参考資料

# アプリケーション ノート

チョッパ型スイッチングレギュレータIC

# SI-8000HFE/HD シリーズ

第 3.2 版 2011 年 2 月

サンケン電気株式会社

はじめに

本資料は弊社チョッパ型スイッチングレギュレータＩＣ．SI-8000HFE シリーズ（TO220F）、SI-8000HD（面実装 TO263-5）の技術資料として作成致しました。ＳＩ－８０００Ｈシリーズのご使用に当たり一助となれば幸いかと存じます。
SI-8000HFE と SI-8000HD は同一 IC を使用しており電気的特性も同一になり、本稿では主に SI-8000HFE について記載しております。

又、資料中で不明な点、もしくは疑問点等がございましたら、下記宛までご指摘を賜りますようお願い申しあげます。

この技術資料は内容充実のため、お断り無しに変更することがあります。あらかじめご了承下さい。

サンケン電気株式会社　PCD 事業部　電源 IC 技術１ｸﾞﾙｰﾌﾟ

2010 年 1 月

**サンケン電気株式会社**

東京事務所 ： 〒171-0021　東京都豊島区西池袋１－１１－１（メトロポリタンプラザビル）
ＴＥＬ：（０３）３９８６－６１６５

大阪支店 ： 〒530-0057　大阪市北区曽根崎２－１２－７（梅田第一ビル）
ＴＥＬ：（０６）６３１２－８７１６

技術本部 ： 〒352-8666　埼玉県新座市北野３－６－３
ＴＥＬ：（０４８）４７２－１１９９

# ――― 目次 ―――


１．概要

１－１　特長 ――――――――――― 4

１－２　主な用途 ――――――――――― 4

１－３　種別 ――――――――――― 4

２．製品仕様

２－１　外形図 ――――――――――― 5～6

２－２　定格 ――――――――――― 7

２－３　回路図 ――――――――――― 8

３．SI-8000HFE シリーズの動作説明

３－１　PWM 出力電圧制御 ――――――――――― 9

３－２　過電流・過熱保護 ――――――――――― 10

４．使用に際しての注意事項

４－１　外付部品選定上の注意 ――――――――――― 11～15

４－２　パターン設計上の注意 ――――――――――― 16～17

４－３　動作波形の確認 ――――――――――― 18

４－４　電源の安定性 ――――――――――― 19～22

４－５　熱設計 ――――――――――― 23～26

５．応用

５－１　ソフトスタート ――――――――――― 27～28

５－２　出力 ON･OFF 制御 ――――――――――― 28

５－３　スパイクノイズの低減 ――――――――――― 28～29

５－４　逆バイアス保護 ――――――――――― 29

６．代表特性例 ――――――――――― 30～31

７．用語解説 ――――――――――― 32

# １．概要

SI-8008HFE 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ッパー型スイッチングレギュレータＩＣです。6 点の外付け部品で高効率のスイッチングレギュレータを構成することが出来ます。尚、SI-8008HD は SI-8008HFE の面実装(TO263-5)版です。

## ●１－１　特長

・小型大出力電流５．５Ａ

TO220F クラスの外形で、出力電流が最大 5.5Ａです。

・高効率８３％($V_{IN}$=15V/$I_O$=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。

・外付部品６点

入出力コンデンサ、ダイオード、コイル、Vout 設定用の抵抗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

・レギュレータ２次側出力電圧安定化

・ＯＡ機器用電源

・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ＩＣ）

・構造：樹脂封止型（トランスファーモールド）

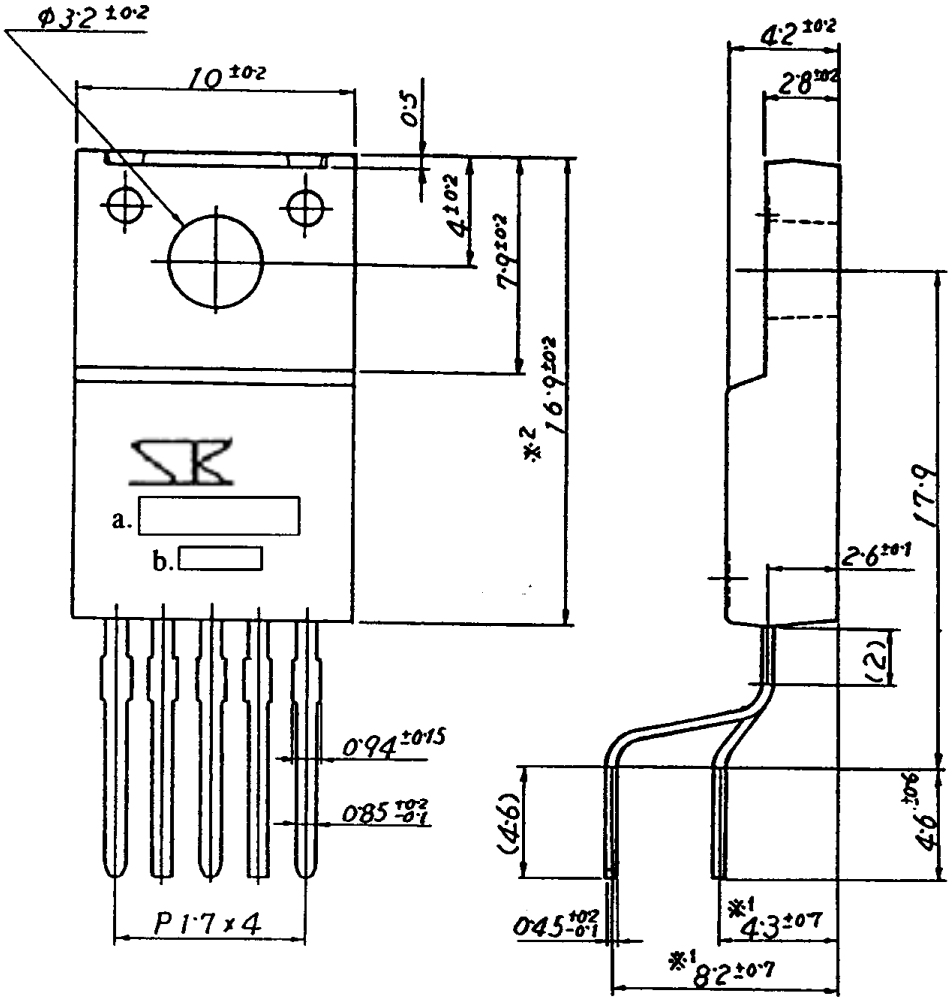
# 2．製品仕様

## ●２－１　SI-8008HFE 外形図　(ﾘｰﾄﾞﾌｫｰﾐﾝｸﾞ No ： LF1113)

単位：mm
Unit：mm

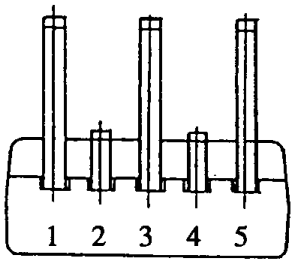
外形寸法図 LF1113
Outline drawing of lead forming No.1113

単位：mm
Dimensions in mm




●端子配列

1：IN
2：SW
3：GND
4：ADJ
5：SS



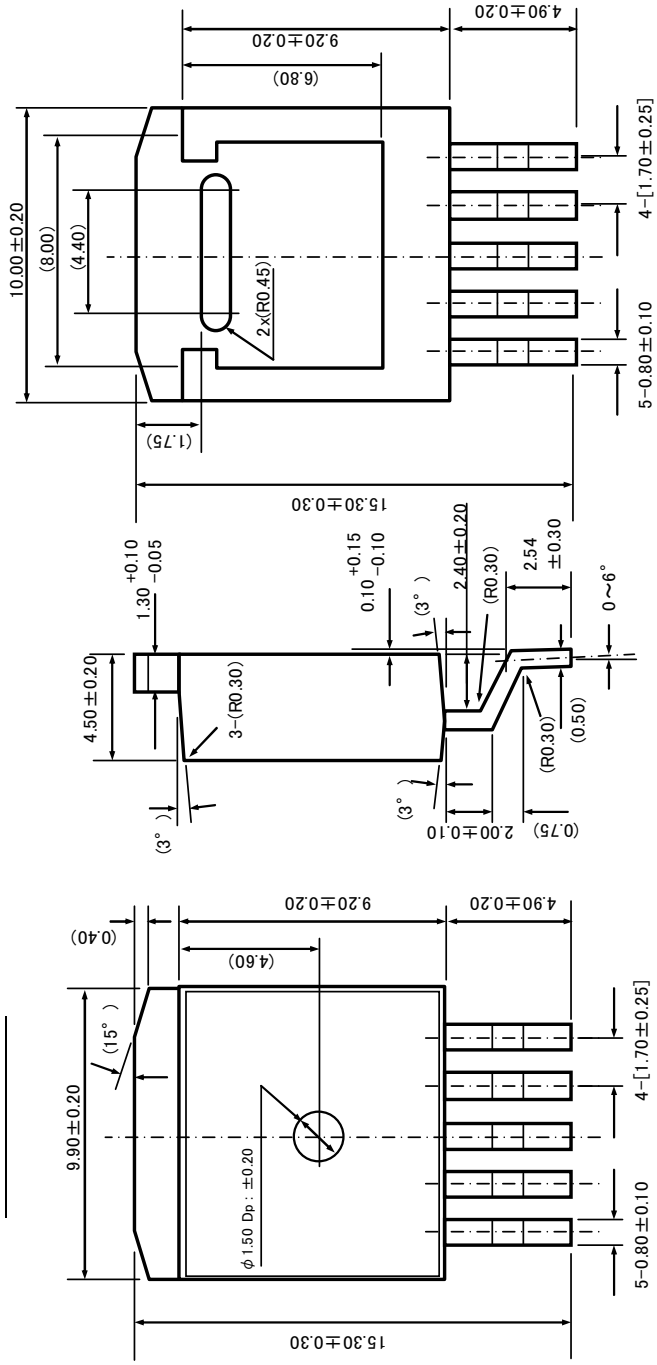

a. 品名標示
Type Number
b. ロット番号
Lot Number
第1文字　西暦年号ト一桁
1st letter　The last digit of year
第2文字　月
2nd letter　Month
1～9月：アラビア数字
10月：O
11月：N
12月：D
(1 to 9 for Jan. to Sept.,
O for Oct. N for Nov. D for Dec.)
第3,4文字　製造日
3rd & 4th letter　Day
01~31 アラビア数字
Arabic Numerical

● 外部端子処理：Sn-3Ag-0.5Cu ﾃﾞｨｯﾌﾟ

<注> ※2印寸法はゲートバリを含まず
The dimensions don't include the gate burr.
<注> ※1印寸法はリード先端部の寸法を示す。
Shows the dimensions measured at the top of lead.

