

LM2655

LM2655 2.5A High Efficiency Synchronous Switching Regulator



Literature Number: JAJ697

LM2655

2.5A 高効率同期整流型スイッチング・レギュレータ

概要

LM2655 は、電流モードで制御されるパルス幅変調 (PWM) のステップダウン・スイッチング・レギュレータです。このデバイスは、同期動作と非同期動作のどちらにも対応している特長を持っています。これによって設計者の自由度が広がり、高効率の同期動作か、低価格の非同期動作を選択できるようになりました。このような柔軟性に加えて、LM2655 は小型の TSSOP-16 パッケージで供給されるので、高い電力密度を実現します。

また、90%以上の高い変換効率は、低オン抵抗 (33m Ω) の内部 MOSFET と、外部の N-チャネル MOSFET により得られます。そのため、小さな待機時電流ともあわせ、LM2655 は小型機器アプリケーションに最適です。

LM2655 に集積化された機能には、非同期動作で使用されるすべてのパワー回路、制御回路、ドライブ機能があります。加えて、ローサイド MOSFET 用のドライブ出力が同期動作の構成を容易にします。このデバイスは、特許取得済みの電流センス回路を採用しており、他の電流モード DC-DC コンバータでは必要となる外付けの電流センス抵抗を必要としません。また、プログラム可能なソフト・スタート機能により、起動時の突入電流が制限され、多出力電源でのシーケンス制御が可能となります。

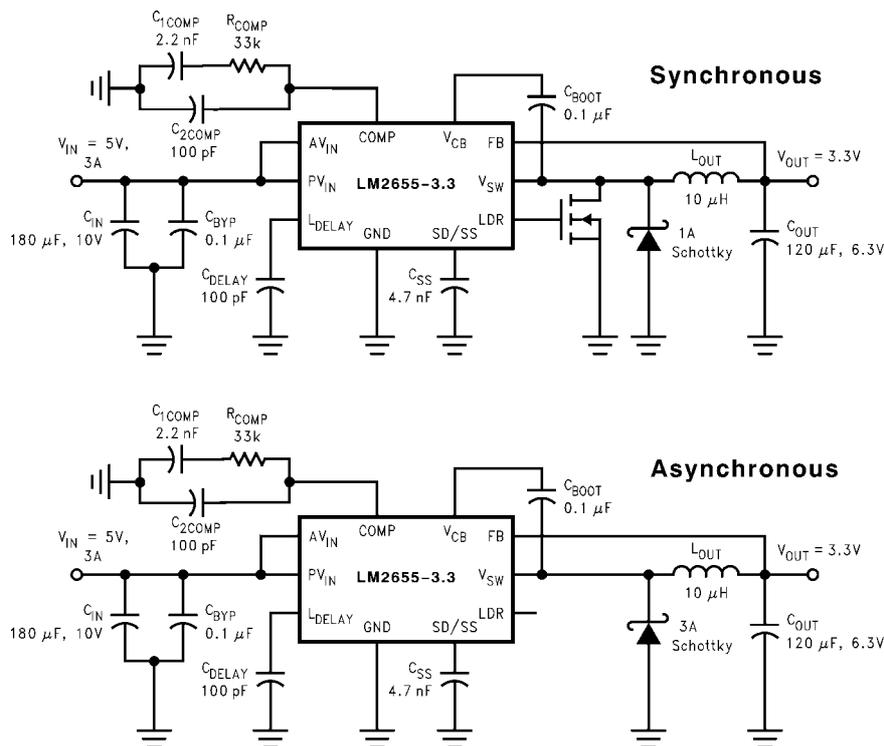
特長

- 96%の超高効率
- 4V ~ 14V の入力電圧範囲
- 低い $R_{DS(ON)}$ (0.033 Ω) の内部ハイサイド MOSFET
- 300kHz 固定周波数発振器内蔵
- 同期動作用ローサイド・ドライブ
- 12 μ A 以下のシャットダウン電流を保証
- 電流モード制御用電流検出特許機能
- プログラム可能なソフトスタート
- 入力アンダーボルテージ・ロックアウト
- 出力オーバーボルテージ・シャットダウン保護
- 出力アンダーボルテージ・シャットダウン保護
- サーマル・シャットダウン
- 16ピン TSSOP パッケージ

