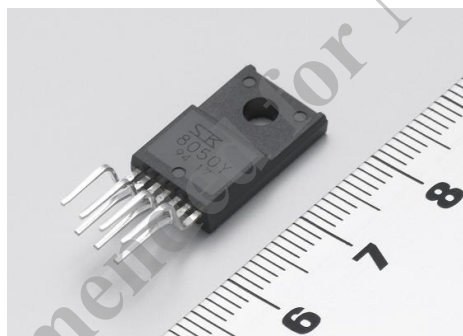


アプリケーション ノート

フルモールドタイプ チョップパ型スイッチングレギュレータIC

SI-8000Y シリーズ



第3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, 6
2-3 回路図	-----	7, 8
3. 各端子の説明	-----	9
4. SI-8000Y シリーズの動作説明		
4-1 動作説明	-----	10, 11
4-2 過電流・過熱保護	-----	12
5. 使用に際しての注意事項		
5-1 外付部品選定上の注意	-----	13~20
5-2 パターン設計上の注意	-----	21
5-3 出力電圧設定について	-----	22, 23
5-4 動作波形の確認	-----	24
5-5 熱設計	-----	25~28
6. 応用		
6-1 ソフトスタート	-----	29, 30
5-2 出力 ON・OFF 制御	-----	30
5-3 スパイクノイズの低減	-----	31
5-4 逆バイアス保護	-----	31
7. 代表特性例	-----	32, 33
8. 用語解説	-----	34

1. 概要

SI-8000Y は、電流制御方式の降圧スイッチングレギュレータ IC です。

スイッチングトランジスタには低オン抵抗の Nch MOSFET を内蔵していますので、高効率の DC/DC コンバータが実現できます。

また、電流制御方式を採用し、LC フィルタの小型化にも寄与します。

ソフトスタート機能も有しており外付けに、コンデンサを接続し、ソフトスタート時間を設定し、起動時のラッシュ電流緩和に寄与します。

● 1-1 特長

- ・ 小型大出力電流 8 A
T0220F クラスの外形で、出力電流が最大 8 A です。
- ・ 高効率 86% ($V_o=5V$ 設定、 $V_{IN}=30V/I_o=3A$)
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。
- ・ 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）
外付コンデンサの定数設定で、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。起動時のラッシュ電流緩和が出来ます。
又、オープンコレクタトランジスタを接続し出力の 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

- ・ アミューズメント用電源
- ・ O A 機器用電源
- ・ レギュレータ 2 次側出力電圧安定化
- ・ オンボードローカル電源

● 1-3 種別

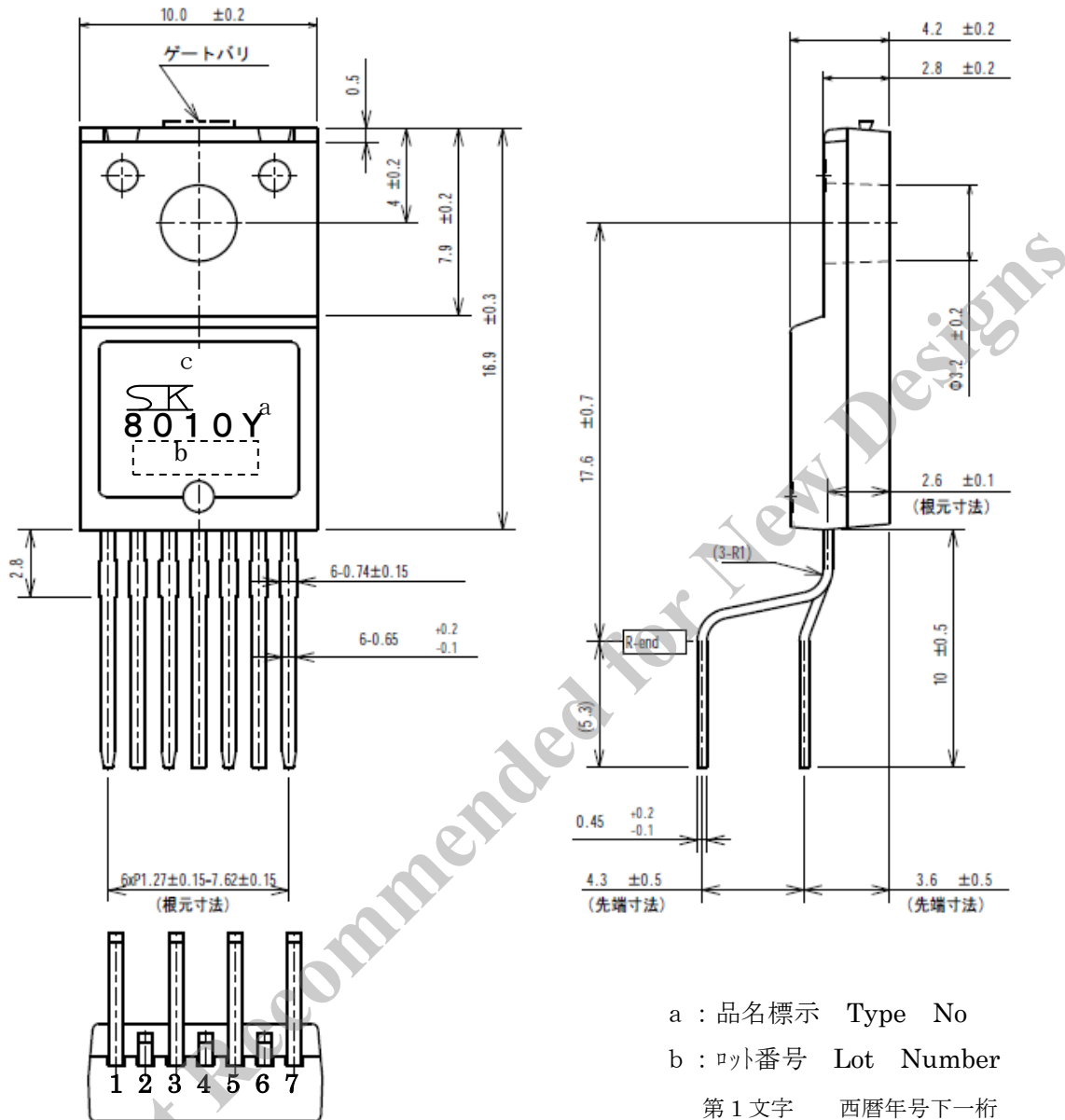
- ・ 種別：半導体集積回路（モノリシック IC）
- ・ 構造：樹脂封止型（トランスファーマールド）

2. 製品仕様

単位 : mm

Unit : mm

● 2-1 SI-8000Y 外形図 (リットフォームিং No : LF2016F)



端子配列

- 1.BS
- 2.SW
- 3.IN
- 4.GND
- 5.COMP
- 6.FB
- 7.EN/SS

*1 : ゲートバリは含まない

*2 : リット先端部の寸法を示す。

製品重量 : 約 2.3 g

a : 品名標示 Type No

b : ロット番号 Lot Number

第1文字 西暦年号下一桁
 第2文字 月
 1~9月 : アラビア数字
 10月 : O
 11月 : N
 12月 : D

第3,4文字 製造日
 01~31 : アラビア数字

c : 社標 ロゴマーク

外部端子処理 : Sn-3Ag-0.5Cu ティップ

● 2-2 定格

絶対最大定格 <表 1>

項目	記号	規格	単位
入力電圧 V_{IN} *1	V_{IN}	45	V
ハイサイドパワーMOSFドレインソース間電圧	BVDSS	55	V
無限大放熱時許容損失	$Pd1$	20.8	W
放熱板未使用時許容損失	$Pd2$	1.8	W
接合温度	T_j	-30~150	°C
保存温度	T_{stg}	-40~150	°C
熱抵抗(接合-ケース間)	θ_{j-c}	6	°C/W
熱抵抗(接合-周囲間)	θ_{j-a}	66.7	°C/W

*1: V_{IN} サージを含んだ最大印加電圧になります。

推奨動作条件 <表 2>

項目	記号	規格		単位	条件
		MIN	MAX		
入力電圧範囲	V_{IN}	*2	43 *4	V	
出力電流範囲	I_{out}	0	8.0	A	*3
動作時接合温度範囲	T_{jop}	-30	135	°C	
動作温度範囲	T_{op}	-30	85	°C	*3
出力電圧範囲	V_o	1	15	V	SI-8010Yのみ

*2 $V_{IN}=8v$ もしくは $V_{IN}=V_{out} \times 1.3$ のどちらか高い値とする

*3 熱減定格以内で使用する必要があります。

*4 $V_{in} > 40v$ になる場合は IN-SW、SW-GND 間にスガ回路を入れてください。

電氣的特性 <表 3 >

*5 (Ta=25°C、Vo=5V 設定時 R1=8kΩ,R2=2kΩ)

項目	記号	規格値 Ratings						単位
		SI-8010Y *5			SI-8050Y			
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
基準電圧 (出力電圧)	V _{REF} (V _{out})	0.98	1	1.02	4.9	5	5.1	V
		VIN=30V, Io=0.1A			VIN=30V, Io=0.1A			
基準電圧(出力電圧)温度係数	$\Delta V_{REF}/\Delta T$ ($\Delta V_o/\Delta T$)		±0.1			±0.5		mV/°C
		VIN=30V, Io=0.1A Ta=0°C to +100°C			VIN=30V, Io=0.1A Ta=0°C to +100°C			
効率 *6	η		86			86		%
		VIN=30V, Io=3A			VIN=30V, Io=3A			
動作周波数	f _o		130			130		kHz
		VIN=30V, Io=3A			VIN=30V, Io=3A			
ラインレギュレーション	V _{Line}		30	90		30	90	mV
		VIN=10~43V, Io=3A			VIN=10~43V, Io=3A			
ロードレギュレーション	V _{Load}		30	90		30	90	mV
		VIN=30V, Io=0.1~8A			VIN=30V, Io=0.1~8A			
過電流保護開始電流	I _s	8.1			8.1			A
		VIN=20V			VIN=20V			
静止時回路電流 1	I _q		8			8		mA
		VIN= 30V, Io=0A, V _{EN} /SS=			VIN= 30V, Io=0A, V _{EN} /SS=			
静止時回路電流 2	I _q (off)		250	500		250	500	uA
		VIN= 30V, V _{EN} /SS= 0V			VIN= 30V, V _{EN} /SS= 0V			
EN/SS端子 *7	Low時流出電流	I _{SSL}	10	30		10	30	μA
			VIN= 30V, V _{EN} /SS=0V			VIN= 30V, V _{EN} /SS=0V		
	Lowレベル電圧	V _{C/EL}		0.5			0.5	V
		VIN=30V			VIN=30V			