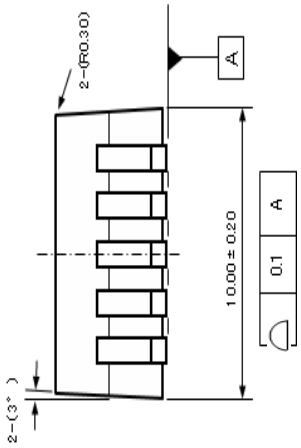
DWG.NO.図番 TG3A-1113

## SI-8008HD（面実装：TO263-5）外形図




注記
1）寸法はモールドバリを含まない。
2）（ ）内は参考寸法を示す。
3）[ ]内はリードフォーミング後寸法
4）裏面段差：0．8mmMAX
5）単位：mm

端子配列
PIN assignments
1. IN
2. SW
3. GND
4. ADJ
5. SS




製品質量：約 1.48 g

Products Weight :

## ●２－２　定格

**絶対最大定格**

| 項目 | 記号 | 定格値 | 単位 |
|---|---|---|---|
| 入力電圧 | $V_{IN}$ | 43 *1 | V |
| 無限大放熱時許容損失 | Pd1 | 25 | W |
| 放熱板未使用時許容損失 | Pd2 | 1.72 | W |
| 接合部温度 | Tjmax | 150　*1 | ゜C |
| 保存温度 | Tstg | -40～+150 | ゜C |

SI-8008HD は許容損失のみ異なります。

*1　過熱保護を搭載しており Tj>130℃で動作する場合があります。

**推奨動作条件**

| 項目 | 記号 | SI-8008HFE/HD | 単位 |
|---|---|---|---|
| 直流入力電圧 | $V_{IN}$ | Vo+3v～40　*2 | V |
| 出力電流 | Io | 0～5.5 | A |
| 動作時接合温度 | Tjop | -30～＋125 | ゜C |

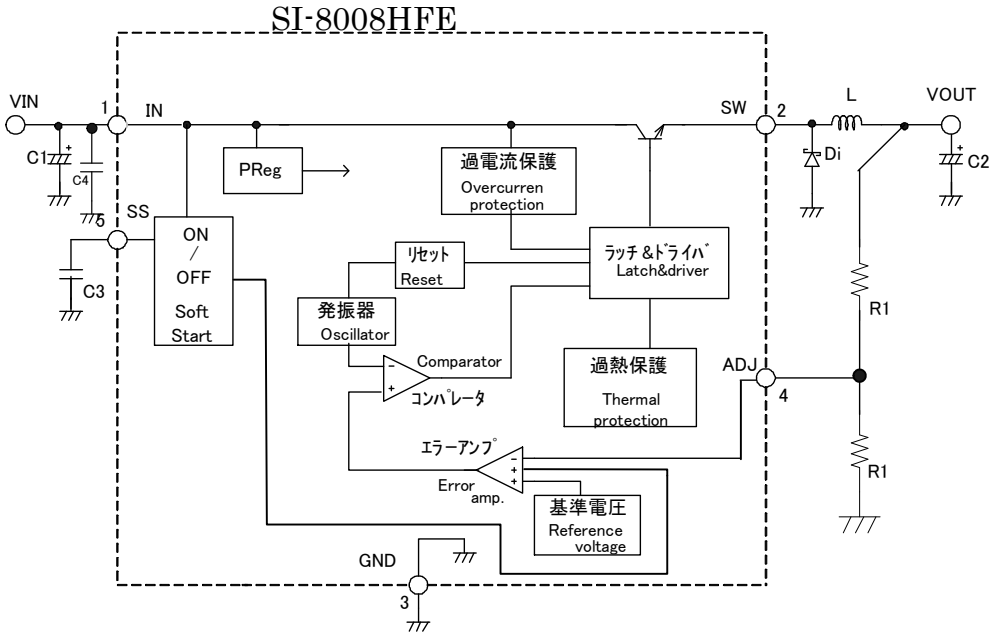
*2　VIN=4.5v もしくは Vout+3v のどちらか高い値とする

**電気的特性**　　電気的特性　(Ta=25℃、Vo=5V 設定時　R1=4.2kΩ,R2=0.8kΩ)

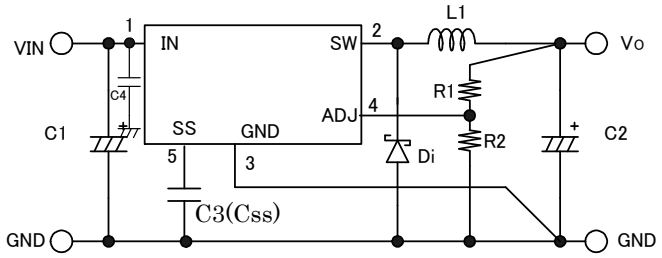
| 項目 | | 記号 | 規格値 MIN | 規格値 TYP | 規格値 MAX | 単位 | 測定条件 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 設定基準電圧 | | $V_{ADJ}$ | 0.784 | 0.800 | 0.816 | V | $V_{IN}$=15V，$I_O$=1A |
| 基準電圧温度係数 | | ⊿$V_{ADJ}$/⊿T | | ±0.1 | | mV/℃ | $V_{IN}$=15V，$I_O$=1A,Tc=0~100℃ |
| 効率　*3 | | η | | 83 | | % | $V_{IN}$=15V,$I_O$=3A |
| 動作周波数 | | fo | | 150 | | kHz | $V_{IN}$=15V，$I_O$=3A |
| ラインレギュレーション | | VLine | | 60 | 80 | mV | $V_{IN}$=10～30V，$I_O$=3A |
| ロードレギュレーション | | VLoad | | 20 | 50 | mV | $V_{IN}$=15V，$I_O$=0.2～5.5A |
| 過電流保護開始電流 | | $I_S$ | 5.6 | 6.5 | 7.5 | A | $V_{IN}$=15V |
| オンオフ端子 *4 | Low レベル電圧 | $V_{SSL}$ | | | 0.5 | V | |
| | Low 時流出電流 | $I_{SSL}$ | | 10 | 30 | μA | $V_{IN}$=15V，$V_{SS}$=0V |
| 静止時回路電流１ | | Iq | | 6 | | mA | $V_{IN}$=15V，$I_O$=0A |
| 静止時回路電流２ | | Iq(off) | | 200 | 400 | μA | $V_{IN}$=15V　$V_{SS}$=0V |

## ●２－３　回路図

### ２－３－①　内部等価回路図




### ２－３－②　標準接続図




C1：1500μF

C2：1000μF

C3：0.1μF 程度

(ソフトスタート機能使用時のみ)

C4：4.7μF（RPER11H475K5 (村田製作所製)）

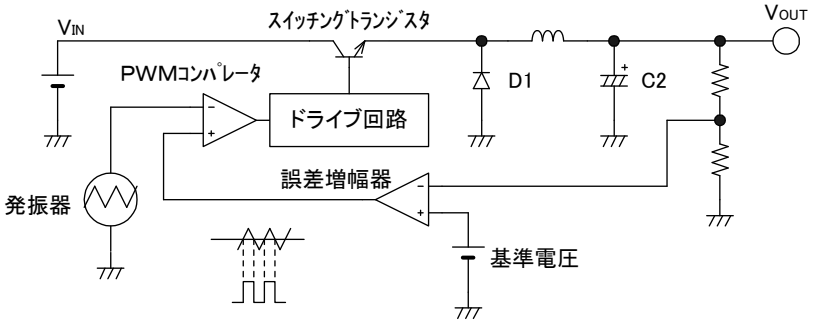
L1：100μH

# ３．SI-8008HFE の動作説明

## ●３－１　ＰWM出力電圧制御

SI-8000HF 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(≒150KHz)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オンになるよう制御しています。

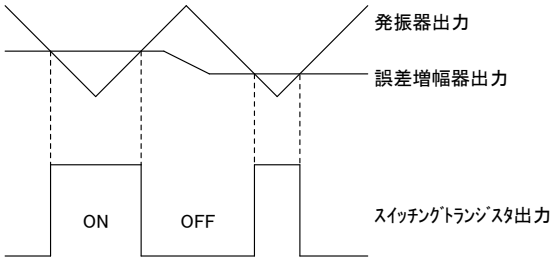
ＰWM制御チョッパ型レギュレータ基本構成




誤差増幅器出力と発振器出力をＰWMコンパレータで比較し、方形波のドライブ信号をさせてスイッチングトランジスタをドライブする。

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します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オン時間を変化させる事により出力電圧を制御しています。
（Vin 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。）

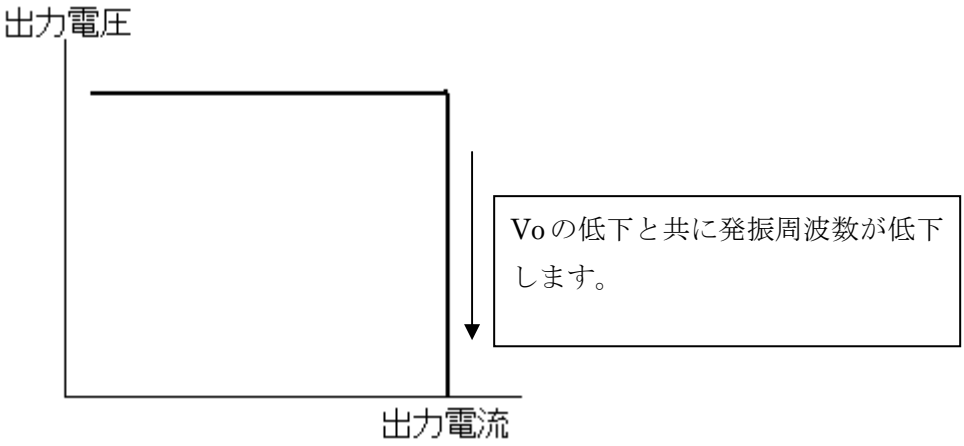
ＰWMコンパレータ動作図




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。

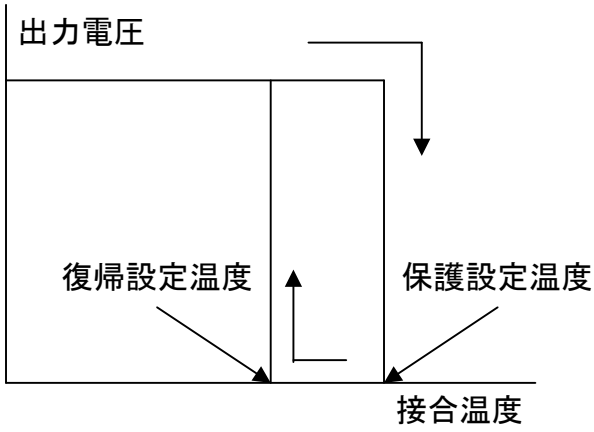
## ●３－２　過電流・過熱保護

過電流時出力電圧特性




SI-8000HF 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。更に出力電圧が低下しますとスイッチング周波数を約 30KHz 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 150℃)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 15℃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、チョッパ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）スイッチ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。

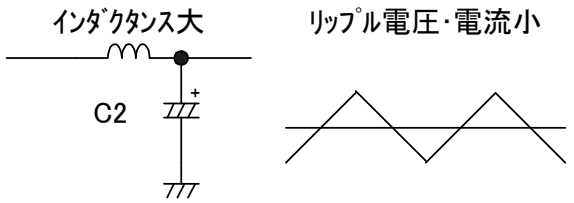
ｂ）インダクタンス値が適正である事

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。出力電圧のリップル電圧が大きくなりすぎますと安定動作しなくなり波形飛びや、ジッターが発生する場合があります。