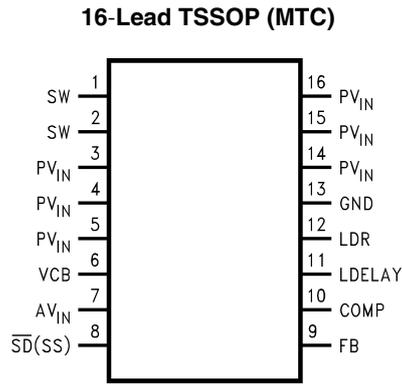
アプリケーション

- ハード・ディスク・ドライブ
- インターネット・アプライアンス
- TFT モニタ
- コンピュータ周辺機器
- バッテリー給電型機器

代表的なアプリケーション

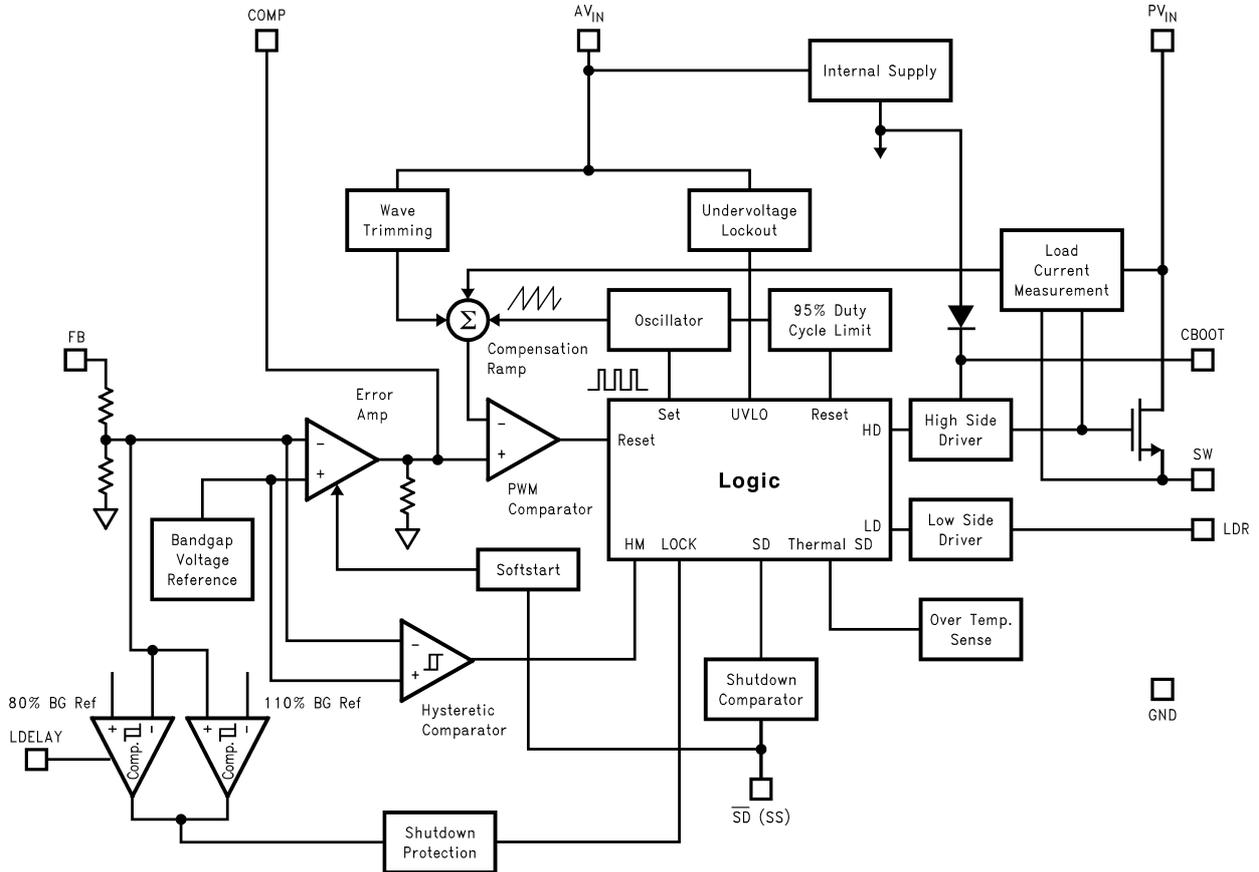


ピン配置図



Top View
Order Number LM2655MTC-ADJ
See NS Package Number MTC16

ブロック図



端子説明

端子番号	名称	機能
1,2	SW	内部ハイサイド MOSFET のソースに接続されているスイッチ・ノード。
3-5	PV _{IN}	メイン電源ピン。内部ハイサイド MOSFET のドレインに接続されています。
6	V _{CB}	ハイサイド・ゲート・ドライバ用ブートストラップ・コンデンサを接続するピン。
7	AV _{IN}	制御およびドライバ回路用入力電圧。
8	\overline{SD} (SS)	シャットダウンおよびソフトスタート制御ピン。このピンを 0.3V 以下にプルするとレギュレータがオフになります。このピンとグラウンド間に接続されるコンデンサによってソフト・スタートを行っています。このソフト・スタート機能により、入力電流を制御できます。このピンを外部ソースによってドライブさせないでください。誤動作の原因になります。
9	FB	出力電圧のフィードバック入力 (外付けの抵抗分圧器の中央に接続する)。
10	COMP	位相補償回路網の接続ピン。内部でエラー・アンプの出力に接続されています。
11	L _{DELAY}	このピンとグラウンドの間に接続したコンデンサにより、出力電圧がその公称値の 80% に達した時点から、アンダーボルテージ・ラッチ保護機能がイネーブルになるまでの遅延時間が決まります。
12	LDR	ローサイド FET ゲート・ドライブ・ピン。
13	GND	電源グラウンド。
14-16	PV _{IN}	メイン電源ピン。内部ハイサイド MOSFET のドレインに接続されています。

製品情報

Supplied as 1000 units Tape and Reel	Supplied as 3000 units, Tape and Reel
LM2655MTC-3.3	LM2655MTCX-3.3
LM2655MTC-ADJ	LM2655MTCX-ADJ

絶対最大定格 (Note 1)

本データシートには軍用・航空宇宙用の規格は記載されていません。
関連する電気的信頼性試験方法の規格を参照ください。

16ピン TSSOP パッケージ JA

140 /W

電源電圧 (PV _{IN})	3.8V	V _{IN}	14V
電源電圧 (AV _{IN})	4.0V	V _{IN}	14V
フィードバック・ピン電圧	- 0.4V	V _{FB}	5V
V _{CB} 電圧 (Note 7)			7V
C _{SS} 電圧			2.5V
Comp 電圧			2.5V
L _{DELAY} 電圧			2.5V
LDR 電圧			5V
V _{SW} (Note 8)			14V
消費電力 (T _A = 25) (Note 2)			

消費電力	893mW
リード温度	
ペーパ・フェーズ (60 秒)	215
赤外線 (15 秒)	220
ESD 耐圧 (Note 3)	
人体モデル (Note 4)	1kV
マシン・モデル	200V
動作定格 (Note 1)	
保存温度範囲	- 65 T _J + 150
接合部温度範囲	- 40 T _J + 125

LM2655-3.3 電気的特性

標準書体の規格は T_J = 25 に対して適用され、太字の規格は接合部の全動作温度範囲で適用されます。特記のない限り、以下の規格は、V_{IN} = 10V の場合に適用されます。

Symbol	Parameter	Conditions	Typical (Note 5)	Limit (Note 6)	Units
V _{OUT}	Output Voltage	I _{LOAD} = 1.5 A	3.3	3.235/ 3.185 3.392/ 3.416	V V(min) V(max)
V _{OUT}	Output Voltage Line Regulation	V _{IN} = 5V to 14V I _{LOAD} = 1.5 A	0.5	0.7	% %(max)
	Output Voltage Load Regulation	I _{LOAD} = 100 mA to 2.5A V _{IN} = 10V	0.6	1.7	% %(max)
V _{INUV}	V _{IN} Undervoltage Lockout Threshold Voltage	Rising Edge	3.8	3.95	V V(max)
V _{UV_HYST}	Hysteresis for the Input Undervoltage Lockout		210		mV
I _{CL} (Note 9)	Average Output Current Limit	V _{IN} = 5V V _{OUT} = 3.3V	3.3		

LM2655-ADJ 電気的特性

標準書体の規格は T_J = 25 に対して適用され、太字の規格は接合部の全動作温度範囲で適用されます。特記のない限り、以下の規格は、V_{IN} = 10V の場合に適用されます。

Symbol	Parameter	Conditions	Typical (Note 5)	Limit (Note 6)	Units
V _{FB}	Feedback Voltage	I _{LOAD} = 1.5 A	1.238	1.208/ 1.181 1.260/ 1.267	V V(min) V(max)
V _{OUT}	Output Voltage Line Regulation	V _{IN} = 5V to 14V I _{LOAD} = 1.5 A	0.5	0.7	% %(max)
	Output Voltage Load Regulation	I _{LOAD} = 100 mA to 2.5A V _{IN} = 10V	0.6	1.7	% %(max)
V _{INUV}	V _{IN} Undervoltage Lockout Threshold Voltage	Rising Edge	3.8	3.95	V V(max)
V _{UV_HYST}	Hysteresis for the Input Undervoltage Lockout		210		mV
I _{CL} (Note 9)	Average Output Current Limit	V _{IN} = 5V V _{OUT} = 3.3V	3.3		A

全出力電圧バージョン電気的特性

標準書体の規格は $T_J = 25$ に対して適用され、太字の規格は接合部の全動作温度範囲で適用されます。特記のない限り、以下の規格は、 $V_{IN} = 10V$ の場合に適用されます。

Symbol	Parameter	Conditions	Typical (Note 6)	Limit (Note 5)	Units
I_Q	Quiescent Current	Shutdown Pin Floating (Device On) Device Not Switching	1.7	3	mA mA(max)
I_{QSD}	Quiescent Current in Shutdown Mode	Shutdown Pin Pulled Low	7	12/20	μA $\mu A(max)$
$R_{DS(ON)}$	Switch ON Resistance	$I_{SWITCH} = 1.5A$	33	80	$m\Omega$ $m\Omega(max)$
$R_{SW(ON)}$	Switch On Resistance (MOSFET ON Resistance + Bonding Wire Resistance)	$I_{SWITCH} = 1.5A$	72		$m\Omega$
I_L	Switch Leakage Current		5		nA
V_{BOOT}	Bootstrap Regulator Voltage	$I_{BOOT} = 1 mA$ $C_{BOOT}=tbd$	6.7	6.4 7.0	V V(min) V(max)
G_M	Error Amplifier Transconductance		1250		μmho
A_V	Error Amplifier Voltage Gain		100		
I_{EA_SOURCE}	Error Amplifier Source Current	$V_{IN} = 4V, V_{FB} = .9 \cdot V_{OUT}, V_{COMP} = 2V$	40	32/10	μA $\mu A(min)$
I_{EA_SINK}	Error Amplifier Sink Current	$V_{IN} = 4V, V_{FB} = 1.1 \cdot V_{OUT}, V_{COMP} = 2V$	80	53/30	μA $\mu A(min)$
V_{EAH}	Error Amplifier Output Swing Upper Limit	$V_{IN} = 4V, V_{FB} = .9 \cdot V_{OUT}, V_{COMP} = 2V$	2.70	2.50/2.40	V V(min)
V_{EAL}	Error Amplifier Output Swing Lower Limit	$V_{IN} = 4V, V_{FB} = .9 \cdot V_{OUT}, V_{COMP} = 2V$	1.25	1.35/1.50	V V(max)
F_{OSC}	Oscillator Frequency	Measured at Switch Pin $V_{IN} = 4V$	300	280/255 330/345	kHz kHz(min) kHz(max)
D_{MAX}	Maximum Duty Cycle	$V_{IN} = 4V$	95	92	% %(min)
I_{SS}	Soft-Start Current	Voltage at the SS Pin = 1.4V	11	14	μA $\mu A(max)$
V_{OUTUV}	V_{OUT} Undervoltage Lockout Threshold Voltage		81	76 84	% V_{OUT} % $V_{OUT}(min)$ % $V_{OUT}(max)$
	Hysteresis for V_{OUTUV}		5		% V_{OUT}
V_{OUTOV}	V_{OUT} Overvoltage Lockout Threshold Voltage		108	106 114	% V_{OUT} % $V_{OUT}(min)$ % $V_{OUT}(max)$
	Hysteresis for V_{OUTOV}		5		% V_{OUT}
I_{LDELAY_SOURCE}	LDELAY Pin Source Current		5		μA
$I_{SHUTDOWN}$	Shutdown Pin Current	Shutdown Pin Pulled Low	2.2	3.7/4.0	μA $\mu A(max)$
$V_{SHUTDOWN}$	Shutdown Pin Threshold Voltage	Rising Edge	0.6	0.25 0.9	V V(min) V(max)
T_{SD}	Thermal Shutdown Temperature		165		$^{\circ}C$