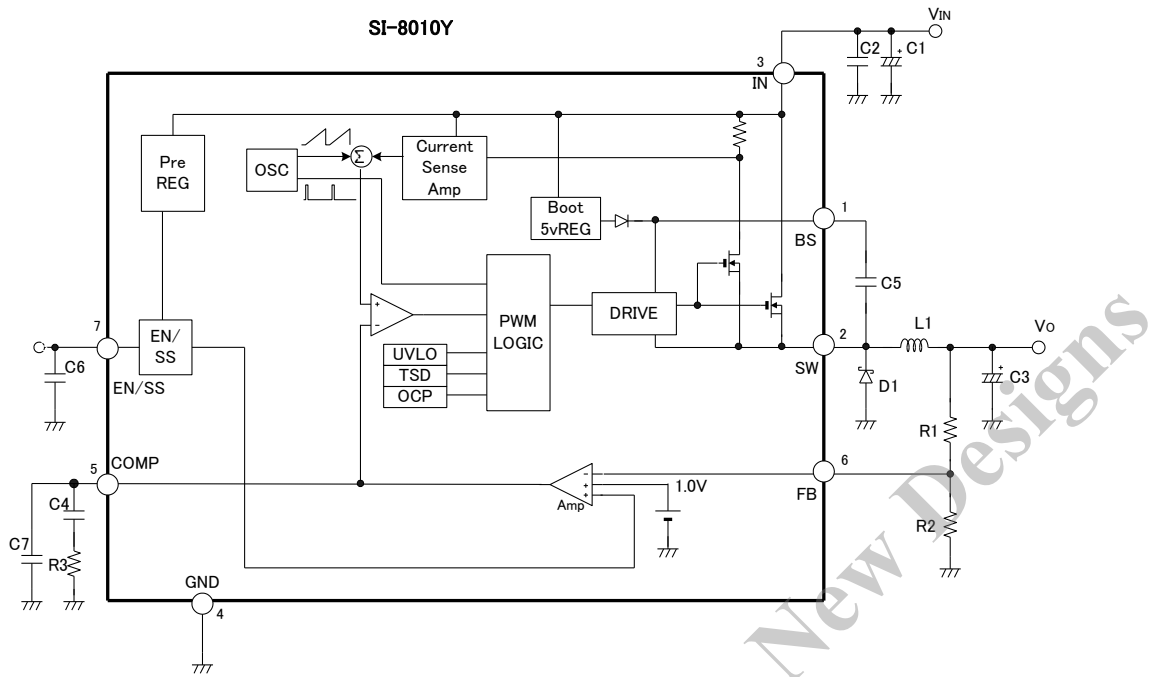
*6 効率は次式により算出されます。

$$\eta (\%) = \frac{V_o \cdot I_o}{V_{IN} \cdot I_{IN}} \times 100$$

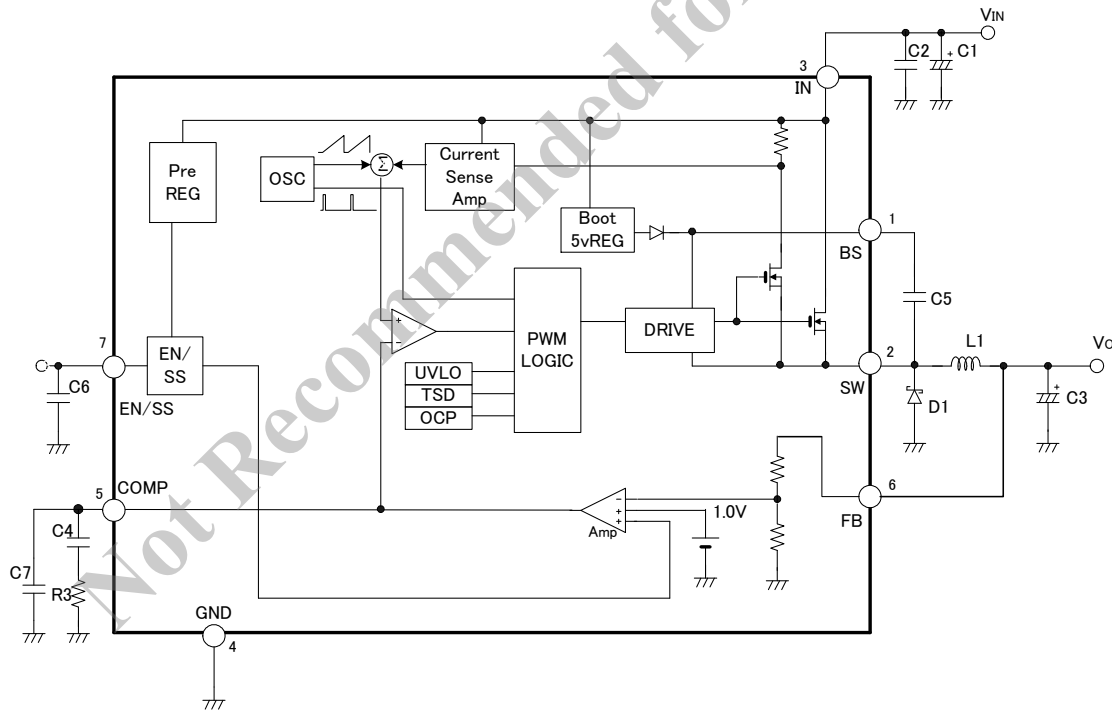
*7 7番端子は、EN/SS端子で、コンデンサを接続することによりソフトスタートさせることができます。また、EN/SS端子電圧をV_{SSL}以下にすることで出力は停止します。EN/SS端子の電位切り替えは、トランジスタのオープンコレクタ駆動等で行うことができます。尚、ソフトスタートと、ON/OFFを併用した場合、ON/OFF用トランジスタにはC6のディスチャージ電流が流れるため、C6の容量が大きい場合は、電流制限等の保護を行って下さい。また、EN/SS端子はIC内部電源にプルアップ(4.4vTYP)されていますので、外部からの電圧印加は出来ません。未使用の場合は、オープンとして下さい。

● 2-3 ブロック図

SI-8010Y

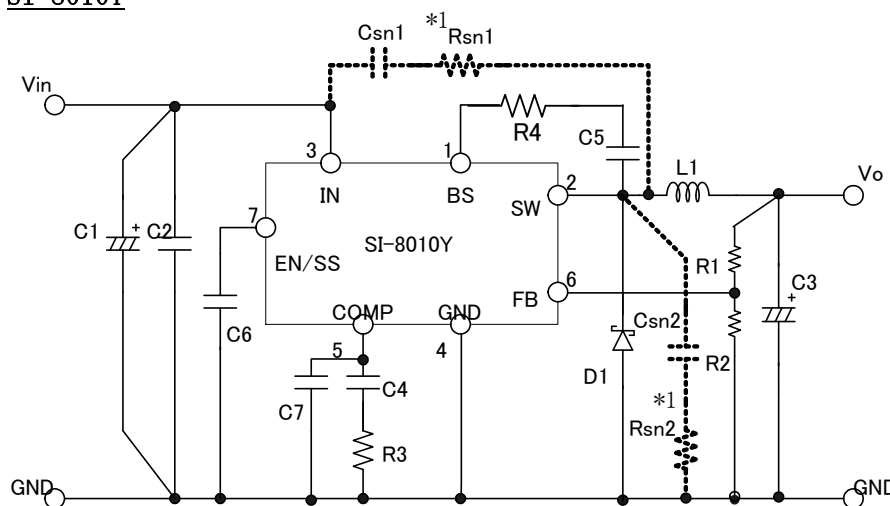


SI-8050Y



2-3-② 標準接続図

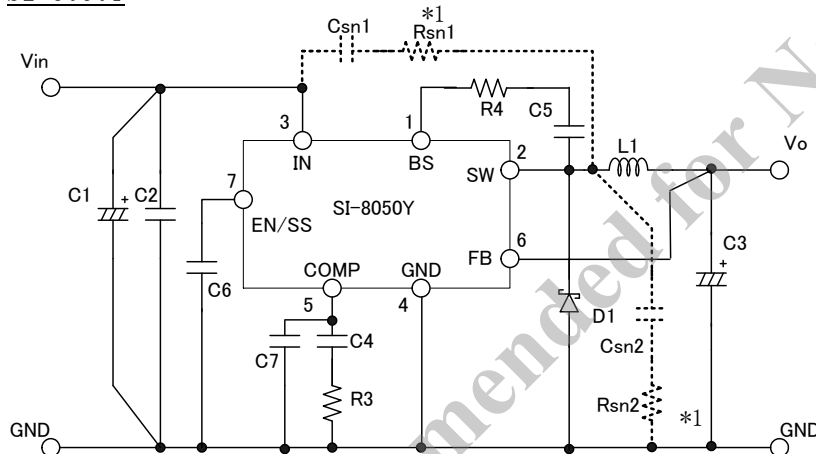
SI-8010Y



- C1:2200 μ F/50V
 C2:4.7 μ F/50V
 (RPER11H475K5 (村田製作所製))
 C3:470 μ F/25V
 C4:1200pF($V_o=5V$ 設定時)
 C5:0.22 μ F/50V
 C6 :0.1~1 μ F
 C7:680pF($V_o=5V$ 設定時)
 L1:47 μ H
 D1:FMB-26L (サンケン製)
 R1: 8 k Ω ($V_o=5V$ 設定時)
 R2: 2 k Ω
 R3:39k Ω ($V_o=5V$ 設定時)
 R4 : 0~22 Ω 程度
 Csn1,2=2200pF($V_{in}>40v$ 時) *1
 Rsn1,2=10 Ω ($V_{in}>40v$ 時) *1

*1 : $V_{in}>40v$ になる場合は IN-SW、SW-GND 間にスバ回路を入れてください。

SI-8050Y



- C1:2200 μ F/50V
 C2:4.7 μ F/50V
 (RPER11H475K5 (村田製作所製))
 C3:470 μ F/25V
 C4:1200pF
 C5:0.22 μ F/50V
 C6 :0.1~1 μ F
 C7:680pF
 L1:56 μ H
 D1:FMB-26L (サンケン製)
 R3:39k Ω
 R4 : 0~22 Ω 程度
 Csn1,2=2200pF($V_{in}>40v$ 時)*1
 Rsn1,2=10 Ω ($V_{in}>40v$ 時)*1

3. 各端子の説明

● 3-1 端子記号、名称

<表 5 >

端子番号	SI-8010Y/8050Y	
	記号	名称
1	BS	ハイサイド MOS 用ブースト端子
2	SW	スイッチング出力端子
3	VIN	入力端子
4	GND	グラウンド端子
5	COMP	位相補正用端子
6	FB	フィードバック検出端子
7	EN/SS	ソフトスタート兼 ON/OFF 制御端子

● 3-2 端子機能説明

- BS (端子番号 1) :
ハイサイドスイッチ Nch-MOS のゲート駆動用の内部電源です。SW 端子と BS 端子間に推奨 0.22 μ F のコンデンサを接続し、ハイサイド Nch-MOS を駆動させます。
- SW (端子番号 2) :
出力にパワーを供給するスイッチング出力端子です。
- VIN (端子番号 3) :
IC の入力電圧です。
- GND (端子番号 4) :
グラウンド端子です。
- COMP (端子番号 5) :
ループを安定に制御するための位相補正用端子です。
- FB (端子番号 6) :
出力電圧検出用の端子です。SI-8010Y では R1、R2 を接続し出力電圧を設定します。
- EN/SS (端子番号 7) :
端子にコンデンサを接続し出力電圧のソフトスタート設定を行います。IC を ON/OFF させる場合、オープンコレクタトランジスタを接続し、Low にすることでオフとなります。

4. SI-8000Y の動作説明

4-1. 動作説明

SI-8000Y では出力電圧の抵抗分割値を基準電圧 1V で比較するエラーアンプで構成されています。電流制御帰還ではインダクタ電流を PWM 制御に帰還するループであり、センス MOS を使用して分流されたインダクタ電流をカレントセンスアンプで検出を行っています。また、スロープ補正では電流制御方式の特性上、サブハーモニック発振を回避するため電流制御スロープに対してスロープ補正を行っています。図 5 に示すように、SI-8000Y では、電圧制御帰還、電流制御帰還、スロープ補正の信号を演算することで、電流制御方式による PWM 制御を行っています。