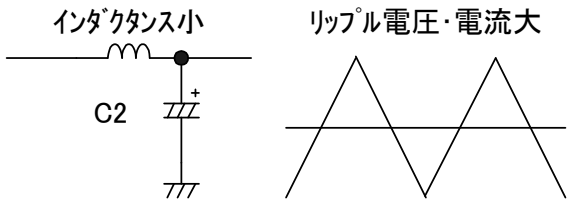
出力電圧のリップル電圧は設定出力電圧に対し目安として 1%以下になる事を推奨しています。

出力電圧のリップル電圧はΔIL と出力コンデンサの ESR（等価直列抵抗）の積で決まりますので出力コンデンサの ESR が大きすぎても問題が発生しますので、出力コンデンサの選定とあわせて考慮する必要があります。

Vout リップル＝ΔIL×出力コンデンサの ESR




ｲﾝﾀﾞｸﾀﾝｽが大きい程、ﾘｯﾌﾟﾙ電流･電圧は小さくなる。但し、ｺｲﾙの外形は大きくなる。




ｲﾝﾀﾞｸﾀﾝｽが小さい程、ﾘｯﾌﾟﾙ電流･電圧は大きくなる。但し、ｺｲﾙの外形は小さくなるが、不安定動作になりやすい。

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。但し Vout リップルの値もあわせて満足する値にする必要がありますので注意ください。

ここで、ΔIL 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インダクタンス下限を設定します。

・使用出力電流が SI-8000H の最大定格(5.5A)に近い場合：出力電流×0.1 倍程度
・使用出力電流が大略 3A 以下の場合：出力電流×0.3～0.4 倍

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

例えば　$V_{IN}$=25V.　$V_{OUT}$=5V.　ΔIL=0.5A.　周波数=150KHz　とすると、

$$L1 = \frac{(25-5)\times 5}{0.5\times 25\times 150\times 10^3} \fallingdotseq 53.3uH$$

となりますので、インダクタンスが約 54uH 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ので、ご注意ください。

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下さい。

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。

## ４－１－②　入力コンデンサＣ１，Ｃ４

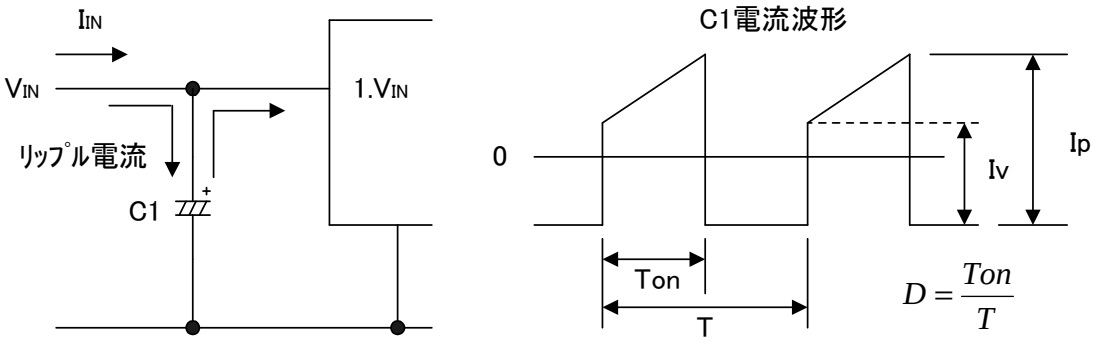
入力コンデンサは、入力回路のバイパスコンデンサとして動作し、スイッチング時の急峻な電流をレギュレータに供給しており、入力側の電圧降下を補償しています。従って極力レギュレータＩＣの近くに取り付ける必要があります。また、AC 整流回路の平滑コンデンサが入力回路にある場合でも、SI-8000HF の近くにレイアウトされていなければ入力コンデンサは平滑コンデンサと兼用とする事が出来ません。

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

C1 の電流の流れ




入力ｺﾝﾃﾞﾝｻのﾘｯﾌﾟ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 Irms は下記の（２）式で求められます。

$$Irms \approx 1.2 \times \frac{Vo}{Vin} \times Io \quad ――（２）$$

例えば　VIN=20V, Io=3A, Vo=5V とすると、

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

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。

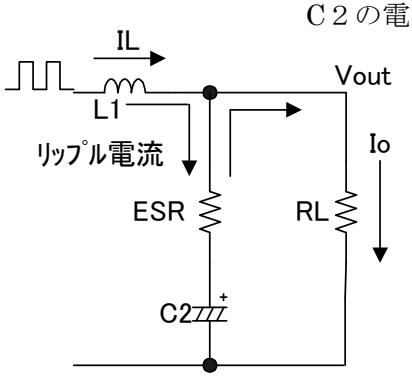
電解コンデンサＣ１とは別に高周波特性の優れたセラミックコンデンサもしくはフイルムコンデンサのＣ４が必要となります。フイルムコンデンサでは 0.47uF を推奨しますが、セラミックコンデンサでは電圧印加で容量低下する傾向がある為、4.7uF を推奨します。

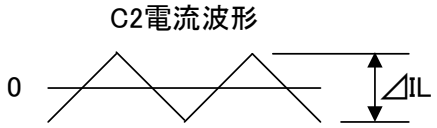
C4 は C1 よりも特に製品の近傍にレイアウトする事が重要です。

## 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。

Ｃ２の電流の流れ




出力ｺﾝﾃﾞﾝｻのﾘｯﾌﾟﾙ電流はﾁｮｰｸｺｲﾙのﾘｯﾌﾟﾙ電流と等しく、負荷電流が増減しても変化しない。

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。

$$Irms = \frac{\Delta IL}{2\sqrt{3}} \qquad ---（3）$$

例えばΔIL を 0.5A としますと、

$$Irms = \frac{0.5}{2\sqrt{3}} \fallingdotseq 0.14A$$

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 Vrip 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。

$$Vrip = \Delta IL \cdot C2ESR \qquad ---（4）$$

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ΔIL=0.5A　Vrip=40mV　としますと、

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

となり、ESR が 80mΩ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すのでコンデンサメーカにご問い合わせ下さい。

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。

### 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。

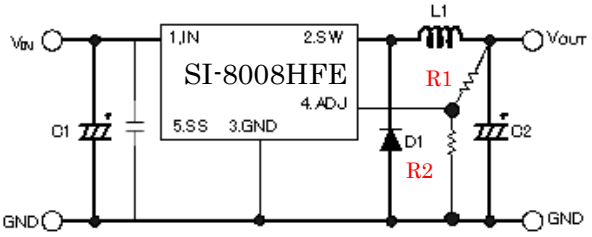
又 SI-8000HF シリーズの SW 端子（2 番端子）から出力された電圧は入力電圧とほぼ同等である為、フライホイールダイオードの逆方向耐圧が入力電圧以上あるものをご使用下さい。

フライホイール Di にはフェライトビーズは入れないでください。

## ●４－２　パターン設計上の注意

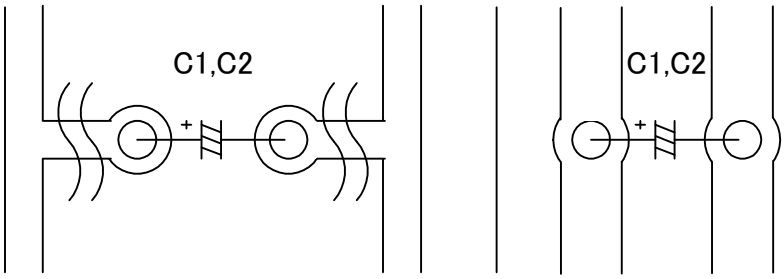
### ４－２－①　大電流ライン

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。




悪いパターン例　　良いパターン例

### ４－２－③　ADJ 端子（出力電圧設定について）

ADJ 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Ｃ２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下さい。

R1 及び R2 を接続する事で出力電圧の設定が可能です。

$I_{ADJ}$ が約１ｍＡになるように設定ください。

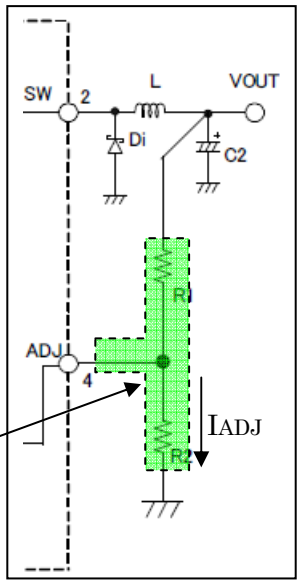
（$I_{ADJ}$ は下限 0.8mA で考え、上限は特に制限はありませんが、消費電流が増える方向なので効率低下になりますので注意ください。

R1、R2、出力電圧は次式で求められます。

$I_{ADJ}=V_{ADJ}/R2$　　$*V_{ADJ}=0.8v\pm2\%$

$R1=(Vo-VADJ)/I_{ADJ}$　　$R2=V_{ADJ}/I_{ADJ}$

$Vout=R1\times(V_{ADJ}/R2)+VADJ$




安定動作する為にスイッチングノイズの影響を受けない様、電圧検出ラインはコンパクトにまとめたレイアウト設計が重要です。

・Vo=0.8V に設定する際も、安定動作の為 R2 は接続ください。
・出力電圧は入力電圧に対して８％以上になる様に設定する事を推奨します。

● 出力電圧設定抵抗 R1,R2 を既存の 1%及び 0.5%精度の抵抗定数にて出力電圧設定した場合の定数、ﾊﾞﾗﾂｷ範囲を以下の表に示します。

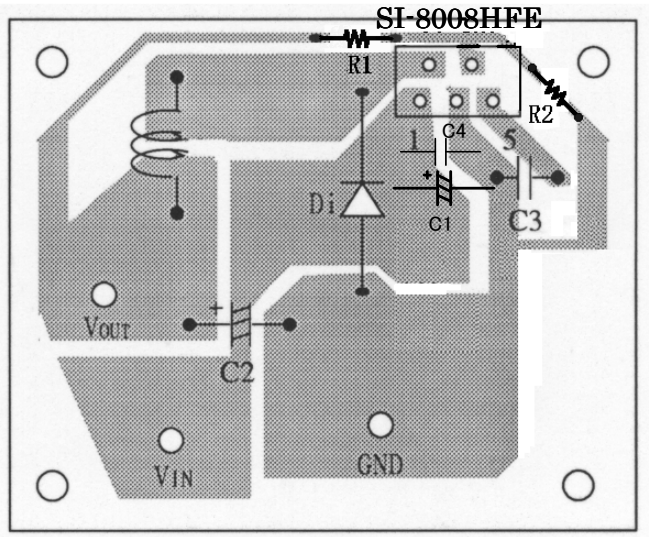
## SI-8008HFE　R1,R2Vo設定定数表

| 目標Vout(V) | 1%精度抵抗定数での構成 | | | 0.5%精度抵抗定数での構成 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | R1（Ω） | R2(Ω) | 計算精度(%) | R1（Ω） | R2(Ω) | 計算精度(%) |
| 1.2 | 402 | 806 | +2.61<br>−2.73 | 402 | 806 | +2.26<br>−2.41 |
| 1.8 | 1000 | 806 | +2.72<br>−3.48 | 1010 | 806 | +2.72<br>−2.41 |
| 2.5 | 1690 | 787 | +4.15<br>−2.64 | 1690 | 796 | +2.64<br>−2.73 |
| 3.3 | 2490 | 806 | +2.67<br>−4.31 | 2490 | 796 | +2.86<br>−2.67 |
| 5 | 4220 | 806 | +3.50<br>−3.85 | 4170 | 796 | +2.68<br>−3.00 |
| 9 | 8250 | 806 | +3.75<br>−3.89 | 8160 | 796 | +2.95<br>−2.88 |
| 12 | 11000 | 787 | +3.77<br>−3.96 | 11100 | 796 | +2.58<br>−3.27 |
| 24 | 23200 | 806 | +3.25<br>−4.57 | 23400 | 806 | +3.11<br>−2.84 |