全出力電圧バージョン電気的特性 (つづき)

標準書体の規格は $T_J = 25$ に対して適用され、太字の規格は接合部の全動作温度範囲で適用されます。特記のない限り、以下の規格は、 $V_{IN} = 10V$ の場合に適用されます。

Symbol	Parameter	Conditions	Typical (Note 6)	Limit (Note 5)	Units
T_{SD_HYST}	Thermal Shutdown Hysteresis Temperature		25		$^{\circ}C$

ローサイド・ドライバ (LDR) パラメータ

標準書体の規格は $T_J = 25$ に対して適用され、太字の規格は接合部の全動作温度範囲で適用されます。特記のない限り、以下の規格は、 $V_{IN} = 10V$ の場合に適用されます。

Symbol	Parameter	Conditions	Typical (Note 5)	Limit (Note 6)	Units
V_{OH}	Logic High Level	$V_{IN} = 10V$	6.8	6.6	V V(min)
		$V_{IN} = 6.0V$	6	5.8	V V(min)
V_{OL}	Logic Low Level		0	0.05	V V(max)
I_{SINK}	LDR Sink Current	LDR Voltage = 1V	500		mA
I_{SOURCE}	LDR Source Current	LDR Voltage = 2V	180		mA
T_{RR}	Rise Time	$C_{GS}=1000pF$	18		ns
T_F	Fall Time	$C_{GS}=1000pF$	7		ns

Note 1: 「絶対最大定格」とは、デバイスに破壊が発生する可能性のあるリミット値をいいます。動作定格は、デバイスが正常に機能する条件を示し、特定の性能を保証するものではありません。保証されている仕様およびその試験条件については、電気特性を参照してください。

Note 2: 最大許容消費電力は、 $P_{DMAX} = (T_{JMAX} - T_A) / \theta_{JA}$ の式を使用して計算します。 T_{JMAX} は最大接合部温度、 T_A は周囲温度、 θ_{JA} はパッケージの接合部 - 周囲間熱抵抗です。893mW の定格値は、 T_{JMAX} 、 T_A 、 θ_{JA} にそれぞれ 150、25、140 $^{\circ}C/W$ の値を代入して得たものです。 θ_{JA} の 140 $^{\circ}C/W$ は、16 ピン TSSOP パッケージに放熱用の銅箔を設けないワーストケース条件での値です。銅箔を設ければ、より大きな電力を安全に消費させることができます。周囲温度が 25 以上の場合、絶対最大消費電力は 1 につき 7.14mW の割合で低減させる必要があります。LM2655 は、接合部温度が約 165 に達するまで動作します。

Note 3: 人体モデルは、100pF のコンデンサから 1.5 を通じて各端子に放電します。マシン・モデルは、200pF のコンデンサから直接各端子に放電します。

Note 4: 人体モデルでの ESD 耐圧は、 V_{CB} 、 V_{SW} 、LDR、 L_{DELAY} に対しては 500V です。

Note 5: Typ(標準)値は最も標準的な値を表します。

Note 6: Limit(リミット値)はすべて室温(標準書体)と温度の上下限(太字)で保証されます。室温のリミット値はすべて 100%試験されています。温度の上下限におけるリミット値はすべて、標準の統計的品質管理(SQC)方式に従う相関を介して保証されます。平均出荷品質レベル(AOQL)の計算には、すべてのリミット値が使用されています。

Note 7: V_{SW} について測定します。

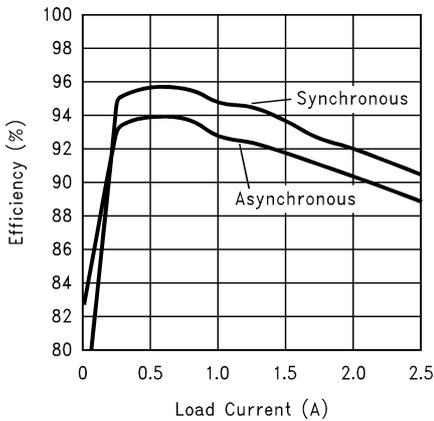
Note 8: $V_{in} = 15V$ で、閉ループでのスイッチングの間、測定します。

Note 9: 平均出力電流リミット値は代表的なアプリケーション回路で得られた値です。この値は使用するインダクタによって異なります。

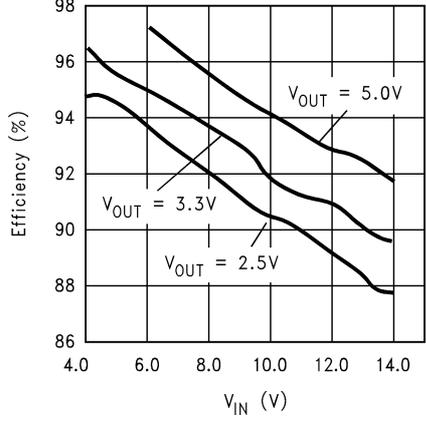
Note 10: ボンディング・ワイヤの抵抗は約 40m ($R_{SW(ON)}$) です。

代表的な性能特性

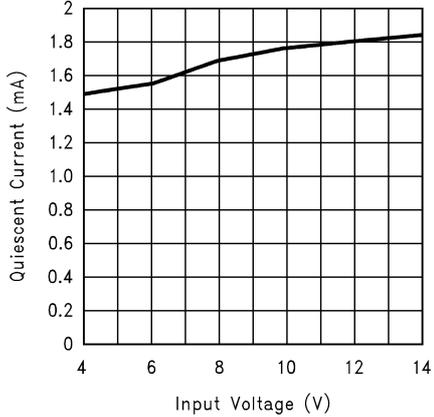
Efficiency vs Load Current
($V_{IN} = 5V, V_{OUT} = 3.3V$)



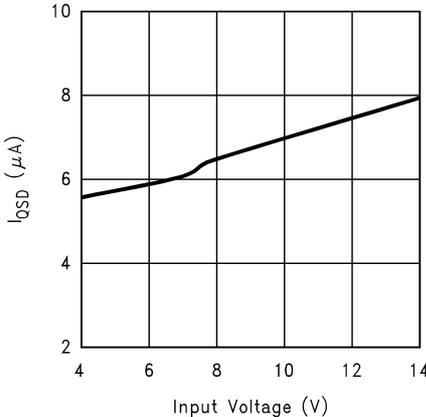
Efficiency vs V_{IN}
($I_{LOAD} = 0.5A$) (Synchronous)



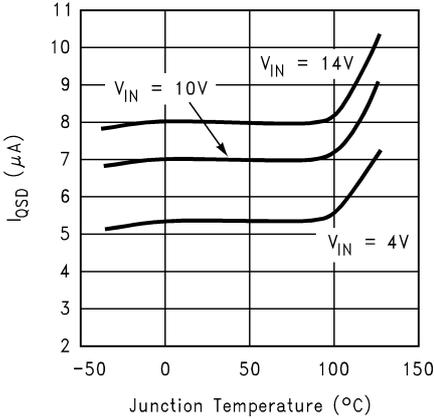
I_Q vs V_{IN}



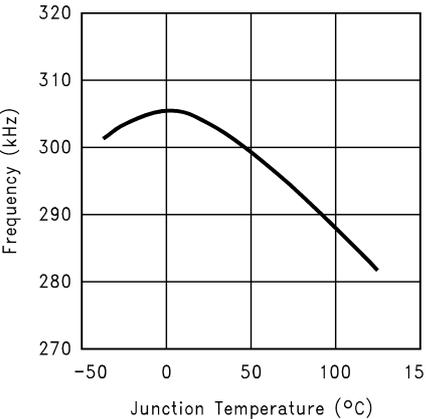
I_{QSD} vs V_{IN}



I_{QSD} vs Junction Temperature

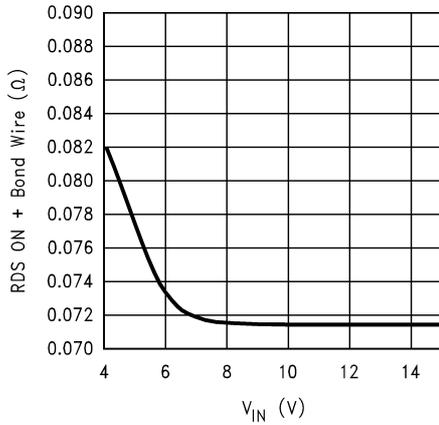


Frequency vs Junction Temperature

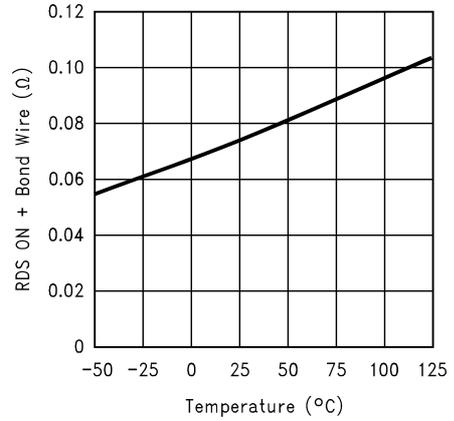


代表的な性能特性 (つづき)