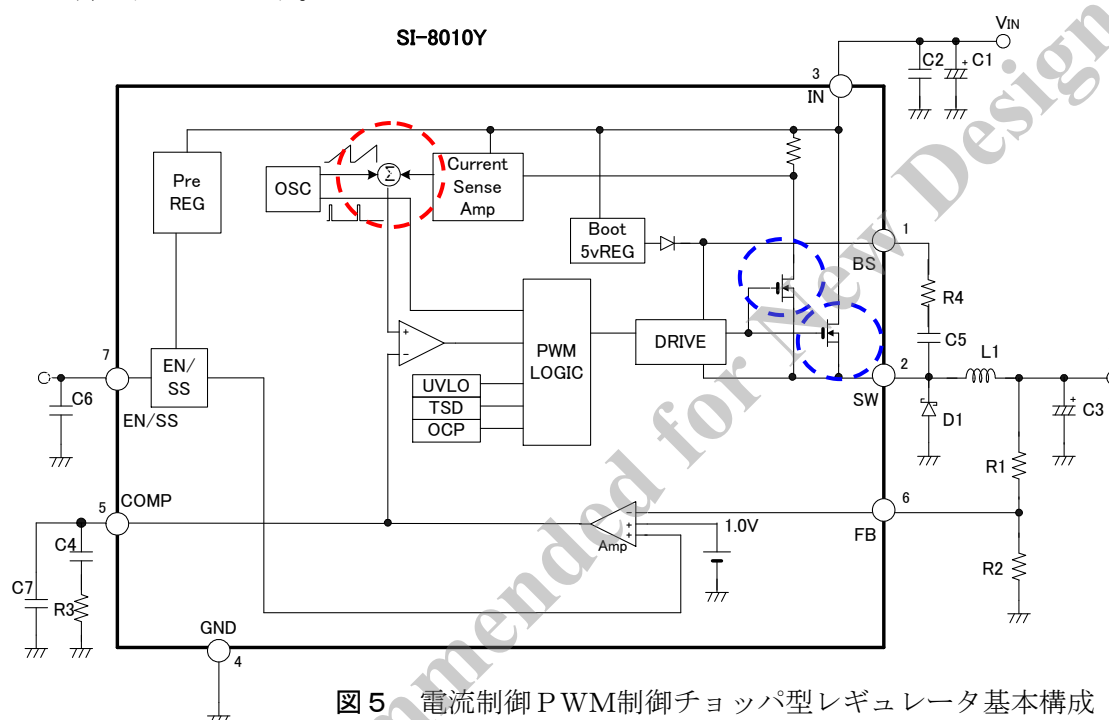


図 5 電流制御 PWM 制御チョップパ型レギュレータ基本構成

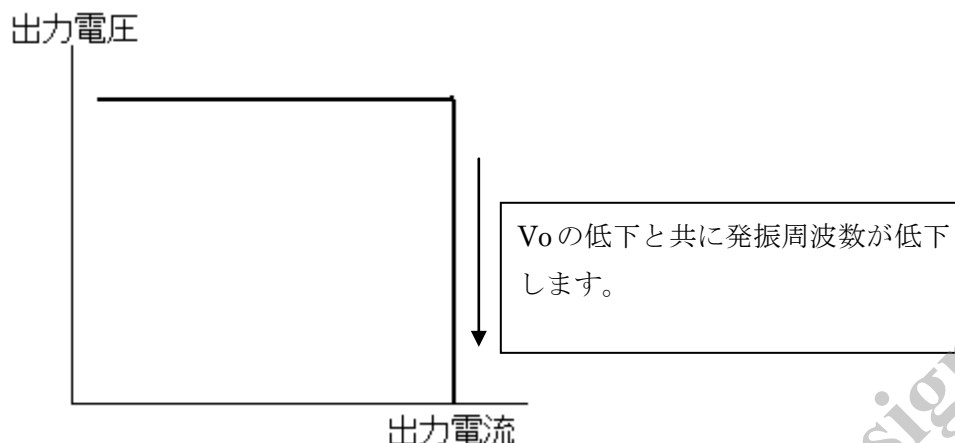
SI-8000Y は電流制御のレギュレータのため、COMP 端子の電圧はインダクター電流のピーク値に比例します。UVLO が解除された時や、EN/SS 端子が閾値(約 1.5v)を超えた時に、スイッチング動作をします。最初は、MIN_ON デューティもしくは MAX_ON デューティでスイッチング動作しハイサイドスイッチ(M1、以下 M1 と示す。)と BS コンデンサチャージ用スイッチ (M2、以下 M2 と示す。)が常に ON/OFF を交互に繰り返します。M1 は出力にパワーを供給するスイッチング MOS で、M2 は M1 を駆動させるためのブースト用コンデンサ C5 をチャージします。M1 : ON/M2 : OFF 時において、SW 端子とインダクターに電圧が印加されることにより、インダクター電流が増加し、それを検出する電流検出アンプの出力も上昇します。この電流検出アンプの出力と Ramp 補正信号とが加算された信号と、誤差増幅器の出力が、電流比較器 (CUR_COMP) で比較されます。加算された信号が、誤差増幅器の出力 (COMP 端子電圧) を超えた時に、電流コンパレータの出力が“H”となり、RS フリップフロップがリセットされます。そして、M1 が OFF し、M2 が ON します。それにより、回生電流が外付け SBD (D1) を通って流れます。

SI-8000Y では毎周期にセット信号が発生し、RS フリップフロップがセットされます。また、加算された信号が COMP 端子電圧を超えなかった場合、10%OFF Duty 回路の信号により、RS フリップフロップが必ずリセットされます。

Not Recommended for New Designs

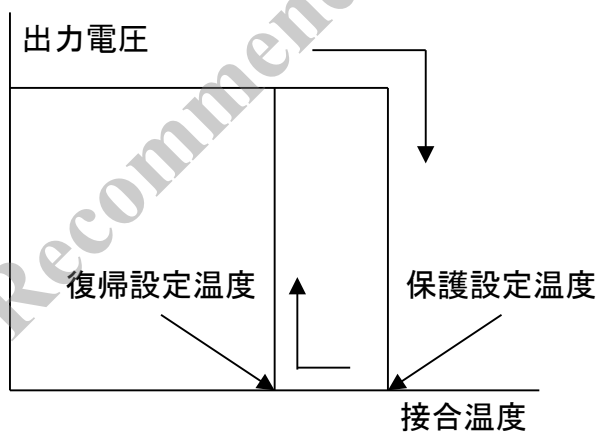
● 4 - 2 過電流・過熱保護

過電流時出力電圧特性



SI-8000Y 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 MOSFET 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。更に出力電圧が低下しますとスイッチング周波数を約 25kHz までリニアに落とす事で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(約 160°C)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 25°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。

5. 使用に際しての注意事項

● 5-1 外付部品選定上の注意

5-1-① 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

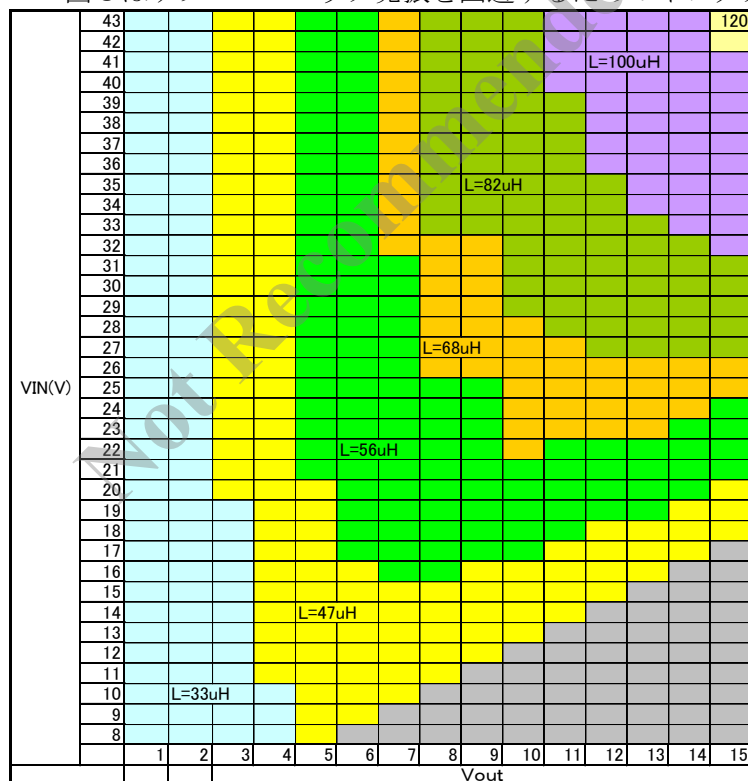
a) スwitchングレギュレータ用である事

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) サブハーモニック発振の回避

ピーク検出電流制御ではインダクタ電流がスイッチング動作周波数の整数倍の周期で変動することがあります。このような現象をサブハーモニック発振と呼び、ピーク検出電流制御モードでは原理的に発生する問題です。その為、安定な動作をさせる為にIC内部でインダクタ電流に補正を行っており、出力電圧に対応した適切なインダクタ値を選定することが必要です。

図8はサブハーモニック発振を回避するためのインダクタンスL値選定範囲を示した図です。



SI-8010Y は外部抵抗で Vout 設定を行う為、設定条件によりインダクタンス値を最適化する必要があります。

SI-8050Y も外部抵抗を追加し、Vout 上昇可変をした場合インダクタンス値の合わせ込みが必要です。

Vo 変更した場合もイ相補性定数 (C4,C7,R3) の再設定が必要です。
(P.18 参照)

チョークコイル電流の脈流部 ΔIL およびピーク電流 ILp は、次式にて表されます。

$$\Delta IL = \frac{(V_{in} - V_{out}) \cdot V_{out}}{L \cdot V_{in} \cdot f} \quad \text{--- (A)}$$

$$ILp = \frac{\Delta IL}{2} + I_{out} \quad \text{--- (B)}$$

この式よりチョークコイルのインダクタンス L が小さいほど、 $\Delta IL, ILp$ ともに増大することが分かります。よってインダクタンスが過小であるとチョークコイル電流の変動が大きくなるためレギュレータの動作が不安定になるおそれがあります。過負荷・負荷短絡時の磁気飽和によるチョークコイルのインダクタンスの減少に注意願います。

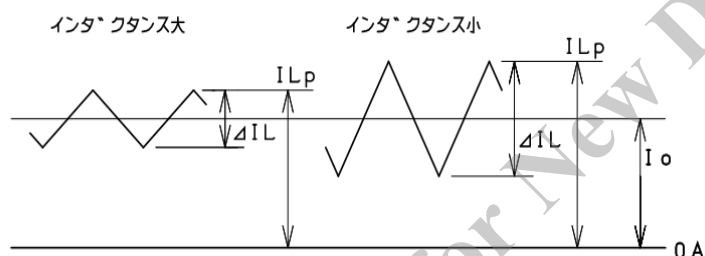


図 9

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。

5-1-② 入力コンデンサ C1、C2

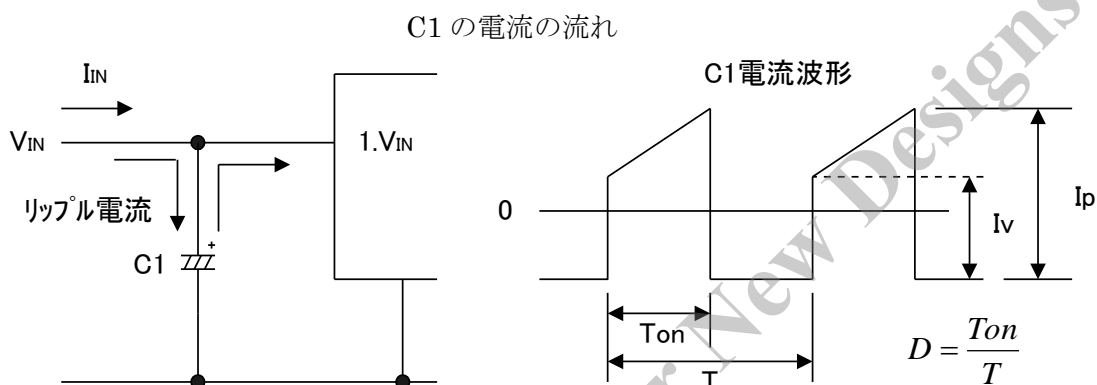
入力コンデンサは、入力回路のバイパスコンデンサとして動作し、スイッチング時の急峻な電流をレギュレータに供給しており、入力側の電圧降下を補償しています。従って極力レギュレータ IC の近くに取り付ける必要があります。特に C2 は周波数特性の良いセラミックコンデンサもしくはフィルムコンデンサを使用し、製品の IN-GND

