社会的な損害等を発生させないように、使用者の責任において、装置やシステム上で十分な安全設計及び確認を行って下さい。
- 本書に記載されている製品は、一般電子機器（家電製品、事務機器、通信端末機器、計測機器等）に使用される事を意図しております。ご使用の場合は、納入仕様書の締結をお願いします。高い信頼性が要求される装置（輸送機器とその制御装置、交通信号制御装置、火災・防犯装置、各種安全装置など）への使用をご検討の際には、必ず当社販売窓口へご相談及び納入仕様書の締結をお願いします。極めて高い信頼性が要求される装置（航空宇宙機器、原子力制御、生命維持の為の医療機器など）には、当社の文書による合意がない限り使用しないで下さい。
- 本書に記載された製品は耐放射線設計をしておりません。
- 本書に記載された内容を文書による当社の承諾無しに転記複製を禁じます。

### ご注文に際して

ご注文数量は、100個の整数倍でご指定下さいますようお願い致します。