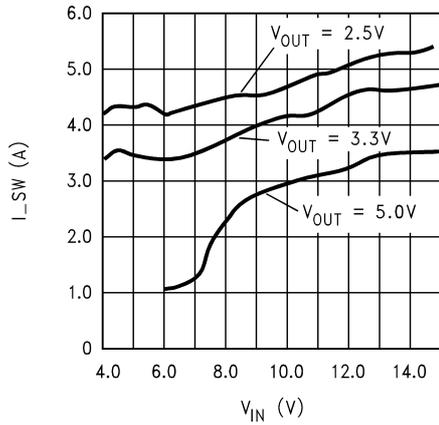
$R_{SW(ON)}$ + Bond Wire Resistance vs Input Voltage (Note 10) ($I_{LOAD} = 1.5A$)



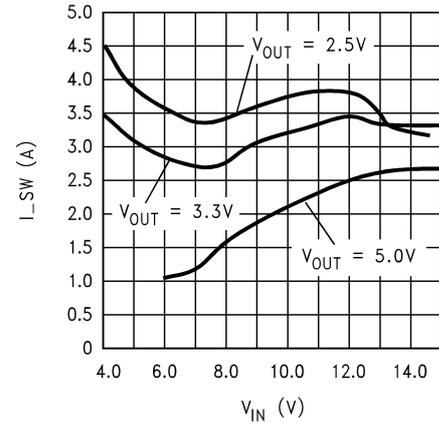
$R_{SW(ON)}$ + Bond Wire Resistance vs Junction Temperature (Note 10) ($I_{LOAD} = 1.5A, V_{IN} = 5V$)



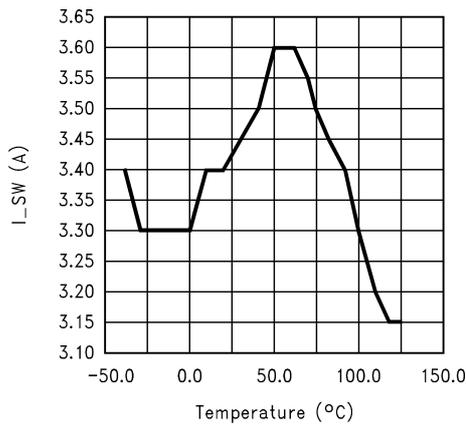
Current Limit vs Input Voltage (Synchronous)



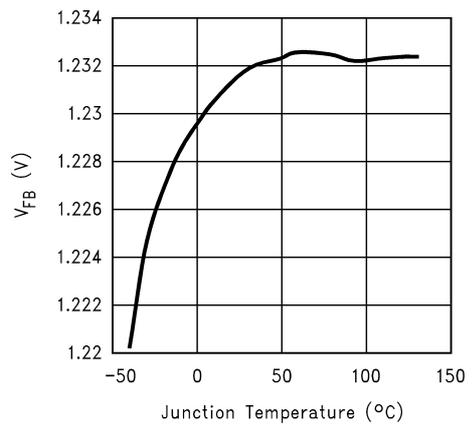
Current Limit vs Input Voltage (Asynchronous)



Current Limit vs Junction Temperature ($V_{IN} = 5V, V_{OUT} = 3.3V$)



Reference Voltage vs Junction Temperature



動作

LM2655 は、固定周波数 (300kHz) の内部発振回路を持つ電流モード PWM スwitchング・レギュレータで、同期または非同期で動作できます。

同期動作

一般に、キャッチ・ダイオードの代わりに MOSFET を用いたとき、コンバータは同期動作をしていると言えます。バック (降圧型) コンバータの場合、その MOSFET をローサイド MOSFET と呼びます (一方、入力電圧ソースとローサイド MOSFET の間に接続される別の MOSFET は、ハイサイド MOSFET と呼ばれます)。MOSFET の使用により I^2R 損失が低減するため、同期動作のコンバータは非同期動作に比べて高い効率を示します。LM2655 の同期動作は、内部回路がローサイド MOSFET をドライブする点を除いて非同期動作と同じです。まず、Switchング・サイクルの開始においてハイサイド MOSFET はオンとなり、入力電圧ソースからの電流はインダクタを経て負荷へと流れます。このときハイサイド MOSFET の電流が検出され、誤差アンプの出力 (COMP ピン) と比較されます。検出電流が COMP ピンの電圧レベルに達すると、ハイサイド・スイッチはターンオフされます。30ns の遅延 (デッドタイム) の後、ローサイド・ドライブ出力は "H" となり、ローサイド MOSFET をオンにします。電流はローサイド MOSFET、インダクタ、そして負荷を流れます。30ns の遅延は、両方の MOSFET が同時にオンにならないことを保証するために必要な時間です。30ns のデッドタイムの間、電流はローサイド MOSFET のボディ・ダイオードを流れます。30ns のデッドタイム間の電流をより効率的にするために、順方向電圧降下の小さなショットキ・ダイオードをローサイド MOSFET に並列に接続することを推奨します。ショットキ・ダイオードは、電流制限が働かないよう、SW ピンから 5mm 以内の距離に実装してください (「外付けショットキ・ダイオード」の項を参照)。Switchング・サイクルの最後でローサイド・スイッチがターンオフされ、30ns の遅延後に同様のサイクルが繰り返されます。

ハイサイド MOSFET を通る電流は、外部センス抵抗を必要としない特許取得済みの回路で検出されます。その結果として、システム・コストと実装面積を低減でき、効率を上げ、センス回路の雑音余裕度を改善します。入力電圧による電流制限値の変動を少なくするために、入力電圧からのフィードフォワードを加えます。

設計手順

この項では、外付け部品を選択するためのガイドラインを示します。

入力コンデンサ

入力ピンとパワー・グラウンドとの間には、低 ESR のアルミニウム、タンタル、セラミック、または他のタイプのコンデンサが必要です。このコンデンサは、入力での大きな電圧トランジェント発生防止用です。このコンデンサは、必要な許容リップル電流と電圧を基準に選択します。許容リップル電流は次式で求めます。

$$I_{RMS} = I_{OUT} \times \frac{\sqrt{V_{OUT}(V_{IN} - V_{OUT})}}{V_{IN}}$$

許容リップル電流が最大値 ($I_{OUT}/2$) になるのは、 V_{IN} が $2V_{OUT}$ に等しくなるときです。アルミニウム、セラミックのいずれのコンデンサについても、電圧定格は最大入力電圧より最低 25% 高くします。タンタル・コンデンサを使用する場合は、必要な電圧定格は最大入力電圧の約 2 倍です。タンタル・コンデンサは、突入電流による短絡を防止するために、サージ電流試験が行われているも

非同期動作

LM2655 の特長な機能の 1 つが、同期および非同期のどちらでも動作可能であるという点です。非同期動作は低コスト・ソリューションである分、効率が若干犠牲となります。 V_{SW} ピンに接続するダイオードについては、効率を最大化するために、順方向電圧降下の小さいショットキ・ダイオードを推奨します。LM2655 を非同期で動作させるときは、LDR ピンを高抵抗 ($>1M$) で終端するか開放のままとします。非同期モードの LM2655 は、内部のローサイド MOSFET 制御回路を用いない点を除いて、同期モードの動作と同じです。すなわち、Switchング・サイクルの開始ではハイサイドの MOSFET はオンとなり、入力電圧ソースからの電流はインダクタを経て負荷へと流れます。ハイサイド MOSFET の電流が検出され、エラー・アンプの出力 (COMP ピン) と比較されます。検出電流が COMP ピンの電圧レベルに達すると、ハイサイド・スイッチはターンオフされます。次の瞬間から、負荷電流はキャッチ・ダイオードで整流されます。電流はダイオード、インダクタ、そして負荷に流れます。Switchング・サイクルの最後でハイサイド・スイッチがターンオンされ、同様のサイクルが繰り返されます。