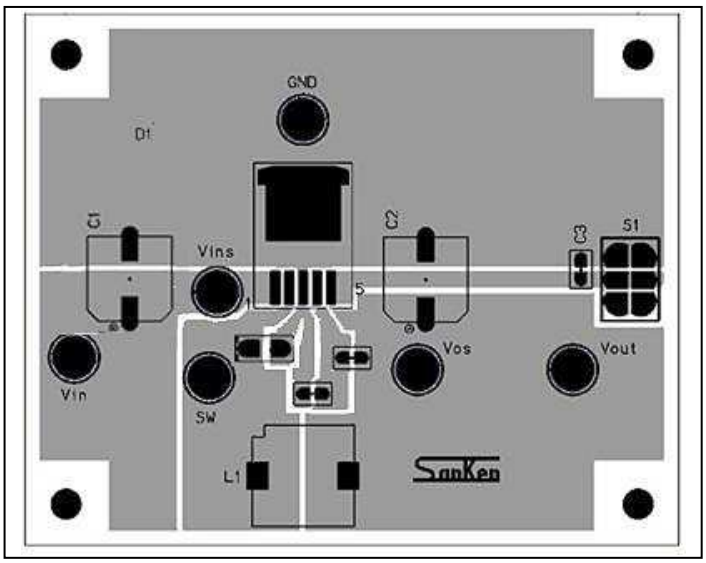
● ADJ 端子及びR1,R2 の配線はフライホイールDi と並走する配線はしないでください。
スイッチングノイズが検出電圧に干渉し異常発振する場合があります。
特に ADJ 端子から R2 の配線は短く設計する事を推奨します。

● 実装基板パタン例

挿入部品タイプ（SI-8008HFE）　　面実装タイプ（SI-8008HD）



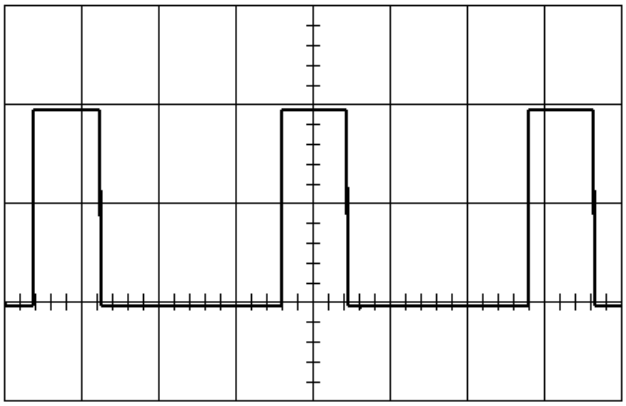

(top view ・シルク印刷面)
(top view・ silk printing side)



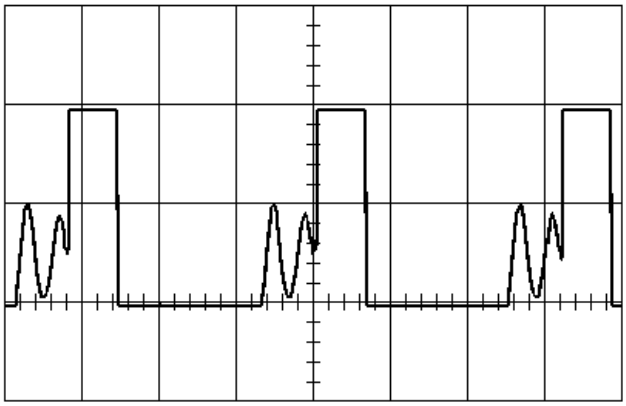
## ●４－３　動作波形の確認

スイッチング動作が正常であるかどうかはSI-8000Hの２－３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。

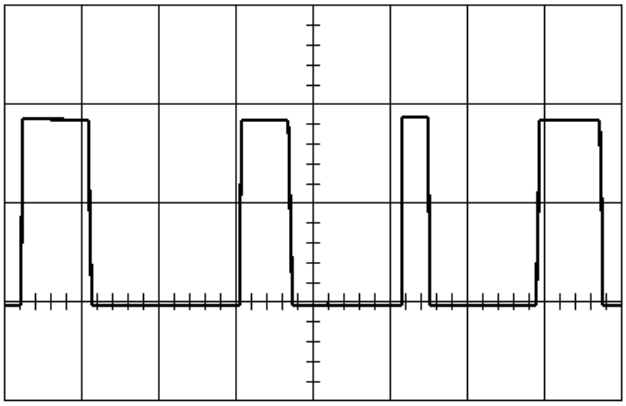
１．正常動作（連続領域）



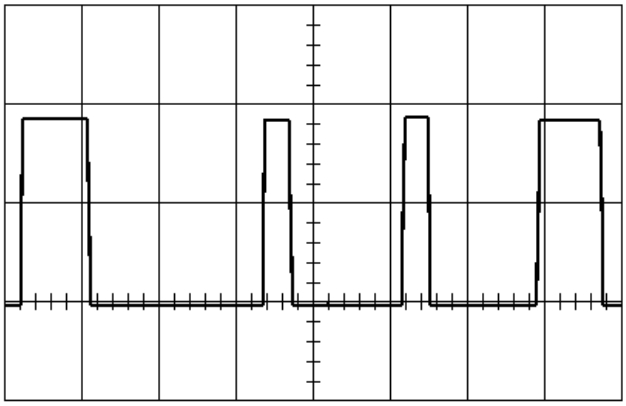
２．正常動作（不連続領域）



３．C1、C4 が離れている場合



４．Ｃ２が離れている場合



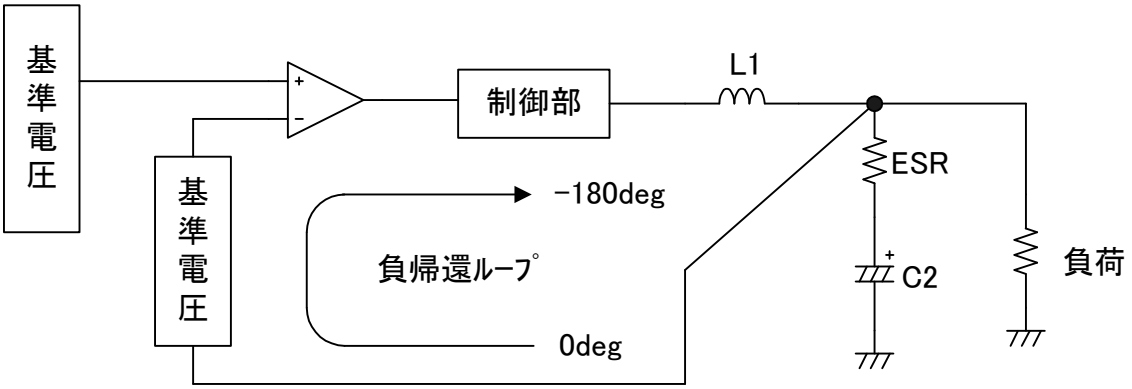
連続領域は、チョークコイルを流れる電流に、三角波に直流成分が重畳している領域であり、不連続領域はチョークコイル電流が少ない為、チョークコイルを流れる電流が断続的になる（ゼロになる期間が発生する）領域です。従って負荷電流が多い場合は連続領域に、少ない場合は不連続領域になります。連続領域ではスイッチング波形は通常の方形波の形状となり（波形１）、不連続領域ではスイッチング波形に減衰振動が発生しますが（波形２）、これは正常な動作であり問題はありません。

ところが IC と C1、C4、または 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,C4 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

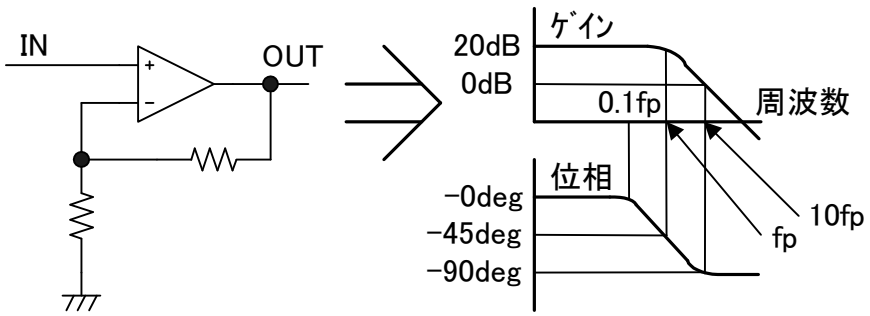
ＰWM制御チョッパ型レギュレータの回路ブロック図を下図に示します。これよりＰWM制御チョッパ型レギュレータは、あらかじめ設定された基準電圧と、出力電圧を常時比較して出力電圧を制御する**負帰還増幅器である事が解ります**。従って出力電圧の変動を誤差増幅器で検出して出力を制御する為の負帰還ループを有しています。