端子に近い位置にレイアウトする必要があります。

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でも、SI-8000Y の近くにレイアウトされていなければ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。

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、

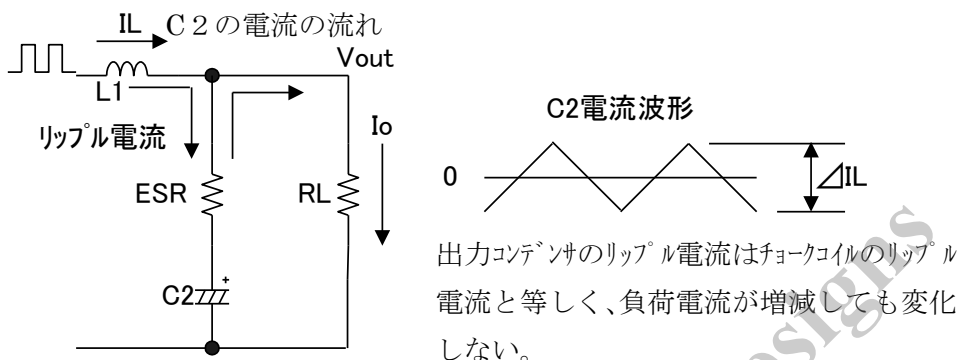
$$I_{rms} \approx 1.2 \times \frac{5}{20} \times 3 = 0.9A$$

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。

5-1-③ 出力コンデンサC3

出力コンデンサC3は、チョークコイルL1と共にLCローパスフィルタを構成し、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 ΔIL 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 ΔIL 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 ΔIL (= 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 が極端に小さいもの ($30m\Omega$ 以下) を使用される場合、Comp 端子の位相補正定数を見直す事で使用可能です。P. 18 参照

5-1-④ 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D1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-8000YシリーズのSW端子(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。

ノイズ対策としてフライホイールDiにフェライトビーズを入れると過大な負電位が発生する為、絶対にいれないでください。

5-1-⑤ 位相補正素子 C4、C7、R3

ループの安定性と応答性は、COMP端子を通して、制御されます。COMP端子は、内部のトランスコンダクタンス G_{cs} の出力です。

直列なコンデンサと抵抗との組み合わせが、制御システムの特性を決めるポールとゼロの組み合わせをセットします。電圧帰還ループのDC利得は、次の式によって計算できます。

$$A_{dc} = R_l \times G_{cs} \times A_{EA} \times \frac{V_{FB}}{V_{out}}$$

ここで、 V_{FB} はフィードバック電圧(1.0V)です。 A_{EA} は誤差増幅器の電圧ゲイン、 G_{cs} は電流検出のトランスコンダクタンスで、そして R_l は負荷抵抗値です。

2つの重要なポールがあります。一つは、位相補正コンデンサ(C4)と誤差増幅器の出力抵抗とによって生じます。

もう一つは、出力コンデンサ(C3)と負荷抵抗によって生じます。これらのポールは、下記の周波数に現れます。

$$fp1 = \frac{G_{EA}}{2\pi \times C4 \times A_{EA}}$$

$$fp2 = \frac{1}{2\pi \times C3 \times R_l}$$

ここで、 G_{EA} は誤差増幅器のトランスコンダクタンスです。このシステムは、一つのゼロが重要です。それは、位相補正コンデンサC3と位相補正抵抗R3によって生じます。

そのゼロは、下記の周波数に現れます。

$$fz1 = \frac{1}{2\pi \times C4 \times R3}$$

もし、出力コンデンサが大きいかつ・あるいは電解コンデンサなどの様に ESR が大きい場合は、このシステムは、重要な別のゼロを持つ場合があります。このゼロは、出力コンデンサ C3 の ESR と容量によって生じます。
そして、下記の周波数に存在します。

$$f_{ESR} = \frac{1}{2\pi \times C3 \times RESR}$$

この場合、位相補正コンデンサ (C7) と位相補正抵抗 (R3) とでセットされる 3 番目のポールが、ループゲイン上の ESR ゼロの効果を補正するために使われます。
このポールは下記の周波数で存在します。

$$fp3 = \frac{1}{2\pi \times C7 \times R3}$$

位相補正の設計の目標は、望んだループゲインを得るためのコンバータ伝達関数を形作ることです。帰還ループが単一ゲインを持つところのシステムクロスオーバー周波数が、重要です。より低いクロスオーバー周波数は、より遅いラインとロードトランジェントを生じます。一方、より高いクロスオーバー周波数、システムの不安定性を生じることがあります。良い標準は、スイッチング周波数の 1/10 以下のクロスオーバー周波数にセットすることです。最適な位相補正素子の選定を、下記に示します。

<表6>

項目	記号	値	単位
エラーアンプ 電圧ゲイン	AEA	300	V/V
エラーアンプ トランスコンダクタンス	GEA	800	uA/V
カレントセンスアンプ インピーダンス	1/GCS	0.16	V/A

1. 位相補正抵抗 (R3) を希望するクロスオーバー周波数にセットするために選択します。
R3 の計算は下記の式で行います。

$$R3 = \frac{2\pi \times C3 \times fc}{GEA \times GCS} \times \frac{Vout}{VFB} < \frac{2\pi \times C3 \times 0.1 \times fs}{GEA \times GCS} \times \frac{Vout}{VFB}$$

ここで、fc は希望するクロスオーバー周波数です。
それは、通常スイッチング周波数 (fs) の 1/10 以下にします。

2. 希望する位相余裕を達成するために位相補正コンデンサ (C4) を選択します。
代表的なインダクタンス値をもつアプリケーションに対して、クロスオーバー周波数の 1/4 以下の補正ゼロをセットすることは、十分な位相余裕を供給します。
C4 は次の式で計算できます。

$$C3 > \frac{4}{2\pi \times R3 \times fc}$$

R3 は、位相補正抵抗です。

3. セカンド補正コンデンサ C7 が必要かどうかの決定は、必要です。

もし出力コンデンサの ESR ゼロがスイッチング周波数の半分より小さいところに存在した場合は、必要となります。つまり、下記の式がなりたった場合です。

$$\frac{1}{2\pi \times C3 \times RESR} < \frac{fs}{2} \quad \{C3:出力コンデンサ容量\}$$

もしこの場合は、セカンド補正コンデンサ C7 を追加し、ESR ゼロの周波数 fp3 をセットします。C7 は次の式から求めます。

$$C7 = \frac{C3 \times RESR}{R3}$$

● C4, C7, R3 の計算例

・ R3 の算出

R3 の計算は下記の式で行います。

$$R3 = \frac{2\pi \times C3 \times fc}{GEA \times GCS} \times \frac{Vout}{VFB}$$

<表 6 > より

GEA : 800×10^{-6} GCS : 6.25 (1/GCS=0.16 の逆数)

fc : 13×10^3 (発振周波数の 1/10)

C3 : 出力コンデンサの容量

Vout : 設定 Vo

VFB : 1v

Vo=5v の場合で Co=560uF とすると

$$R3 = \{ (2 \times 3.14 \times 560 \times 10^{-6} \times 13 \times 10^3) / (800 \times 10^{-6} \times 6.25) \} \times (5/1) \\ = 45.718k\Omega \dots \text{近似値としてはこれより低い値で } 43k\Omega \text{ とします。}$$

・ C4 の算出

$$C4 > \frac{4}{2\pi \times R3 \times fc}$$

$$C4 = 4 / (2 \times 3.14 \times 43 \times 10^3 \times 13 \times 10^3) = 1139 \times 10^{-12} \dots \dots 1139pF \\ \text{近似値としてはこれより大きな値とします } 1200pF \text{ など}$$

・ C7 の算出

$$C7 = \frac{C3 \times RESR}{R3}$$

RESR : C3(Cout)の ESR です

C3=560uF として計算すると

RESR=50mΩ (0.05Ω) と過程すると

$$C7 = (560 \times 10^{-6} \times 0.05) / 43 \times 10^3 = 651 \times 10^{-12} \dots 651\text{pF}$$

似値としてはこれより大きな値とします 680pF など

出力コンデンサにアルミ電解コンデンサを使用した場合の各出力設定電圧に対する定数を以下の表に示します。

参考 Comp 端子位相補正定数(C4,C7,R3)

Co=470uF 時

Vo(V)	R3(kΩ)	C4(pF)	C7(pF)
3.3	27	2000	1000
5	39	1200	620
9	68	680	340
12	91	580	255

Co=1000uF 時

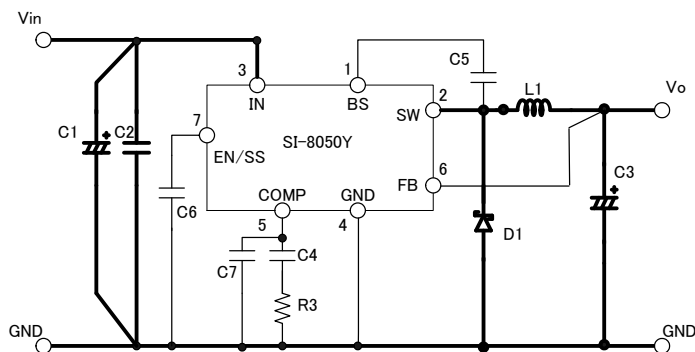
Vo(V)	R3(kΩ)	C4(pF)	C7(pF)
3.3	54	1000	1000
5	82	620	620
9	150	330	360
12	200	270	270

Not Recommended for New Designs

● 5-2 パターン設計上の注意

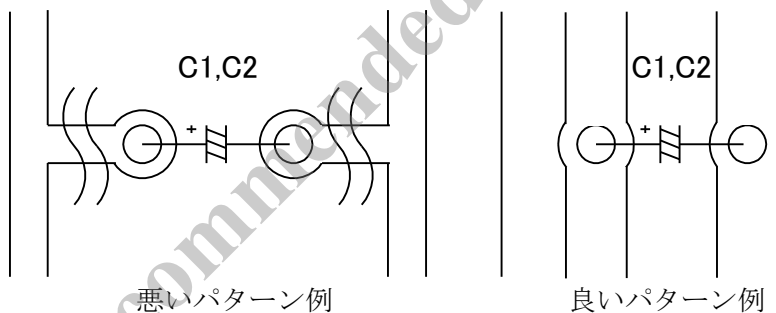
5-2-① 大電流ライン

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。



5-2-② 入出力コンデンサ

入力コンデンサC1、C2と、出力コンデンサC3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。



● 5-3. 出力電圧設定について

5-3-① SI-8010Y の出力電圧設定について

F B 端子は出力電圧を制御する為のフィードバック検出端子です。出来る限り出力コンデンサ C 3 に近い所に接続して下さい。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ください。