保護

システムのピーク電流は、サイクル・バイ・サイクルの電流制限回路によって監視されています。ハイサイド MOSFET を流れる電流があらかじめ設定されたリミット値に達すると、この回路によってハイサイド MOSFET はオフされます。第 2 レベルの電流制限はアンダーボルテージ保護機能により行われ、負荷により出力電圧がその公称値の 80% 以下に低下すると、アンダーボルテージ・ラッチ保護機能が一定時間停止します (この停止時間は LDELAY ピンに接続したコンデンサの容量によって決まります。詳細については、LDELAY コンデンサの項を参照してください)。この時間を経過しても出力電圧がまだその公称値の 80% 以下の場合、ラッチ保護機能がイネーブルになります。ラッチ保護モードでは、ローサイド MOSFET がオンになり、ハイサイド MOSFET がオフになります。このラッチ保護機能は、出力電圧がオーバervolテージ・スレッシュホールド (その公称値の 110%) を超えるとただちにイネーブルになります。これら両方の保護機能は、スタートアップ時にはオフになります (詳細については、ソフトスタート・コンデンサ、および LDELAY コンデンサの項を参照してください)。入力電源電圧ピンまたはシャットダウン・ピンをオフ / オンすると、ラッチ保護モードが解除されます。

のを使用してください。入力ピンとグラウンド・ピンとの間には、高周波スパイクを低減させるため、小容量のセラミック・コンデンサ (0.1 μ F) を挿入することを推奨します。

インダクタの選択

インダクタを選択するうえで、最も重要なパラメータはインダクタンス、ピーク電流、直流抵抗です。インダクタンスは、ピーク・ツー・ピーク・インダクタ・リップル電流、入力電圧、出力電圧と次式の関係があります。

$$L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT})V_{OUT}}{V_{IN} \times I_{RIPPLE} \times 300 \text{ kHz}}$$

リップル電流値を大きくすると、インダクタンスは小さくできますが、導体損、コア損、インダクタとスイッチ・デバイスの電流ストレスが増大します。また、同じ出力リップル電圧にするために出力コンデンサを大きくする必要が生じます。リップル電流の妥当な値は、DC 出力電流の 30% です。リップル電流は入力電圧と共に増加するので、インダクタンスの決定には必ず最大入力電圧を使用し

設計手順 (つづき)

まず、インダクタの直流抵抗は、効率を決める鍵となるパラメータです。巻線面積が大きいほど、直流抵抗を小さくできます。効率とコア・サイズのほど良い妥協点は、インダクタの銅損が出力電力の2%となる点です。

出力コンデンサ

C_{OUT} の選択は、主に最大許容出力リップル電圧を基準に行います。定周波、PWM モードにおける出力リップルは次式で近似されます。

$$V_{RIPPLE} = I_{RIPPLE} \left(ESR + \frac{1}{8F_S C_{OUT}} \right)$$

リップル電圧を決めるうえで、ESR の項が大きな役割を果たします。そのため、低 ESR のアルミ電解コンデンサまたはタンタル・コンデンサ (ニチコンの PL シリーズ、サンヨーの OS-CON、Sprague の 593D、594D、AVX の TPS、CDE のポリマー・アルミニウムなど) を推奨します。温度が -25 以下になる場合、電解コンデンサは低温時に ESR が大幅に上昇するので推奨できません。タンタル・コンデンサは低温時でも非常に優れた ESR 特性を持ち、低温で使用するアプリケーションに適しています。

適切な PWM モードとスリープ・モードの切替のために、重負荷時での出力電圧リップルをスリープ・モード電圧ヒステリシスより小さくするようにインダクタと出力コンデンサを選択してください。

$$V_{RIPPLE} < 20mV * V_{OUT} / V_{FB}$$

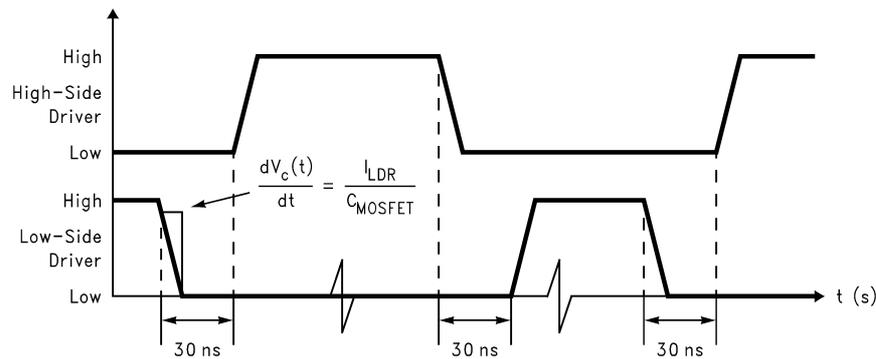


FIGURE 1. Low-side/high-side driver timing diagram.

TABLE 1. MOSFET Manufacturers

Manufacturer	Model Number	Package Type	www Address	Phone	Fax
Fairchild Semiconductor	FDC653N	SuperSOT-6	www.fairchildsemi.com	888-522-5372	207-761-6020
General Semiconductor	GF4420	SO-8	www.gensemi.com	631-847-3000	631-847-3236
International Rectifier	IRF7807	SO-8	www.irf.com	310-322-3331	310-322-3332
Vishay Siliconix	Si4812DY	SO-8	www.vishay.com	800-554-5565	408-567-8995
	Si4874DY	SO-8			
Zetex	ZXM64N03X	SO-8	www.zetex.com	(44) 161-622-4422	(44) 161-622-4420

ローサイド MOSFET の選択

同期動作を行うときは、ローサイド MOSFET の選択に十分な注意が必要です。すなわち、小型で、かつオン抵抗が低く、さらに立ち上がり、立ち下がり時間の仕様を満足する適切な MOSFET を選択するのは重要な課題です。LM2655 は Figure 1 に示すように、ローサイドとハイサイドの MOSFET のスイッチング遷移の間に 30ns のデッドタイムを発生するように設計されています。貫通電流を防ぐには、ハイサイド MOSFET がターンオンする瞬間までに、ローサイド MOSFET はターンオフしていなければなりません。すなわち、ローサイドのドライバ信号が "L" になってから 30ns で、ローサイド MOSFET はターンオフしなければなりません。ローサイド MOSFET の立ち下がりは次の等式に支配されます。

$$I_C = C_{IN} * dV_C / dt.$$

I_C は LDR ピンの電流シンク能力、 C_{IN} は LDR ピンにおける等価容量、 V_C は MOSFET のゲート/ソース間電圧です。 I_C は LM2655 のローサイド・ドライバで制限されますが、 C_{IN} は MOSFET により決まります。したがって、LM2655 が MOSFET を 30ns 以内にターンオフするために、MOSFET が適切な C_{IN} を持っていることが重要となります。推奨のゲート入力容量は 1000pF 以下です。適合する MOSFET の例を Table 1 に示します。

外部ショットキ・ダイオード (同期動作)

ローサイド MOSFET が持つボディ・ダイオードが PWM 動作でのデッドタイム中に導通するのを防ぐために、外付けのショットキ・ダイオードを使用することを推奨します。MOSFET のボディ・ダイオードがターンオンしてしまうと、逆回復電流と高い順電圧降下のため、ボディ・ダイオードにおいて余分な電力損失が発生します。さらに、ハイサイド MOSFET のターンオン電流にボディ・ダイオードの

設計手順 (つづき)

逆回復電流が加わるため、ハイサイド MOSFET でのスイッチング損失が増加します。これらの損失は効率を 1 ~ 2% 低下させてしまいます。ショットキ・ダイオードを接続することによる効率と雑音余裕度の改善効果は、入力電圧が高くなり負荷電流が大きくなったときにより顕著となります。

実装においては、LM2655 のスイッチ・ピン (V_{SW}) の近くにダイオードを配置することが重要です。スイッチ・ピンとダイオードのカソード間の配線による余分な寄生インピーダンスは、カレント・リミット値を低下させてしまう場合があるからです。ダイオードのブレーク・ダウン電圧定格は、最大入力電圧に対して 25% ほど大きな値が必要です。また、オン時間が短い場合、ダイオードの平均電流定格は、最大出力電流の 30% の値で済みます。