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。

一段差動アンプ　　ボード線図例




ここでボード線図上において

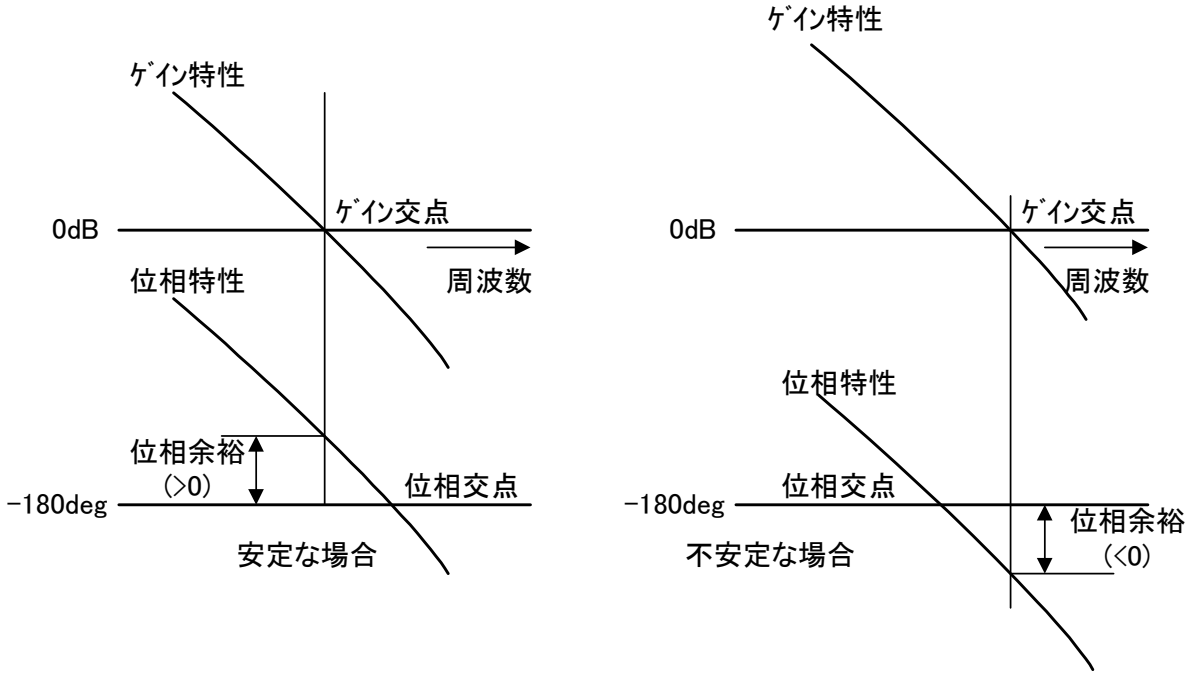
ゲインが１（０ｄＢ）になる周波数：ゲイン交点
帰還ループの位相が－180deg になる周波数　：位相交点

と呼びます。ゲイン交点の周波数において位相が－180deg 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－(－180deg)＝ゲイン交点における位相＋180deg

を**位相が－180deg 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。

ボード線図における安定判別




## ４－４－②　レギュレータＩＣ内部の位相特性

チョッパ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とがあります。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

チョッパ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

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

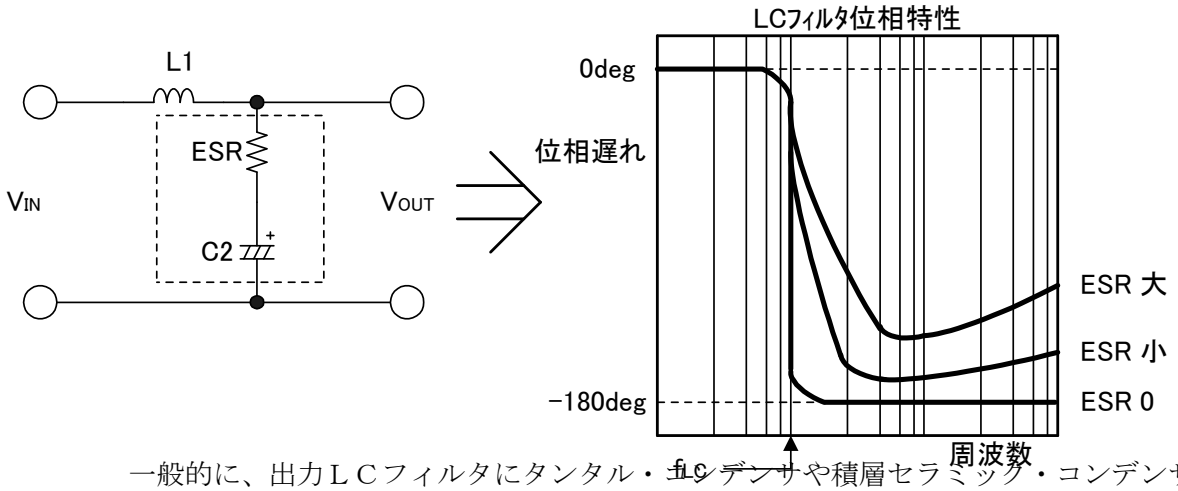
位相特性は

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。



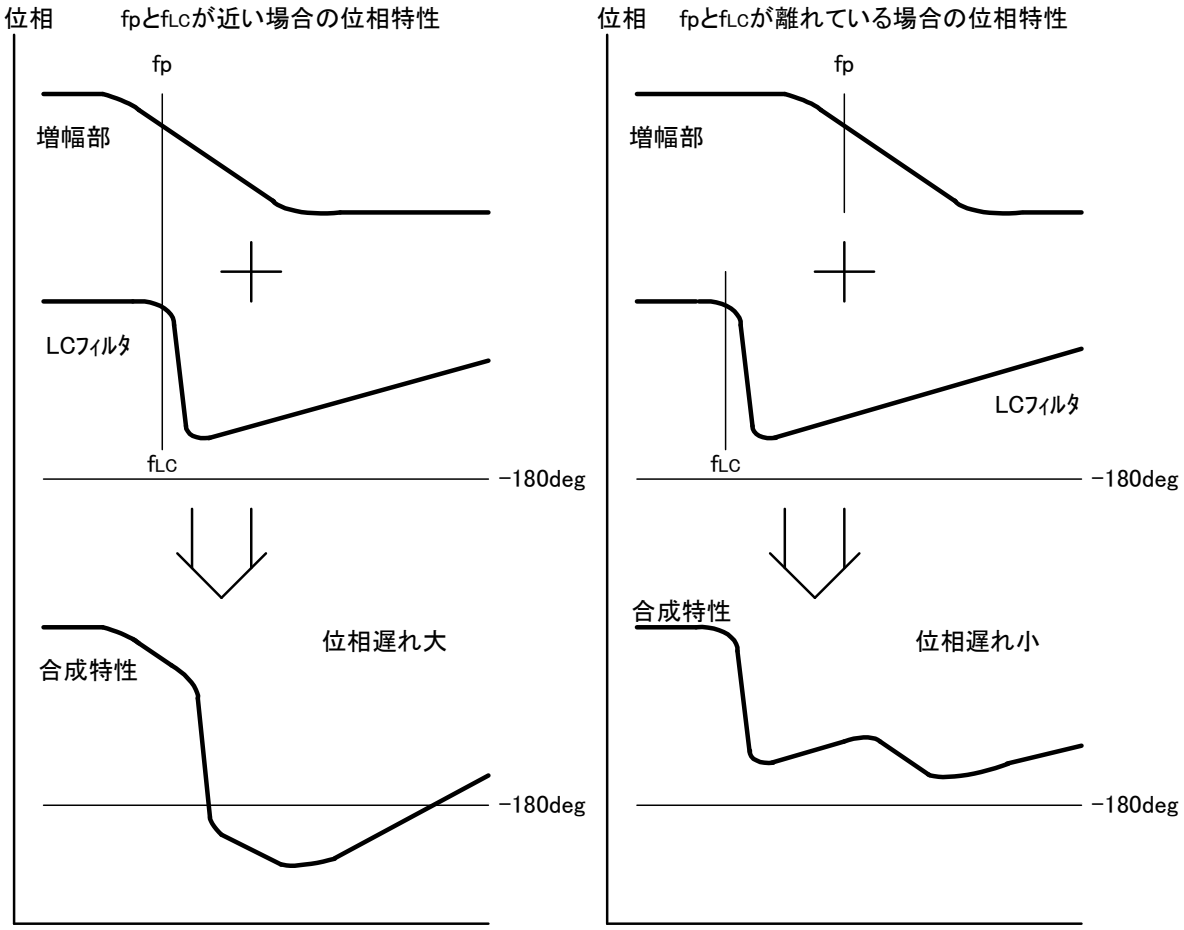

一般的に、出力ＬＣフィルタにタンタル・コンデンサや積層セラミック・コンデンサのような ESR の非常に小さいコンデンサを用いますと、フィルタ部分の位相遅れが大きくなります。よって位相余裕確保の面からは、出力フィルタには電解コンデンサの使用が適当です。

## 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います。**そこで両者の特性の関連が重要になります。

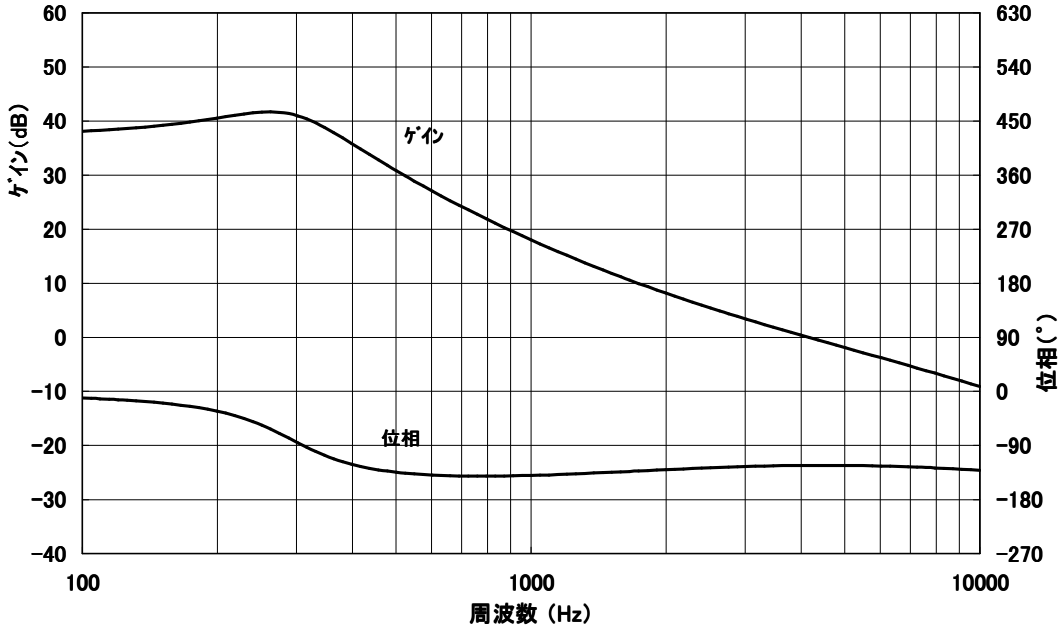
誤差増幅器のゲイン低下開始周波数すなわち第１ポール周波数 fp と、ＬＣフィルタの共振周波数 $f_{LC}$ が接近していると、両者の位相遅れが集中するためレギュレータの位相余裕が少なくなってしまいます。そこで fp と $f_{LC}$ の適切な分布が重要になります。通常、誤差増幅器の位相遅れは、第１ポール周波数 fp の 0.1 倍の周波数から始まりま

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 fp の 0.1 倍未満としておかなくてはなりません。




一般的にチョッパ型レギュレータ 周波数 fp 周波数は、数～十数 KHz 以上に設定さ周波数います。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。