SI-8010Y は可変タイプであり R1 及び R2 を接続する事で出力電圧の設定が必要です。

I_{sense} が約 0.5mA になるように設定ください。

(I_{sense} は下限 0.4mA で考え、上限は特に制限はありませんが、消費電流が増える方向なので効率低下になりますのでご注意ください。

R1、R2、出力電圧は次式で求められます。

$$I_{sense} = V_{FB} / R2 \quad *V_{FB} = 1.0V \pm 2\%$$

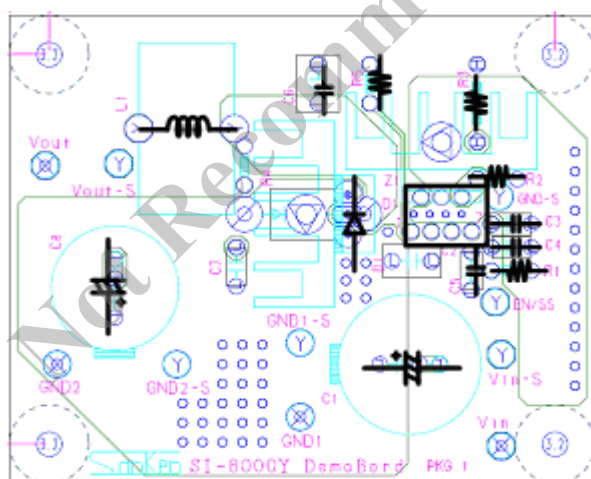
$$R1 = (V_o - V_{FB}) / I_{sense} \quad R2 = V_{FB} / I_{sense}$$

$$V_{out} = R1 \times (V_{FB} / R2) + V_{FB}$$

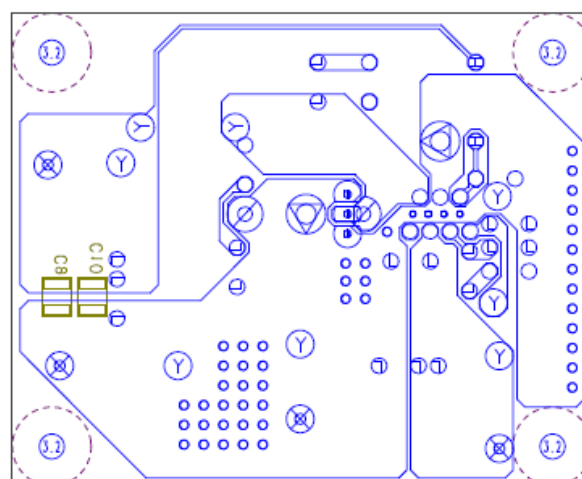
・出力電圧はオン Duty が 200ns 以上になる様に V_{out} 設定する事を推奨します。

- FB 端子及び R1, R2 の配線はフライホイール Di と並走する配線にレイアウトしないでください。スイッチングノイズが検出電圧に干渉し異常発振する場合があります。特に FB 端子から R1 及び R2 の配線は短く設計する事を推奨します。

● 実装基板パターン例



推奨パターン



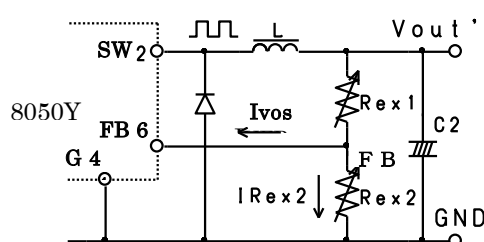
裏面GND面

*C2, D1 を製品の近傍にレイアウトすることがパターン設計上、極めて重要です。

*最適な動作条件とするためには、GND ラインは 4 番端子を中心にした 1 点 GND 配線とし、各部品を最短で配置する必要があります。

● 5-3② SI-8050Y の出力電圧可変について

出力電圧固定品の SI-8050Y も 6 番・FB 端子に抵抗を追加することにより出力電圧を上昇させる事が出来ます。（降下は不可）



出力電圧調整抵抗 $R_{ex1,2}$ は、次式により求められます。

$$R_{ex1} = \frac{V_{out'} - V_{FB}}{S \cdot I_{VFB}} \quad \text{--- (3)}$$

$$R_{ex2} = \frac{V_{FB}}{(S-1) \cdot I_{VFB}} \quad \text{--- (4)}$$

S : 安定係数

安定係数 S は、FB 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）

SI-8050Y の I_{vos} は $1\text{mA} \pm 20\%$ で考えて下さい。

以下に R_{ex1} 、 R_{ex2} 、 I_{vos} 、 V_{FB} 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 ($V_{out'MAX}$)

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

V_{FBMAX} : 設定出力電圧の最大値。仕様書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。

R_{ex1MAX} : R_{ex1} の最大値。抵抗の許容差より求めてください。

R_{ex2MIN} : R_{ex2} の最小値。抵抗の許容差より求めてください。

I_{vosMAX} : FB 端子の最大流入電流。1.2mA

ii 最小出力電圧 ($V_{out'MIN}$)

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

V_{FBMIN} : 設定出力電圧の最小値。仕様書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。

R_{ex1MIN} : R_{ex1} の最小値。抵抗の許容差より求めてください。

R_{ex2MAX} : R_{ex2} の最大値。抵抗の許容差より求めてください。

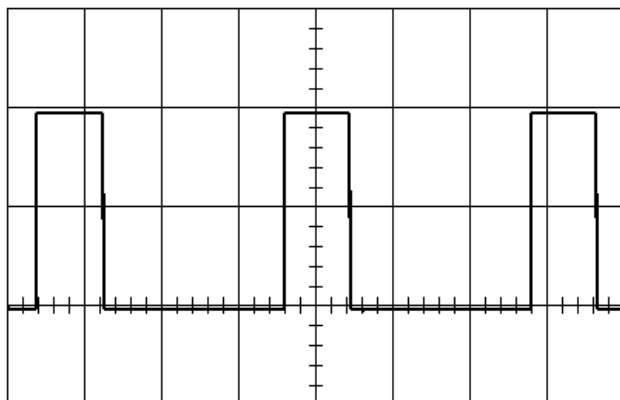
I_{vosMIN} : FB 端子の最小流入電流。0.8mA

$V_o=12\text{v}$ 設定時は上記計算では $R_{ex2}=1250\Omega$ 、 $R_{ex1}=1400\Omega$ で 12v 設定になります。

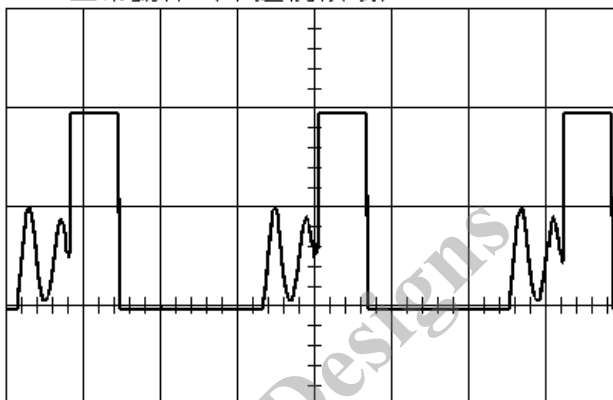
● 5 - 4 動作波形の確認

スイッチング動作が正常であるかどうかはSI-8000Yの2-4端子間波形(SW-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。

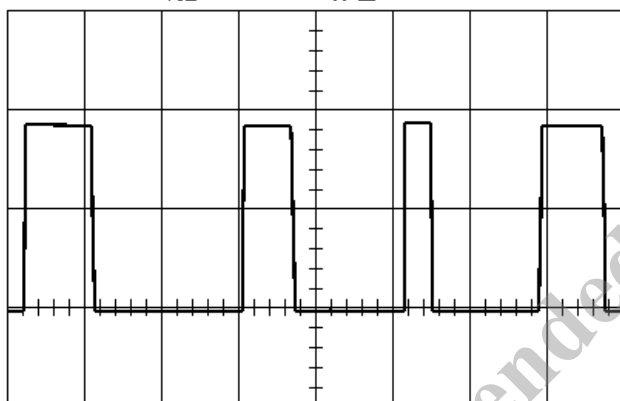
1. 正常動作（連続領域）



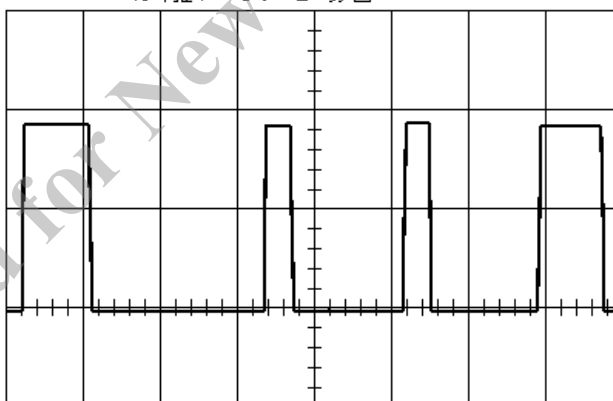
2. 正常動作（不連続領域）



3. C1 が離れている場合



4. C3 が離れている場合



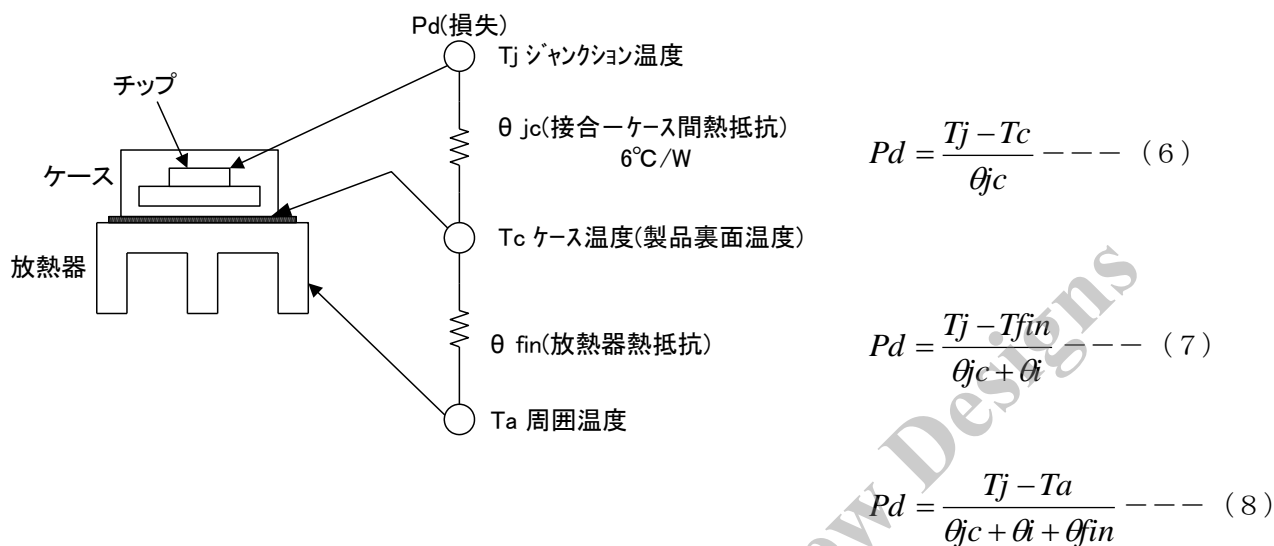
連続領域は、チョークコイルを流れる電流に、三角波に直流成分が重畳している領域であり、不連続領域はチョークコイル電流が少ない為、チョークコイルを流れる電流が断続的になる（ゼロになる期間が発生する）領域です。従って負荷電流が多い場合は連続領域に、少ない場合は不連続領域になります。連続領域ではスイッチング波形は通常の方波の形状となり（波形1）、不連続領域ではスイッチング波形に減衰振動が発生しますが（波形2）、これは正常な動作であり問題はありません。

ところがICとC1,C2及びC3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,C3はICの近くに接続する事が必要です。

● 5-5 熱設計

5-5-① 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 (θ_{fin} の決定) が必要になります。これらを分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

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

※ η_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、

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

で求められます。例として、以下に SI-8010Y を $V_{IN}=20\text{V}$ 、 $V_o=5\text{V}$ 、 $I_o=6\text{A}$ 、 $T_a=60^\circ\text{C}$ 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 $\eta=87.5\%$ 、 $V_f=0.55\text{V}$ として、 $T_{j\text{max}}=125$ 度で算出すると