外部ショットキ・ダイオード (非同期動作)

非同期動作では、ハイサイド MOSFET がターンオフしている間、出力電流はショットキ・ダイオードによって整流されます。低い順方向電圧降下のダイオードを用いれば、効率低下を最小限に抑えられます。ただし、最大の効率を求めるならば、ローサイド MOSFET を用いて LM2655 を同期動作で使用してください。非同期動作ではデューティ・サイクルの後半でショットキ・ダイオードが導通するため、全負荷電流より大きな電流定格を必要とします。

ブースト・コンデンサ

ブースト・コンデンサは、ハイサイドの N- チャネル MOSFET をターンオンするのに必要な、高めの電圧を生成します。0.1 μF のセラミック・コンデンサをブースト・コンデンサとして推奨します。ブースト・コンデンサに印加される電圧は 6.7V です。

ソフトスタート・コンデンサ

ソフトスタート機能は、ソフトスタート・コンデンサを使用する必要があります。入力電圧が最初に印加されたとき、または SD (SS) ピンがプルダウンから解除されたとき、ソフトスタート・コンデンサは電流源 (約 2 μA) によって充電されます。SD (SS) ピンの電圧が 0.6V (シャットダウン・スレッショルド) に達すると、内部レギュレータ回路が起動し、ソフトスタート・コンデンサの充電電流が 2 μA から約 10 μA に増大します。SD (SS) ピンの電圧が 0.6V ~ 1.3V の範囲では、電流制限のレベルはゼロです。つまり、出力電圧はまだ 0V です。SD (SS) ピンの電圧が 1.3V を超えて上昇すると、電流制限のレベルが上昇し始めます。スイッチのデューティ・サイクルは電流制限のレベルによって制御され、狭いパルス幅から始まり、徐々に広がっていきます。同時に、コンバータの出力電圧は公称値に向かって上昇し、その結果、エラー・アンプの出力電圧が下降します。エラー・アンプの出力電圧が電流制限電圧よりも下がると、この出力が電流制限レベルに代わってデューティ・サイクルを制御し、コンバータは通常の電流モードの PWM 動作になります。SD (SS) ピンの電圧は最終的に約 2V まで充電されます。

ソフトスタート時間は次式で計算できます。

$$T_{SS} = C_{SS} * 0.6V / 2 \mu\text{A} + C_{SS} * (2V - 0.6V) / 10 \mu\text{A}$$

スタートアップ時には、内部回路がソフトスタート電圧を監視します。ソフトスタート電圧が 2V に達すると、オーバーボルテージ保護機能またはアンダーボルテージ保護機能がイネーブルになります。

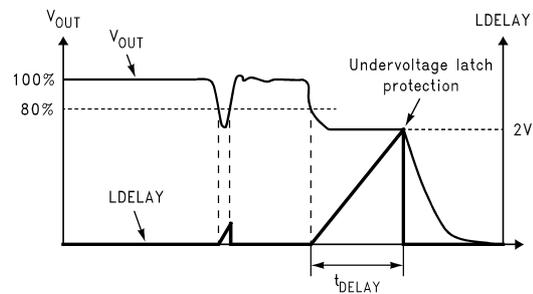
ソフトスタート電圧が 2V に達するまでに出力電圧が公称値の 80% を超えない場合は、アンダーボルテージ保護機能がこのデバイスをシャットダウンします。ソフトスタート・コンデンサの容量を大きくするか、LDELAY コンデンサを使用すると、この状態を回避できます。

LDELAY コンデンサ

LDELAY ピンに接続されるコンデンサ (CDELAY) は、アンダーボルテージ時のラッチアップ保護制御に用いられます。CDELAY の容量を変えると、出力電圧が公称電圧の 80% となったときから、アンダーボルテージ・ラッチアップ保護によって部品がシャットオフされるまでの遅れ時間を設定できます。LDELAY 回路は、ユーザ選定のコンデンサ CDELAY と、直列に接続される 5 μA の内部電流源で構成されています。5 μA の電流源は出力電圧が公称値の 80% より下がるとターンオンします。その他の場合には、この電流源はターンオフします。したがって、出力電圧が公称の 80% 以下になると、Figure 2 に示すように、5mA 電流源が CDELAY の充電を開始します。CDELAY の電位が 2V になると、アンダーボルテージ・ラッチアップ保護機能がイネーブルとなり、このデバイスはシャットオフとなります。ただし、CDELAY の電位が 2V になる前に出力電圧が公称電圧の 80% 以上に戻れば、アンダーボルテージ・ラッチアップ保護は働きません。CDELAY の値から、下記の式によりシャットオフまでの遅れ時間が算出されます。

$$T_{DELAY} (\text{ms}) = C_{DELAY} (\text{nF}) * 2V / 5A$$

アンダーボルテージ・ラッチアップ保護機能は、LDELAY ピンをグラウンドに接続すればディスエーブルにできます。



$$t_{DELAY} (\text{ms}) = C_{DELAY} (\text{nF}) \times \frac{2}{5}$$

FIGURE 2. Undervoltage latch protection.

補償用部品

出力の伝達関数に対する制御では、最初のポール F_{p1} は $1/(2 R_{OUT}C_{OUT})$ として計算できます。出力コンデンサの ESR のゼロ点 F_{z1} は $1/(2 ESR C_{OUT})$ です。さらに、45kHz ~ 150kHz の範囲に、次式で与えられる高周波のポール F_{p2} も存在します。

$$F_{p2} = F_s / (n(1 - D))$$

ここで、 $D = V_{OUT}/V_{IN}$ 、 $n = 1 + 0.348L/(V_{IN} - V_{OUT})$ (L は μH 単位、 V_{IN} および V_{OUT} は V 単位です)。

合計ループ・ゲイン G は約 $1000/I_{OUT}$ であり、 I_{OUT} はアンペア単位です。

LM2655 の内部には Gm アンプが使用されています。Gm アンプの出力抵抗 R_o は約 80k です。 C_{c1} および R_c と R_o の合成インピーダンスによって、ゲインをロール・オフさせるための遅れ補償が行われます。

$$F_{pc1} = 1/(2 C_{c1}(R_o + R_c)), F_{zc1} = 1/2 C_{c1}R_c$$

アプリケーションによっては、ESR のゼロ点 F_{z1} は F_{p2} によっては消去できません。したがって、ESR のゼロ点を消去するためには、 C_{c2} を追加して $F_{pc2} (= 1/(2 C_{c2}R_o||R_c))$ を導入する必要があります。

目安として、クロスオーバー周波数 ($G = 1$) における位相マージンを 45 度より大きくとります。

設計手順 (つづき)

C_{OUT} が $68\mu\text{F}$ より大きい場合は、ほとんどのアプリケーションにとって、 $C_{c1} = 2.2\text{nF}$ 、 $R_c = 15\text{k}$ が望ましい選択値です。ESRzero が小さすぎて F_{p2} では消去できない場合は、 C_{c2} を追加します。

ステップ負荷に対するトランジェント応答が重要な場合は、 R_c を 10k より大きく選びます。

$$R_{FB1} = R_{FB2} * (V_{OUT} - V_{REF}) / V_{REF}$$

ここで、 $V_{REF} = 1.238\text{V}$

抵抗は、 10k から 100k の間で選択してください (R_{FB1} と R_{FB2} には誤差 1% 以下の金属皮膜抵抗を使用してください)。

アプリケーション回路

設定可能な出力電圧

出力電圧を調整できるタイプの LM2655 を用いれば、Figure 3 に示すように出力電圧を 1.24V から 13V の間で設定できます。必要な抵抗値は次の式から算出します。