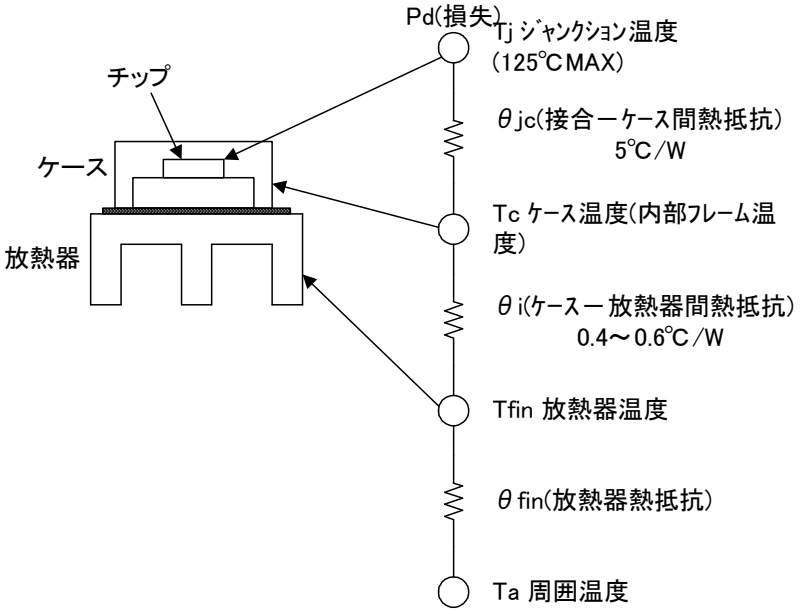
**チョッパーReg ゲイン、位相特性例**



## ●４－５ａ　熱設計（挿入部品 SI-8008HFE）

### ４－５ａ－①　放熱の計算

レギュレータの損失Ｐｄと、接合部温度Ｔｊ、ケース温度Ｔｃ、放熱器温度Ｔｆｉｎ、周囲温度Ｔａは、以下の関係にあります。




$$Pd = \frac{Tj - Tc}{\theta jc} \quad ---（６）$$

$$Pd = \frac{Tj - Tfin}{\theta jc + \theta i} \quad ---（７）$$

$$Pd = \frac{Tj - Ta}{\theta jc + \theta i + \theta fin} \quad ---（８）$$

ＴｊＭＡＸ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、ＰｄＭＡＸ，ＴａＭＡＸに応じた放熱器設計（θｆｉｎ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ＴａＭＡＸを求める。

２）入出力条件を変化させ最大損失ＰｄＭＡＸを求める

$$Pd = VOUT \cdot Io\left(\frac{100}{\eta x} - 1\right) - Vf \cdot Io\left(1 - \frac{VOUT}{VIN}\right) \quad ---（９）$$

※　ηx=効率（%），Vf=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、

$$\theta i + \theta fin = \frac{Tj - Ta}{Pd} - \theta jc \quad ---（１０）$$

で求められます。例として、以下に SI-8008HFE を VIN=15V,Vo=5v,Io=4A,Ta=85℃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η=80%、Vf=0.5V として、

$$Pd = 5 \times 4 \times \left(\frac{100}{80} - 1\right) - 0.5 \times 4 \times \left(1 - \frac{5}{15}\right) \fallingdotseq 3.67W$$

$$\theta i + \theta fin = \frac{125 - 85}{2.75} - 5 \fallingdotseq 5.9^{\circ} C/W$$

よって熱抵抗が 5.9°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。

SI-8008HFE の最大定格 Tjmax は 150℃ですが過熱保護回路が 130℃以上で動作する場合がある為、Tjmax＜125℃での熱設計を推奨しております。

## ４－５－②　放熱器への取り付け

シリコングリスの選択

SI-8000HFE 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θｉ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

Ｇ７４６　　信越化学工業（株）

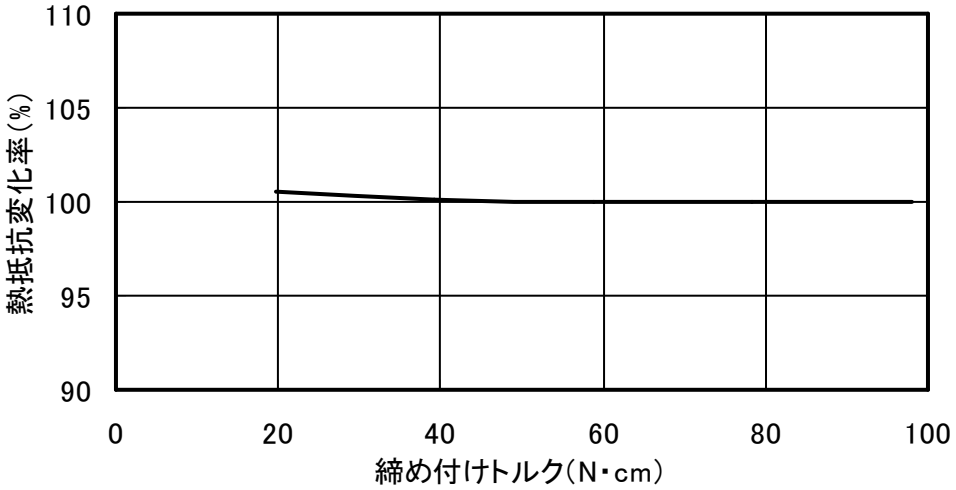
ＳＣ１０２　　トーレシリコーン（株）

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θｉが上昇してしまいます。

SI-8008HFE 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

## ●４－５ｂ　熱設計（面実装部品 SI-8008HD）

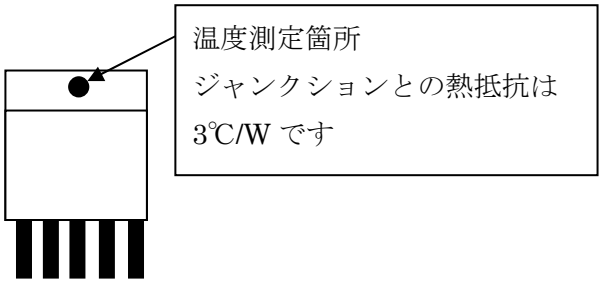
### ４－５ｂ－①　放熱の計算

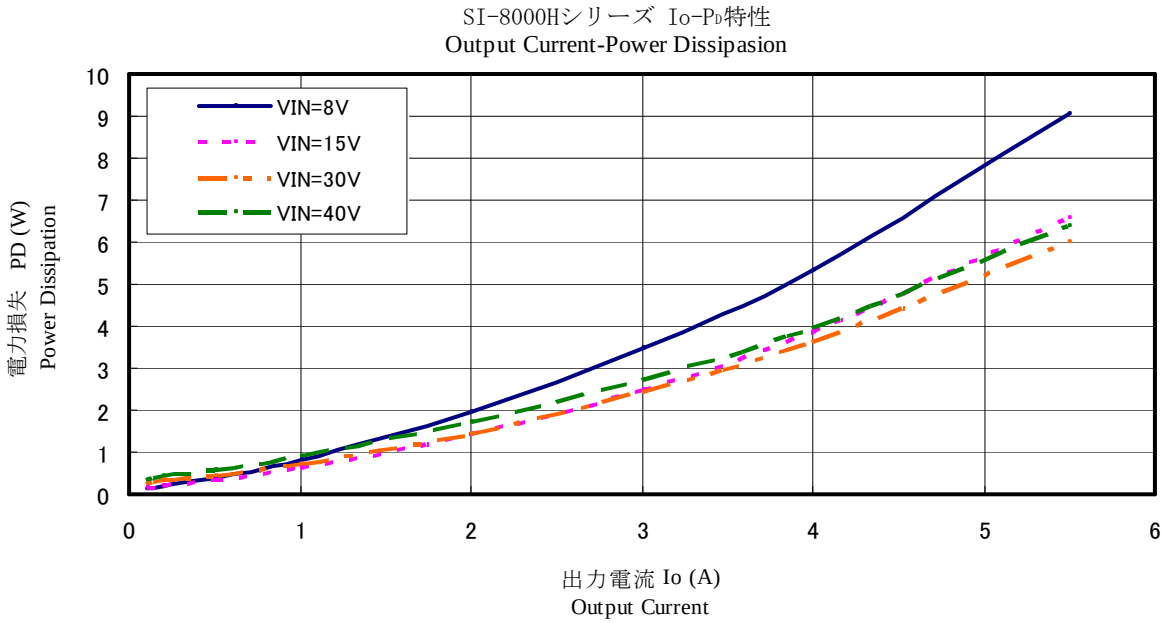
面実装タイプの SI-8008HD の場合、ジャンクション温度を Tjmax 以下に熱設計する点では前述の挿入部品と同じですが、面実装の場合、実装基板に残された銅箔へ放熱する事になりますので、銅箔面積や基板の素材、銅箔層数などに大きく左右されます。

SI-8008HD の裏面ステム部分は 3 番ﾋﾟﾝ（GND）とインナーフレームでつながっており、裏面ステム部分に直接つながっている GND パタンを大きく取る事で放熱性が向上します。

ジャンクション温度を確認する場合は、図に示すステム部分の温度を測定し以下の式で算出する事で確認ができます。

Tj＝Tc＋Pd×3℃/W　　＊Tc：実測ステム温度




SI-8000H ｼﾘｰｽﾞの Io－Pd 参考ﾃﾞｰﾀを上記に示します。

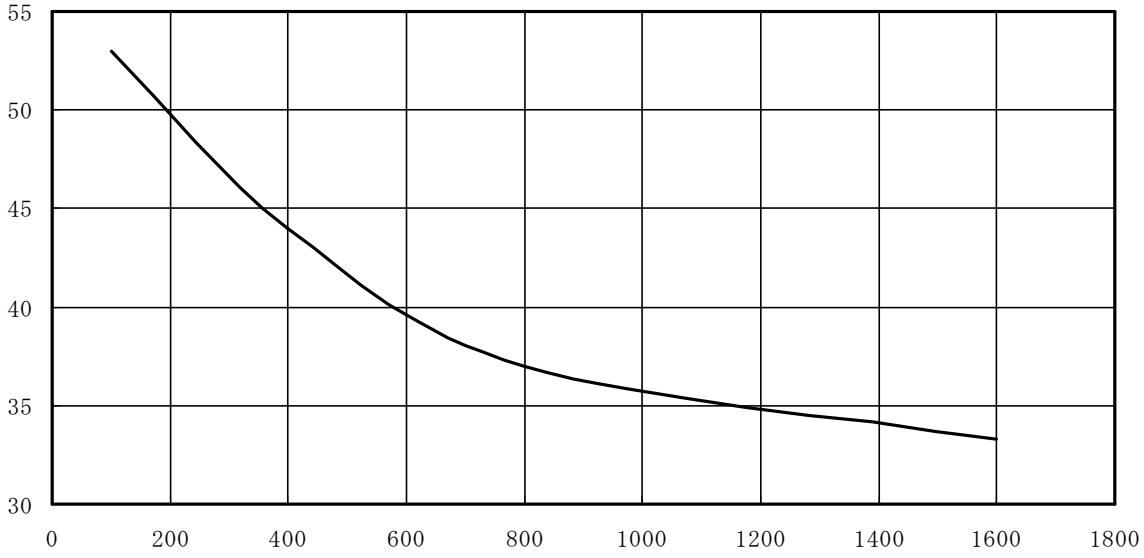
SI-8008HD は面実装ﾊﾟｯｹｰｼﾞの為、プリント基板 Cu 箔への放熱になります。

この為、ご使用にあたっては放熱上 5.5A をフルにご使用いただくことは困難と考えます。定常時は２～3A 程度で、5.5A 消費は瞬時のようなケースでの使用が前提になると思われます。