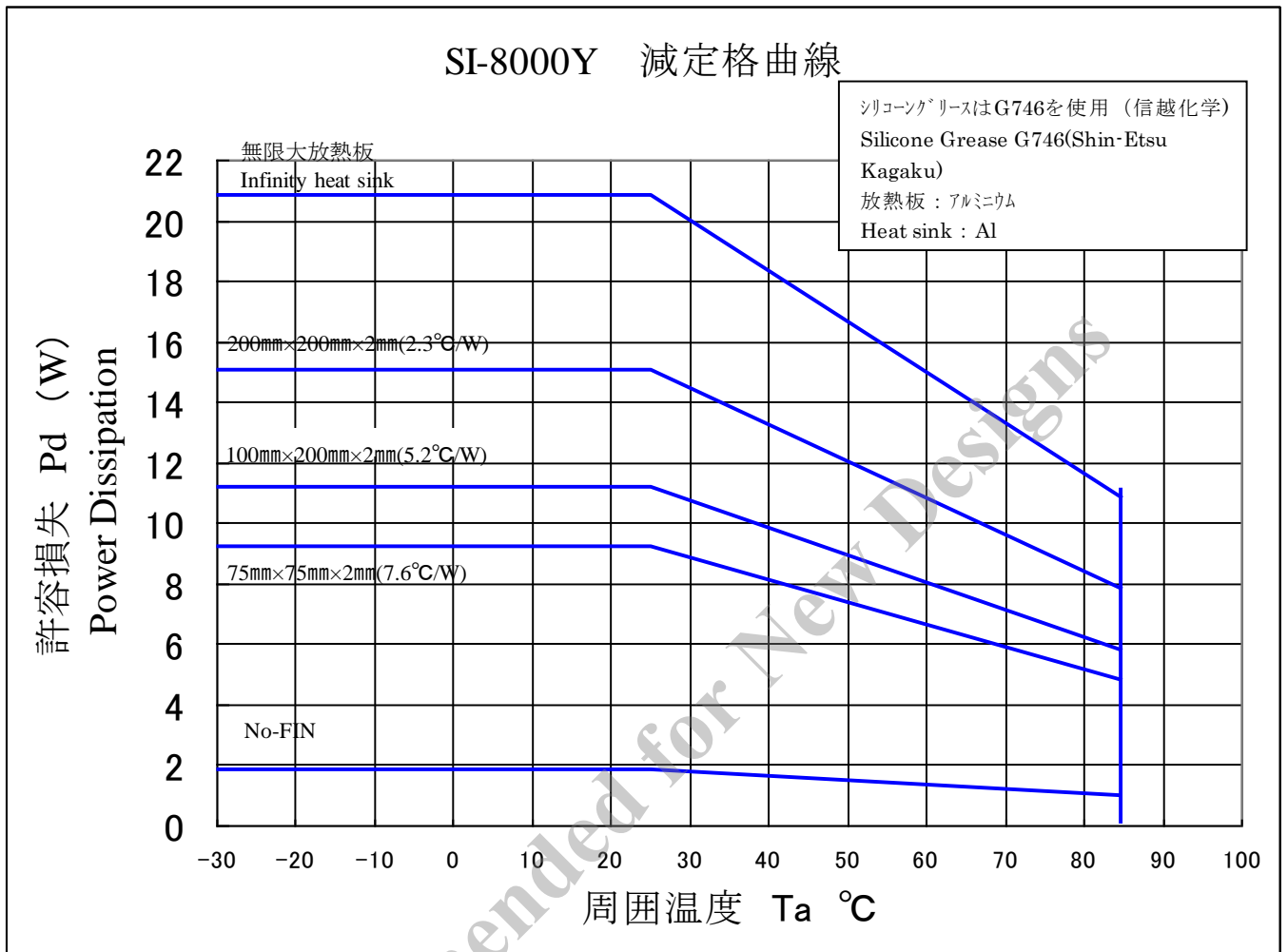
$$P_d = 5 \times 6 \times \left(\frac{100}{87.5} - 1 \right) - 0.55 \times 6 \times \left(1 - \frac{5}{20} \right) \doteq 1.81\text{W}$$

$$\theta_{fin} = \frac{125 - 60}{1.81} - 6 \doteq 30^\circ\text{C}/\text{W}$$

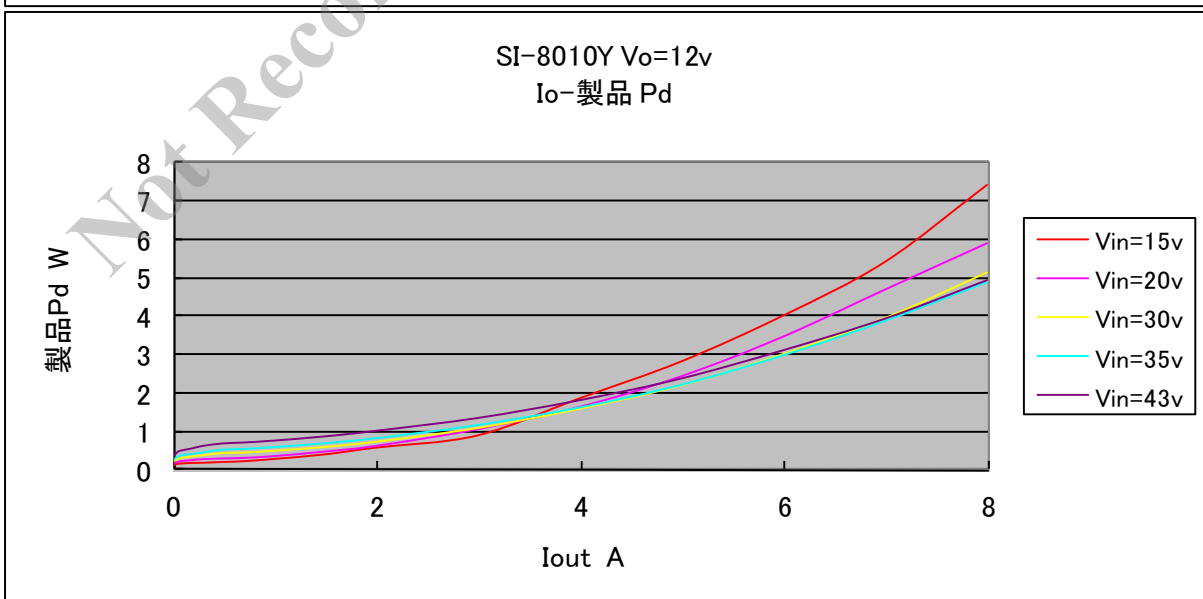
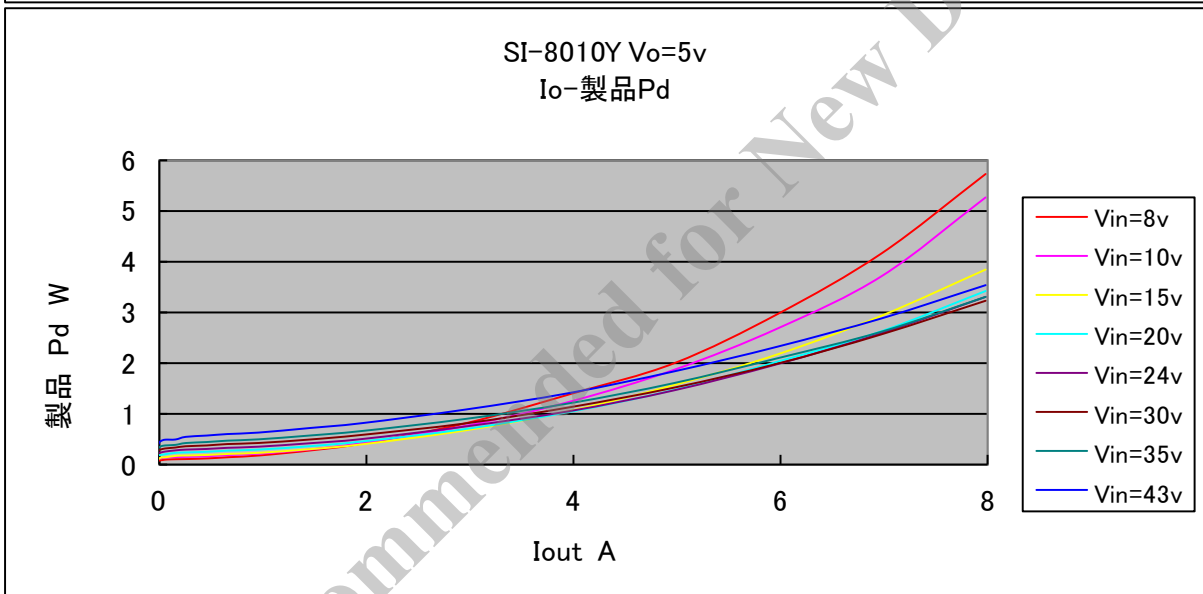
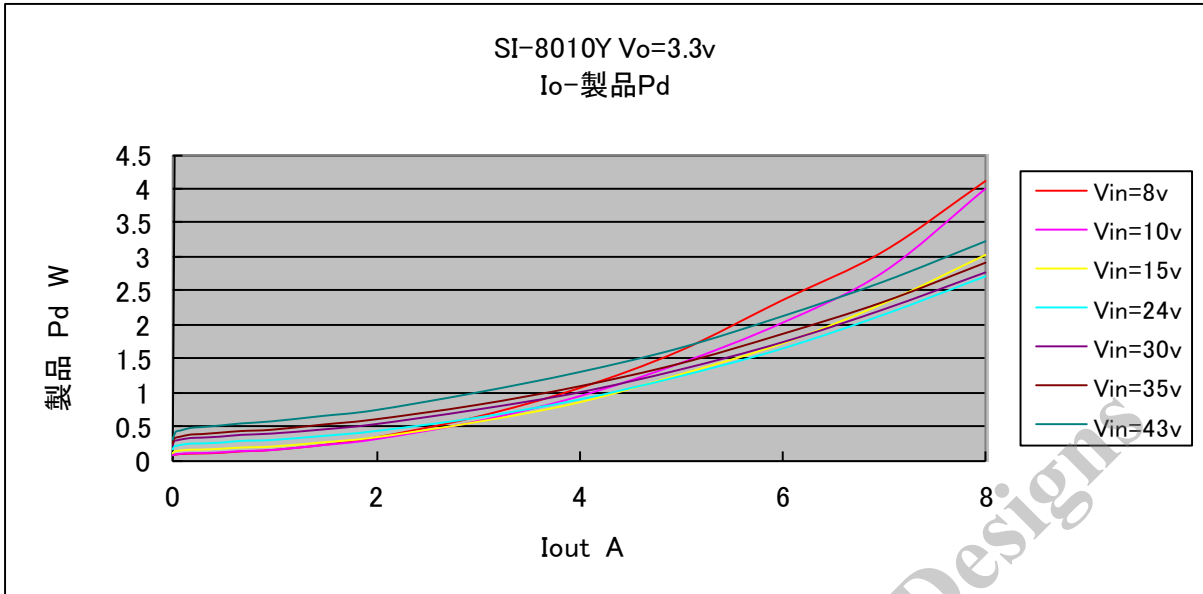
よって熱抵抗が $30^\circ\text{C}/\text{W}$ 以下の放熱器が必要になります。

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。

SI-8000Y 減定格曲線



SI-8010Y I_o-消費電力 Pd (効率データより製品消費電力を算出した値です)