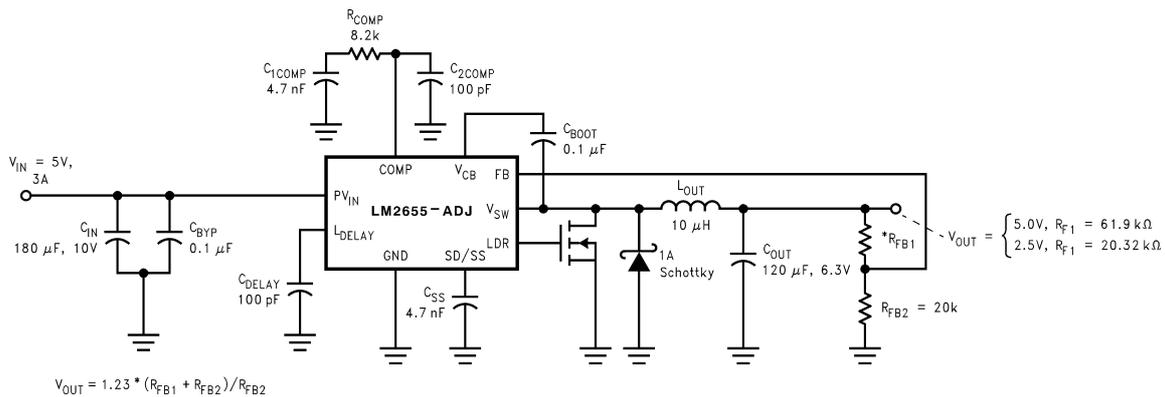
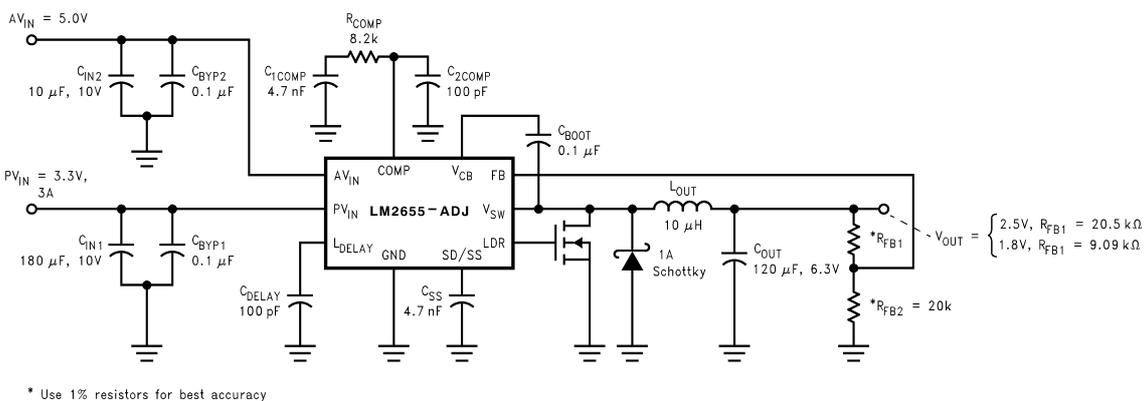


FIGURE 3. Programmable output voltage.

入力電圧範囲の拡張

Figure 4 に、 4V 以下の入力電圧でも変換を可能にする LM2655 の構成方法を示します。この回路ではアナログ電源ピン (AV_{IN}) と電源入力 (PV_{IN}) ピンに別々の電圧を与えています。すなわち、LM2655 の AV_{IN} ピンを介してデバイス内の制御回路に電源を供給し、一方変換される電圧ソースは PV_{IN} ピンに入力します。LM2655 の内部回路の動作範囲は $4\text{V} < V_{CC} < 14\text{V}$ なので、 AV_{IN} の電圧はこの範囲内で供給します。内部制御回路の消費電流はわずか 5mA なので、小電力の電源を使用できます。電源には入力コンデンサが必要で、さらにグラウンドに

対する小容量のバイパス・コンデンサを AV_{IN} ピンの近くに実装する必要があります。以上のように内部回路に対しては個別の電源を供給するので、 PV_{IN} ピンには所望の出力電圧よりわずかに高い電圧 ($\sim 500\text{mV}$) を与えればよいことになります。 PV_{IN} に接続される電源にも入力コンデンサとバイパス・コンデンサが必要ですが、入力コンデンサに関しては「入力コンデンサ」の項で述べるガイドラインにしたがって選択してください。



* Use 1% resistors for best accuracy

FIGURE 4. Extended input voltage range.

アプリケーション回路 (つぎ)

1.25V 以下の出力電圧を得る

アプリケーションによっては 1.25V 以下の電圧を必要とするものがあります。そのような低電圧でも、Figure 5 に示す回路を使用すれば変換が可能です。V_{ADJ}(V_{ADJ} > 1.24V) に接続された 2 つのフィードバック抵抗を基準にして、次に示す式により 0V から V_{ADJ} の間で V_{OUT} を調整できます。

$$V_{OUT} = (V_{REF} - V_{ADJ}) * (R_{FB1} + R_{FB2}) / R_{FB2} + V_{ADJ}$$

ここで、V_{REF} = 1.24V。V_{ADJ} には V_{REF}(1.24V) より高い電圧を選択します。Figure 5 における V_{ADJ} は、下記の式に示すシャントレギュレータ LMV431 の調整可能な基準電圧から生成されています。

$$V_{ADJ} = 1.24 * (R_{ADJ1} / R_{ADJ2} + 1).$$

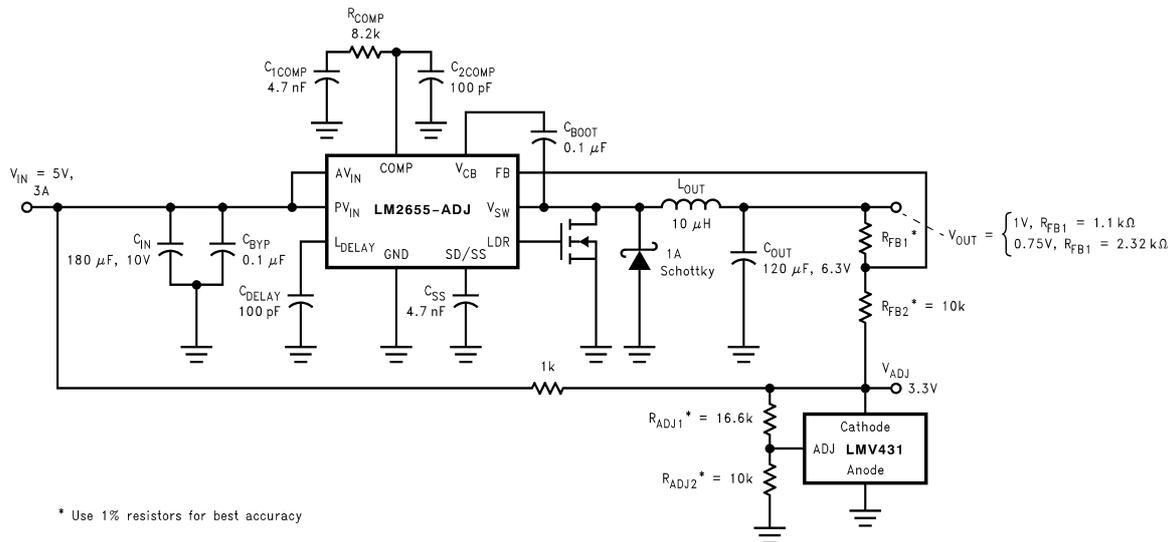


FIGURE 5. Obtaining output voltages of less than 1.25V

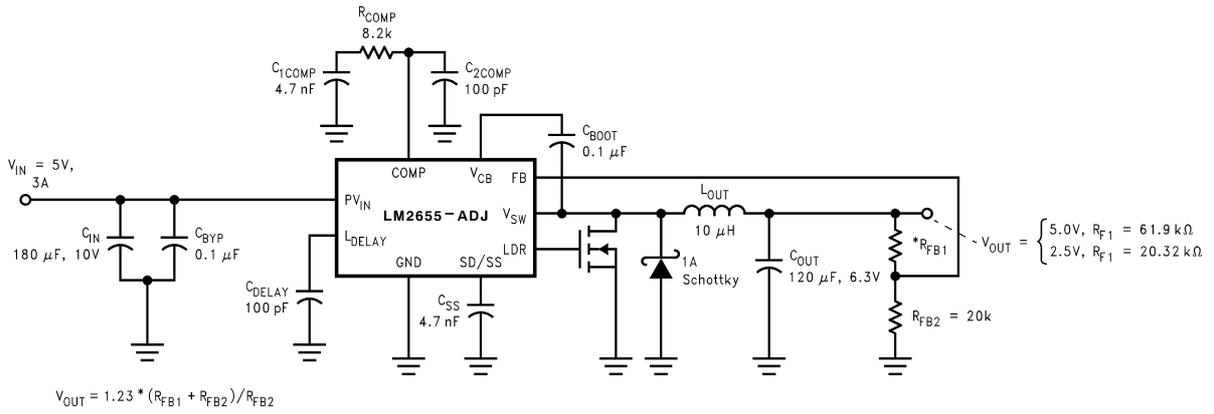
PCB レイアウトの考慮事項

レイアウトは、ノイズの発生を抑え、規定の性能を達成するために非常に重要です。レイアウト上の重要なポイントを以下に示します。

1. 短くて幅の広い基板配線を使って V_{IN} と PGND 両ピン間に入力コンデンサを接続すると、入力コンデンサと内部 MOSFET で形成されるループの寄生インダクタンスを最小にします。特に、高周波セラミック・バイパス・コンデンサは、V_{IN} ピンから 5mm 以内で、できるだけ近くに配置します。これは、過度的なスイッチング電流とパターンのインダクタンスによって発生する大振幅のスパイクノイズが問題を引き起こすことがあるため非常に重要です。