片面ガラスエポキシ基板 FR4 で銅箔面積を変更した場合の参考熱抵抗ﾃﾞｰﾀを次ページに示します。

ガラスエポキシ基板上銅箔面積 vs 接合部―周囲温度間熱抵抗（代表値）

Copper area vs Junction to air (Typical)



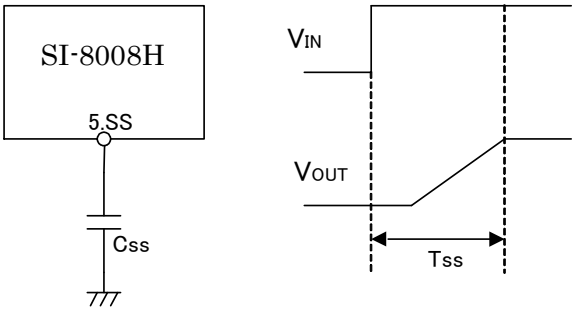
# ５．応用

## ●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。Vout は Css の充電電圧に相関し立ち上がります。よって Css 充電の時定数計算で概略求まります。

コンデンサＣss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ｔｓｓは以下の式で概略求まります。

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。

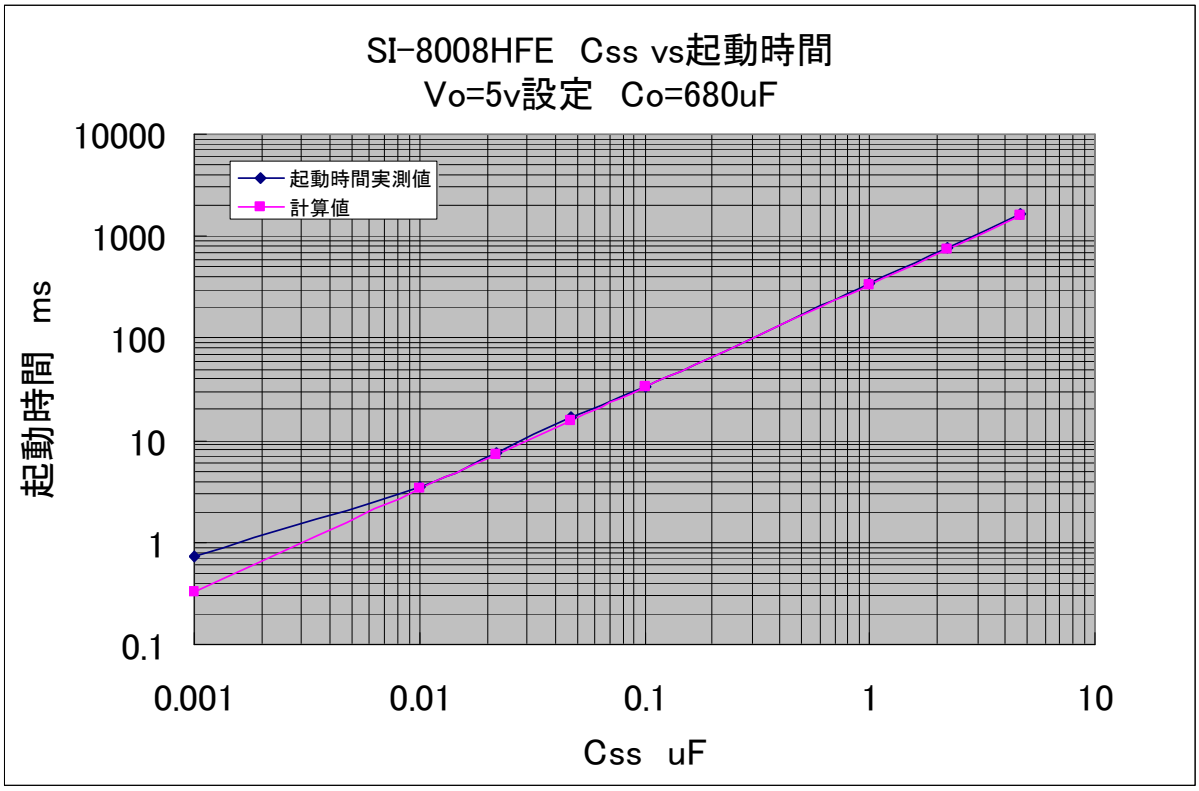



ｔss＝（Css×VssA）／IssL　　(sec)

SS 端子は IC 内部電源にプルアップ(3.6vTYP)されていますので、外部からの電圧印加は出来ません。

Ｃss を大きくしますと VinOFF 後のＣss ディスチャージも時間がかかるようになります。Ｃss は 10uF 以下の値で使用される事をお奨めします。

Vin 低下時に Css の電荷は Vin 端子より放電されます。



Cssによる起動時間計算値と実測値の参考ﾃﾞｰﾀを上記に示します。

Css がない場合や極端に小さい場合、過電流保護 Is で制限した出力電流で出力ｺﾝﾃﾞﾝｻを充電する時定数で立ち上がります。

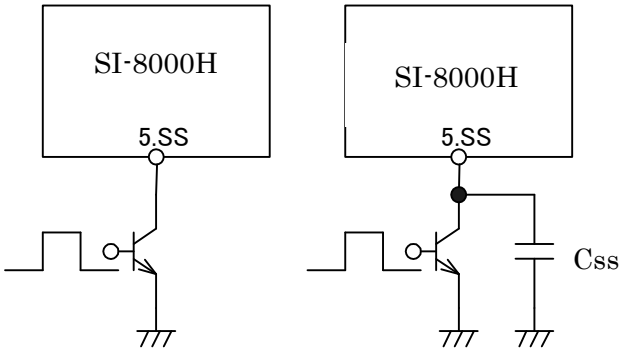
上記起動時間のグラフの Css=0.001uF では Css による時定数より過電流保護で制限した出力電流で出力ｺﾝﾃﾞﾝｻを充電する時定数の方が支配的になっています。

出力ｺﾝﾃﾞﾝｻ起動での時定数　ｔ＝（Co×Vo）／Is　・・・・・・・(無負荷時)

＊負荷がある状態では Is 値より負荷電流分が減算されます。

## ●５－２　出力の ON・OFF 制御

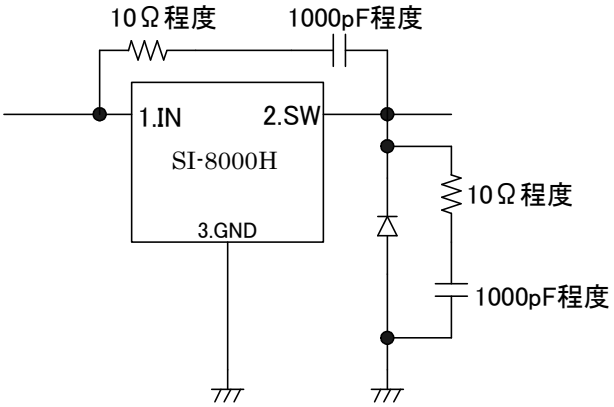
５番・SS 端子を用いて、出力 ON・OFF 制御が可能です。オープンコレクタ等のスイッチにより、５番端子を VssL(0.5v)以下にすると出力は停止します。又ソフトスタートとの併用も可能です。ソフトスタート端子はＩＣ内部でプルアップ(3.7vTYP)済みですので外部からは電圧を印加しないで下さい。

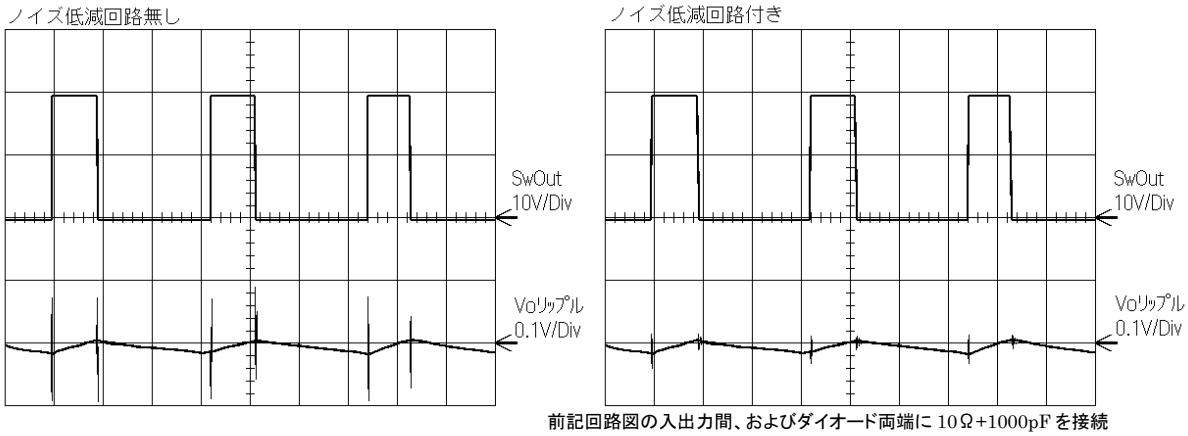



ON/OFF　　SS+ON/OFF

## ●５－３　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-8000H 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。

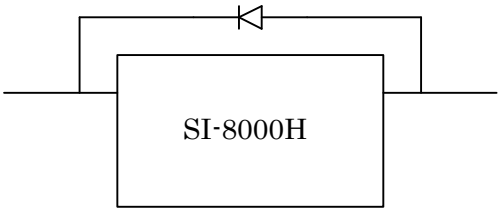





※オシロスコープにてスパイクノイズを観測される際には、プローブの GND リード線が長いとリード線がアンテナの作用をしてスパイクノイズが異常に大きく観測されることがあります。スパイクノイズの観測に当たってはプローブのリード線を最短にして出力コンデンサの根本に接続して下さい。