5-5-② 放熱器への取り付け

シリコングリスの選択

SI-8000Y 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。

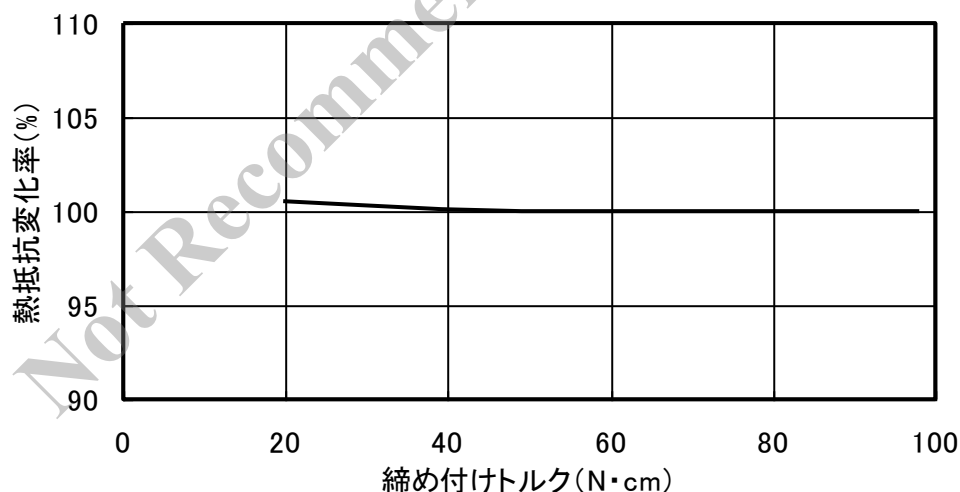
弊社推奨シリコングリス

G 7 4 6	信越化学工業 (株)
S C 1 0 2	トーレシリコーン (株)
YG6260	モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズ・ジャパン合同会社

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、熱抵抗が上昇してしまいます。

SI-8000Y については $58.8 \sim 68.6 \text{ N}\cdot\text{cm}$ ($6.0 \sim 7.0 \text{ kg}\cdot\text{cm}$) を推奨します。



※1 $58.8 \text{ N}\cdot\text{cm}$ ($6 \text{ kg}\cdot\text{cm}$) 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

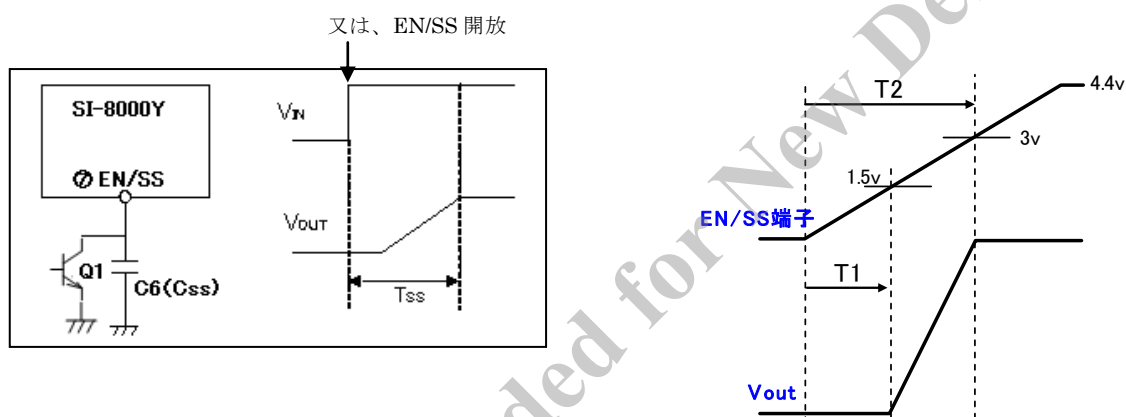
6. 応用

● 6-1 ソフトスタート

7番端子 (EN/SS) にコンデンサを接続する事で入力電圧投入時又は EN/SS 開放時にソフトスタートがかかります。ソフトスタートを掛けないと起動時に過大なラッシュ電流がながれますので必ずソフトスタートを設定する事を推奨します。

ソフトスタート時 V_{out} は C_{ss} の充電電圧に相関し立ち上がります。よって C_{ss} 充電の時定数計算で起動時間が概略求まります。

コンデンサ C_{ss} 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、立ち上がり時間 t_{ss} は以下の式で概略求まります。



EN/SS 端子は IC 内部電源にプルアップ(4.4vTYP)されていますので、外部からの電圧印加は出来ません。

SI-8000Y は SS 端子が約 1.5v になると V_{out} が上昇し始め、SS 端子が約 3v で V_{out} が立ち上がりきります。

C_{ss} を大きくしますと V_{in} OFF 後の C_{ss} ディスチャージも時間がかかるようになります。 C_{ss} の放電は Q1 オン時、もしくは V_{in} が 0v に低下した時に行われます。

C_{ss} は 10 μ F 以下の値で使用される事をお奨めします。

I_{ssL}: C_{ss} の充電電流(実力 10 μ A 程度)

V_{ssA}: C_{ss} が上昇し V_{out} が安定する C_{ss} の電圧(3.0v 程度)

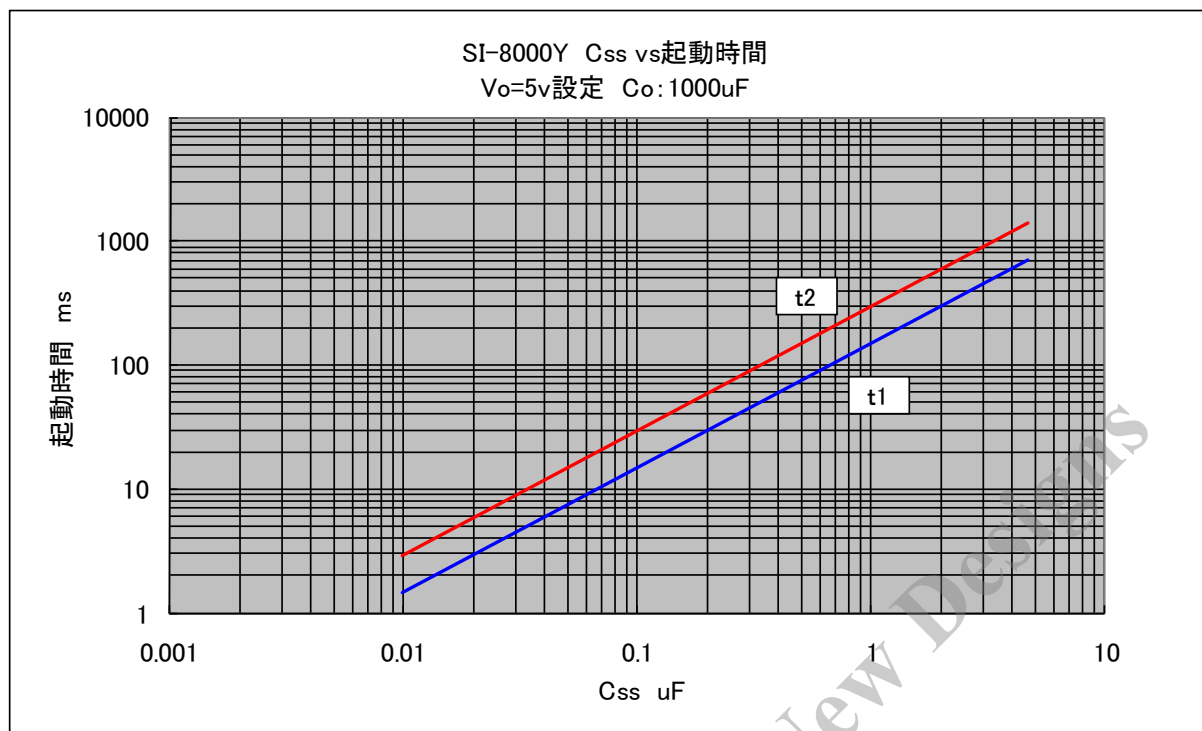
V_{ssB}: C_{ss} が上昇し V_{out} が上昇し始める C_{ss} の電圧(1.5v 程度)

C_{ss}: SS 端子に接続するコンデンサ容量

T1 = (C_{ss} × V_{ssB}) / I_{ssL} (sec) …… SS 端子開放から V_{out} が上昇し始める時間

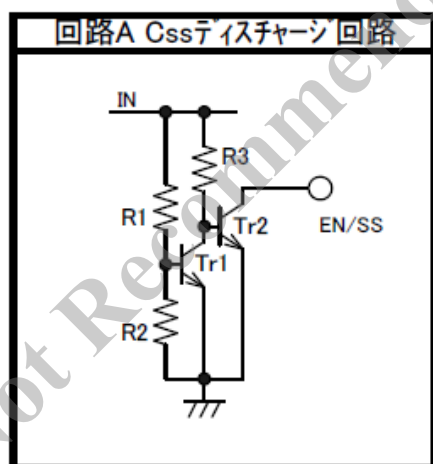
T2 = (C_{ss} × V_{ssA}) / I_{ssL} (sec) …… SS 端子開放から V_{out} の起動時間

C_{ss} による起動時間 実測値の参考データ次ページに示します。



オンオフ制御用トランジスタ Q1 を接続されない場合、 C_{ss} の放電は V_{in} が低下した時に IN 端子より放電されます。よって V_{in} が低下し V_o の降下後、 V_{in} が完全に低下しきる前に再起動 (V_{in} 上昇) する様な場合、 C_{ss} の放電が行われずソフトスタートが掛からない場合があります。

このような状況が有る場合、下図の様な放電回路を接続する事で解消可能です。

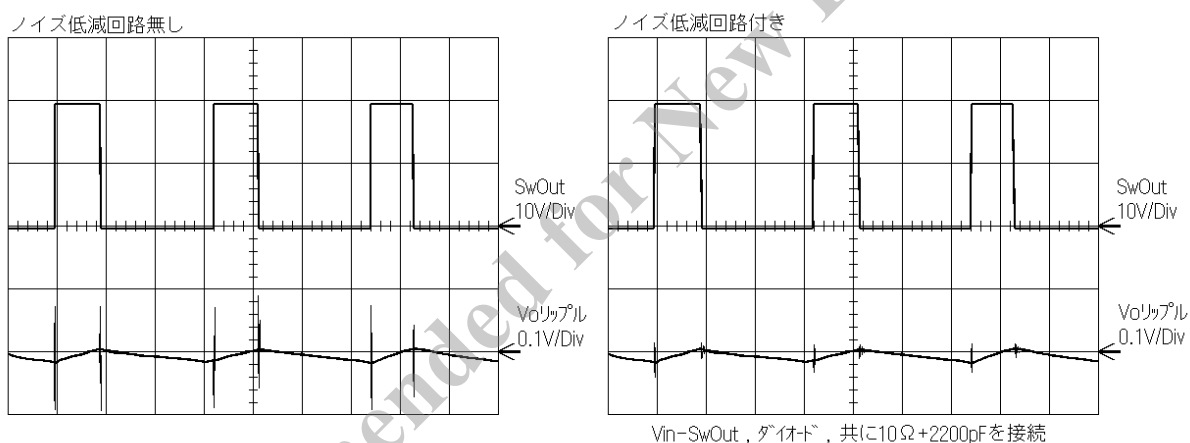
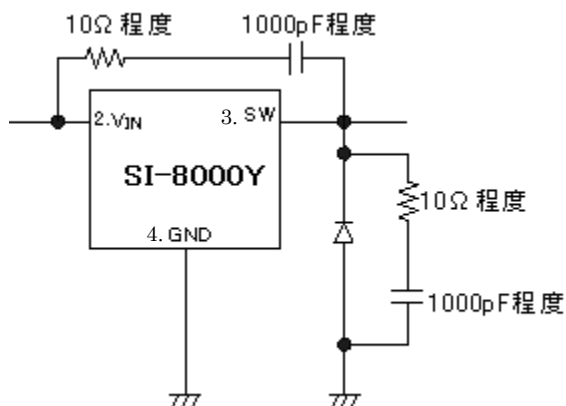


● 6-2 出力の ON・OFF 制御

7番・EN/SS 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 $V_{ssL}(0.5v)$ 以下にすると出力は停止します。EN/SS 端子は IC 内部でプルアップ(4.4vTYP)済みですので外部からは電圧を印加しないで下さい。

● 6-3 スパイクノイズの低減

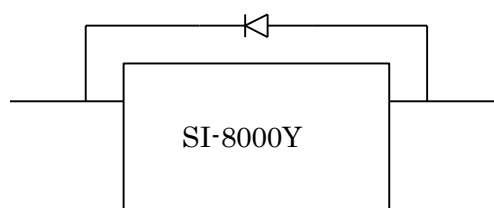
スパイクノイズを低減させるには、SI-8000Y の出力波形及び、ダイオードのリカバリータイムを、コンデンサで補正する方法がありますが、共に効率が弱冠低下しますので注意して下さい。



※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リード線が長い為、リード線がアンテナの作用をしてスパイクノイズが異常に大きく観測されてしまいます。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外し針金などからめ出力コンデンサの根元に半田付けして測定する必要があります。

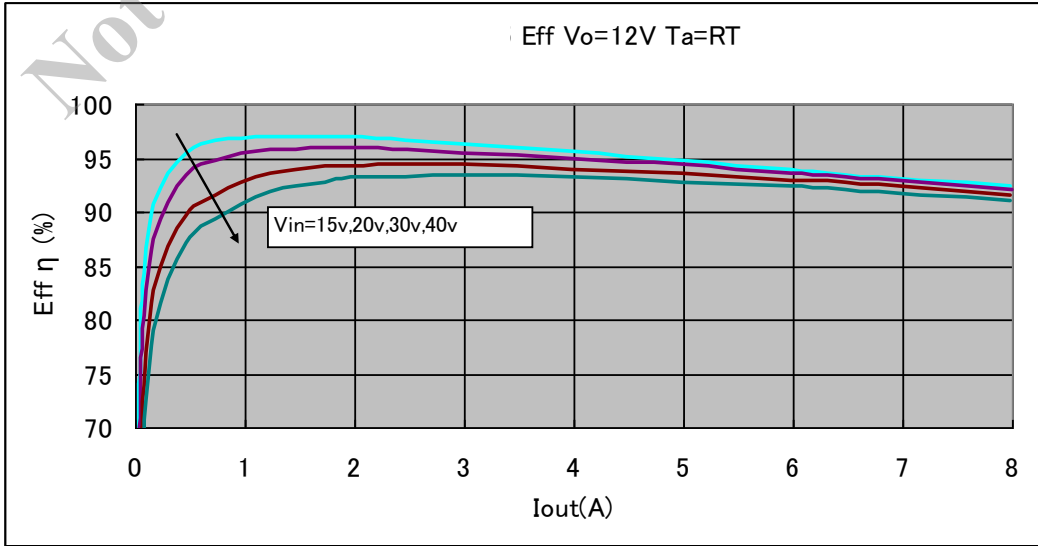
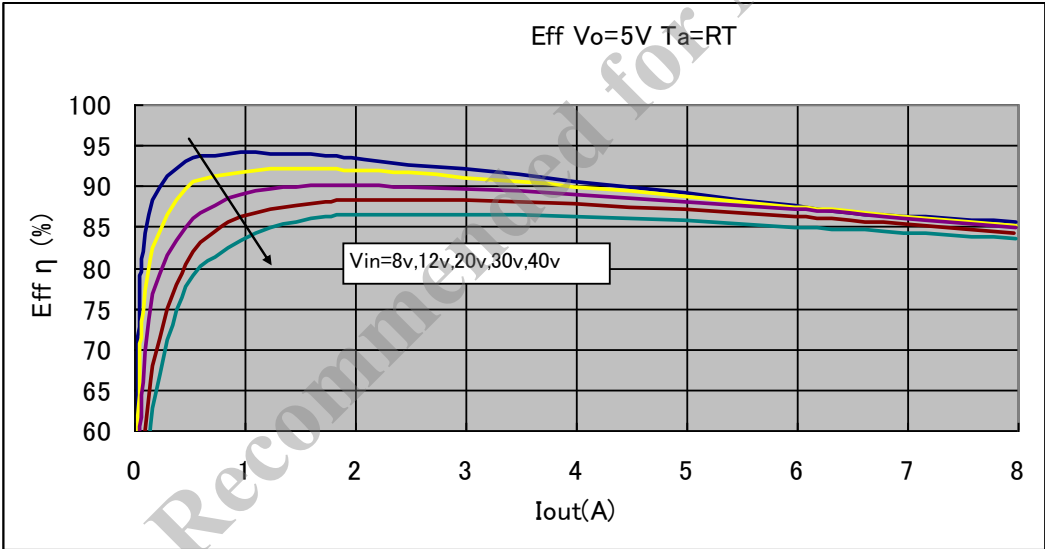
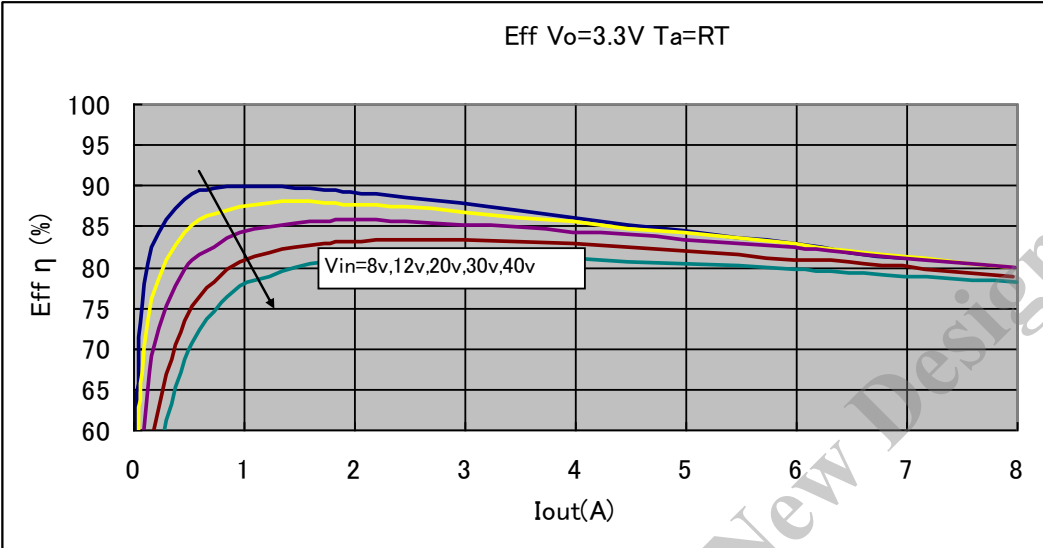
● 6-4 逆バイアス保護

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。



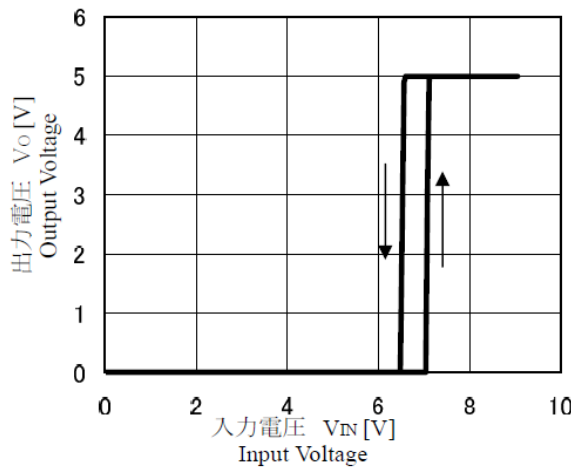
7. 代表特性例

(1) 効率

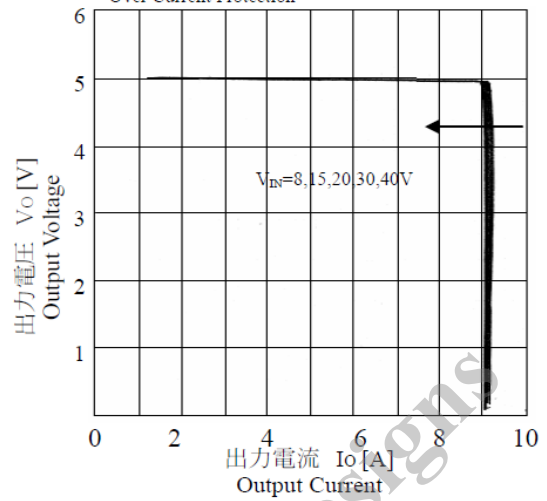


(特記無き場合 Ta=25°C,R2=2kΩ)Vo=5v 設定時

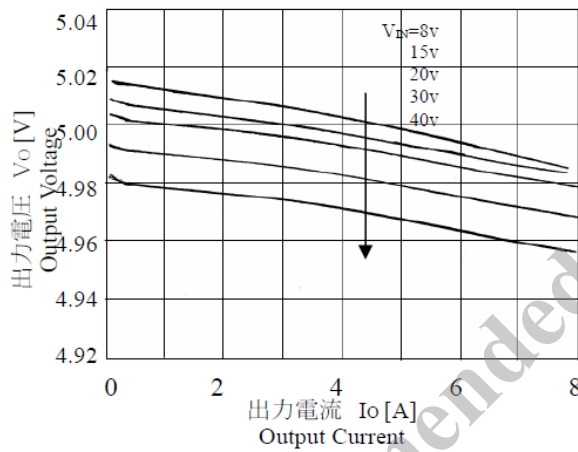
(2)出力電圧立上り Load=CR
Vin vs Vo



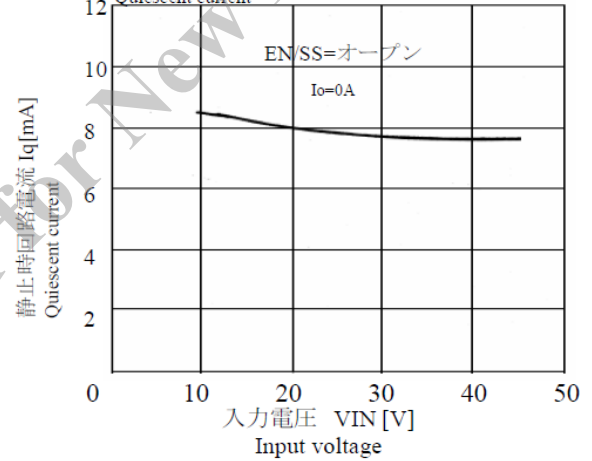
(5)過電流保護特性
Over Current Protection



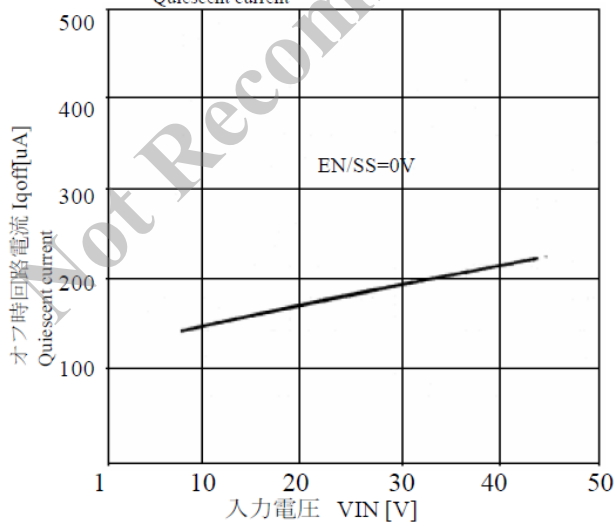
(3)ロードレギュレーション
Load Regulation



(6)無負荷時回路電流
Quiescent current



(4)オフ時回路電流
Quiescent current



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。