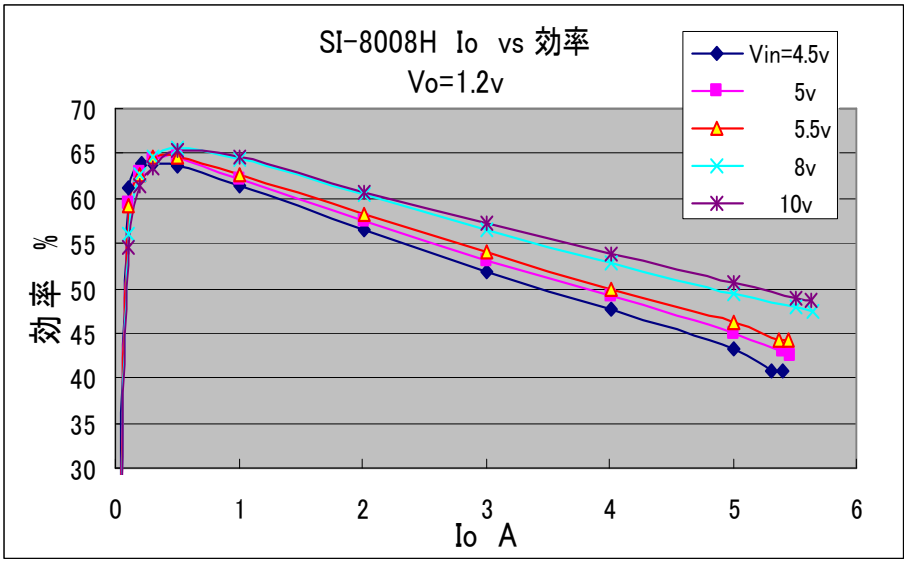
## ●５－５　逆バイアス保護

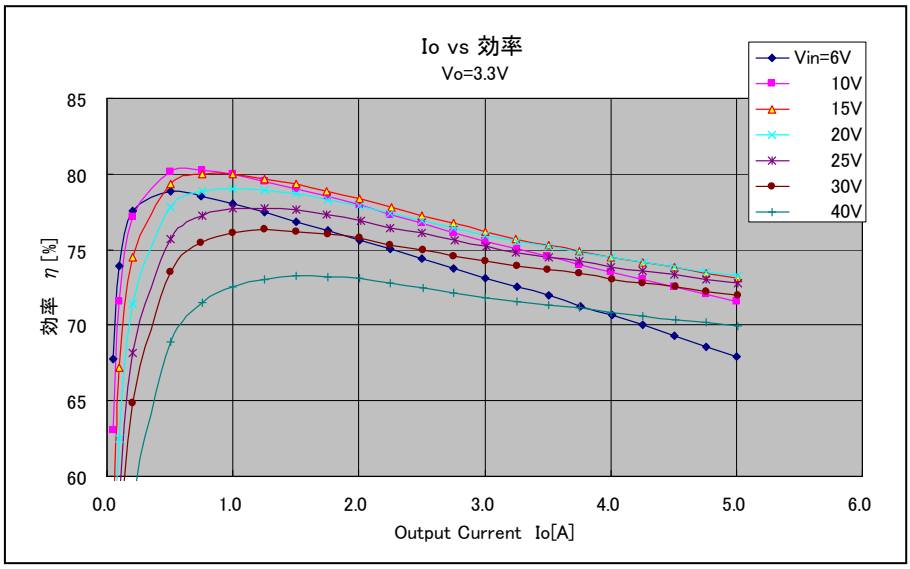
バッテリーチャージ等、入力端子より出力の電圧が高くなるような場合には、入出力間に逆バイアス保護用のダイオードが必要となります。

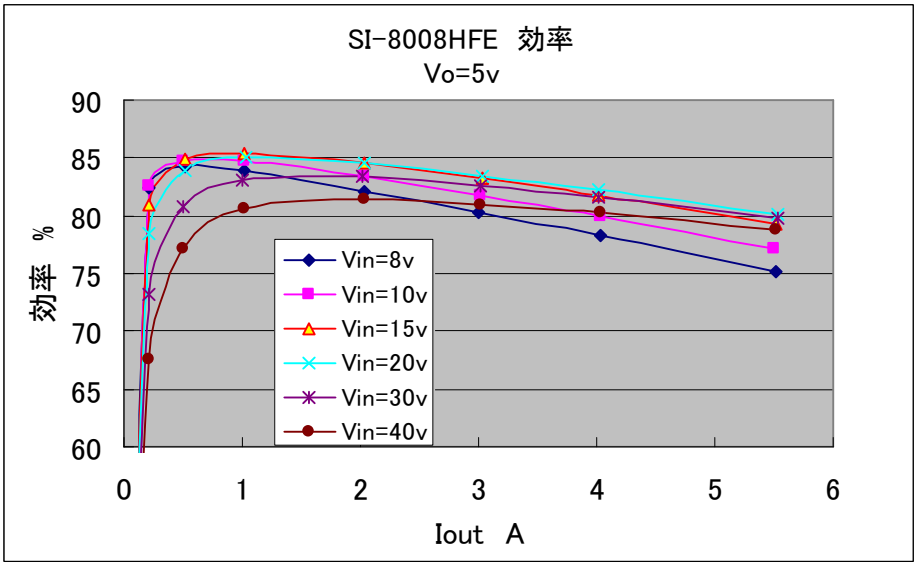


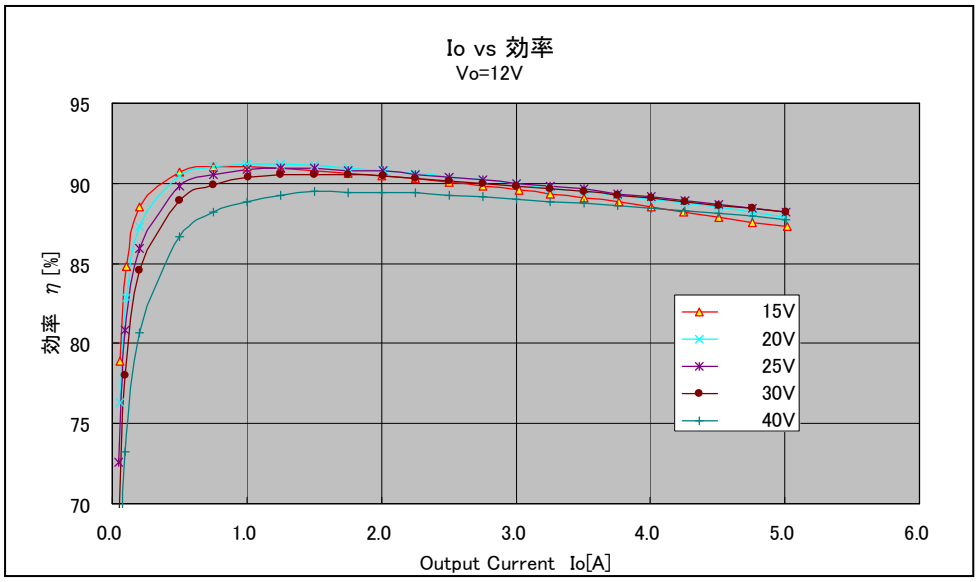
# ６．代表特性例

(1)効率

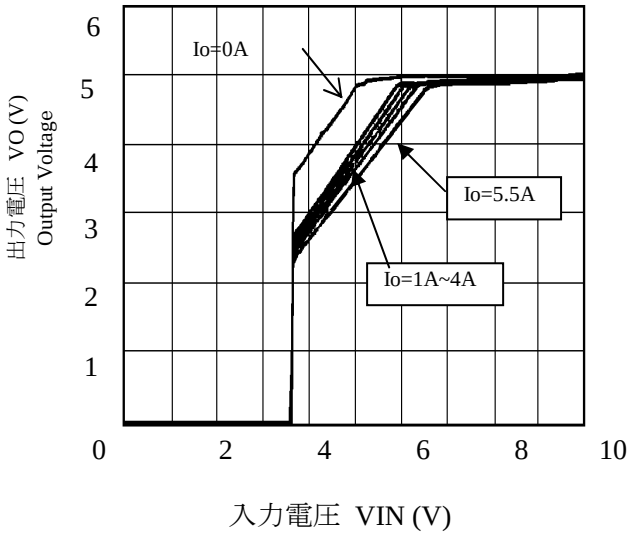

SI-8008H Io vs 効率
Vo=1.2v
Vin=4.5v
5v
5.5v
8v
10v
効率 %
70
65
60
55
50
45
40
35
30
0
1
2
3
4
5
6
Io A


Io vs 効率
Vo=3.3V
Vin=6V
10V
15V
20V
25V
30V
40V
効率 η[%]
85
80
75
70
65
60
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
Output Current Io[A]

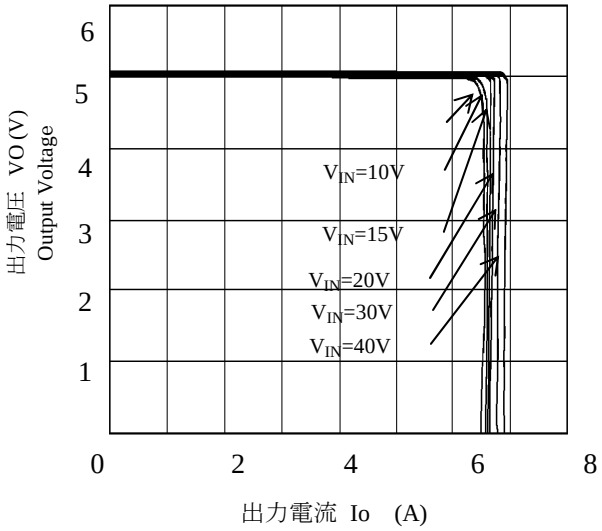

SI-8008HFE 効率
Vo=5v
Vin=8v
Vin=10v
Vin=15v
Vin=20v
Vin=30v
Vin=40v
効率 %
90
85
80
75
70
65
60
0
1
2
3
4
5
6
Iout A



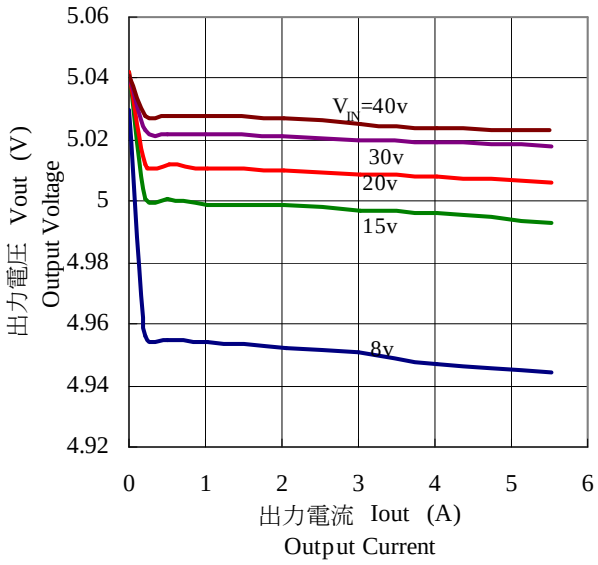

（2）立ち上がり特性



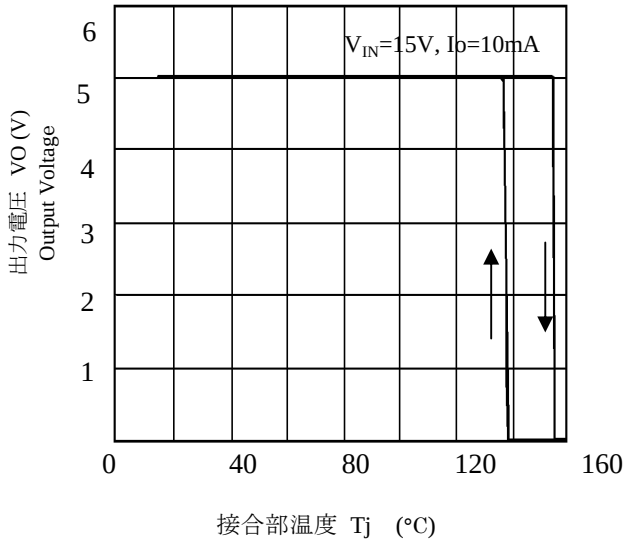

（4）過電流保護特性




（3）ロードレギュレーション




（5）過熱保護特性



# ７．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、出力のリッ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、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。