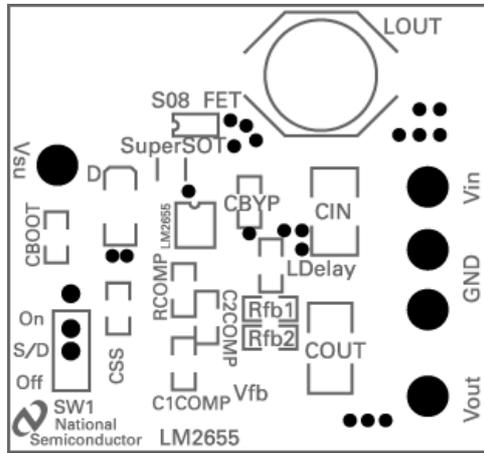
- 出力の分圧抵抗のセンターから FB ピンまでの基板配線は短くし、ノイズ発生源から遠ざけてください。出力の厳密な安定化を必要とするアプリケーションについては、(電源配線とは別の)専用の検出用基板配線を使って抵抗分圧回路のトップを出力に接続するように推奨します。
- ショットキ・ダイオード D を使用する場合は、D を SW および PGND 両ピンに接続する基板配線をできるだけ短くします。短く幅の広い基板配線を使用します。
- ローサイド MOSFET を使用するときは、LDR ピンから MOSFET のゲートへの配線と、SW ピンおよび PGND ピンへの配線の影響をそれぞれ最小にしてください。MOSFET から SW ピンと PGND ピン間に、幅広で短い配線を用いてください。

PCB レイアウトの考慮事項 (つづき)

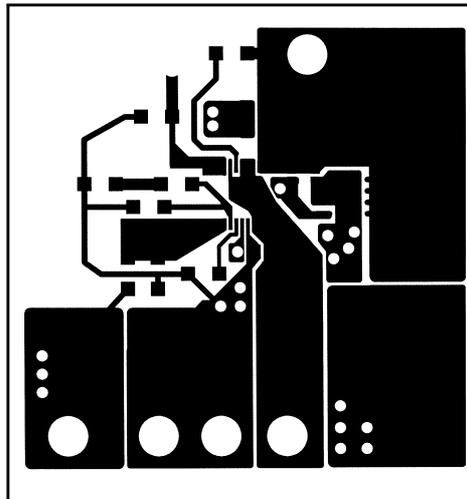


Schematic for the Typical Board Layout

Typical PC Board Layout: (2X Size)

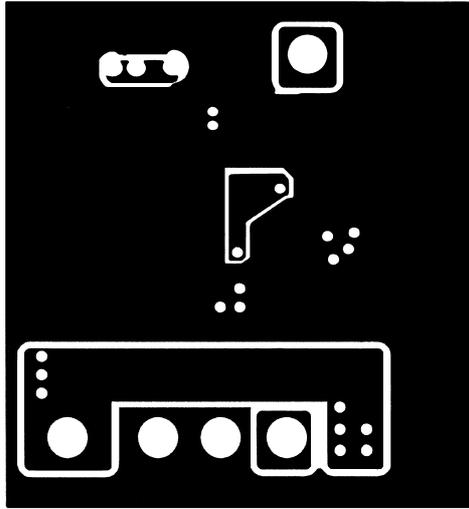


Component Placement Guide



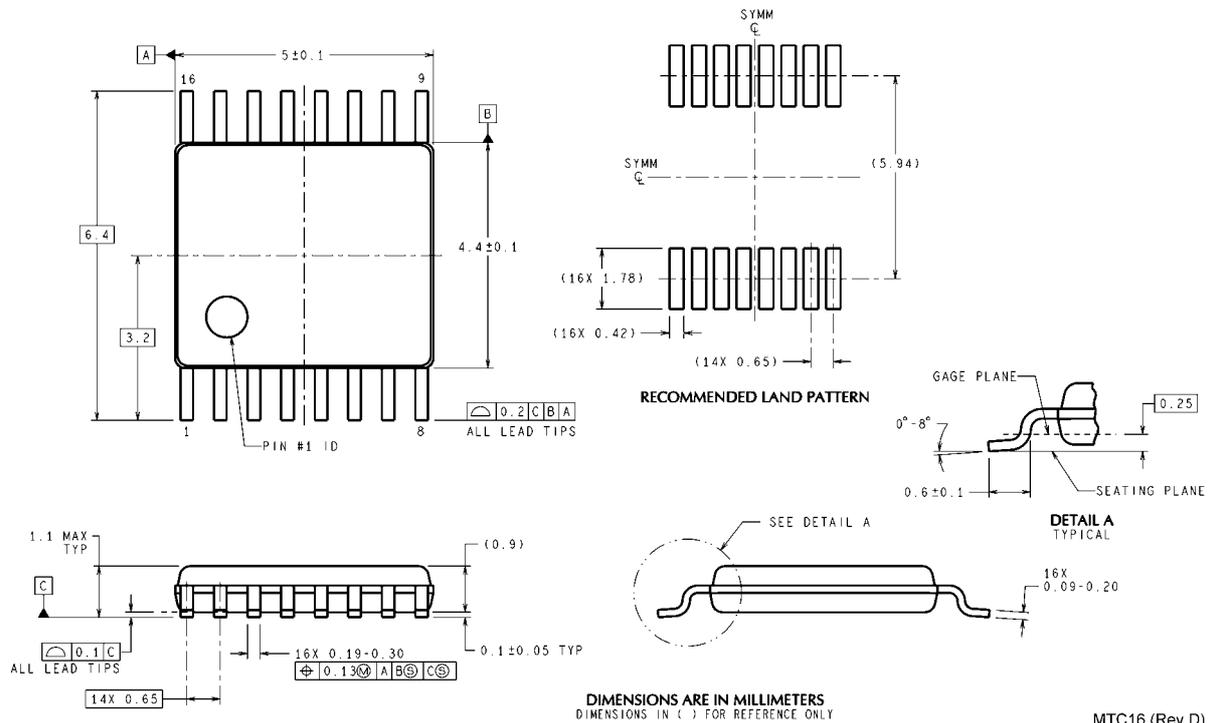
Component Side PC Board Layout

Typical PC Board Layout: (2X Size) (つづき)



Solder Side PC Board Layout

外形寸法図 単位は millimeters



16-Lead TSSOP (MTC)
 NS Package Number MTC16
 Order Number LM2655MTC-ADJ
 LM2655MTCX-ADJ
 LM2655MTC-3.3
 LM2655MTCX-3.3

See Ordering Information Table For Order Quantities

このドキュメントの内容はナショナル セミコンダクター社製品の関連情報として提供されます。ナショナル セミコンダクター社は、この発行物の内容の正確性または完全性について、いかなる表明または保証もいたしません。また、仕様と製品説明を予告なく変更する権利を有します。このドキュメントはいかなる知的財産権に対するライセンスも、明示的、黙示的、禁反言による惹起、またはその他を問わず、付与するものではありません。

試験や品質管理は、ナショナル セミコンダクター社が自社の製品保証を維持するために必要と考える範囲に用いられます。政府が課す要件によって指定される場合を除き、各製品のすべてのパラメータの試験を必ずしも実施するわけではありません。ナショナル セミコンダクター社は製品適用の援助や購入者の製品設計に対する義務は負いかねます。ナショナル セミコンダクター社の部品を使用した製品および製品適用の責任は購入者にあります。ナショナル セミコンダクター社の製品を用いたいかなる製品の使用または供給に先立ち、購入者は、適切な設計、試験、および動作上の安全手段を講じなければなりません。

それら製品の販売に関するナショナル セミコンダクター社との取引条件で規定される場合を除き、ナショナル セミコンダクター社は一切の義務を負わないものとし、また、ナショナル セミコンダクター社の製品の販売が使用、またはその両方に関連する特定目的への適合性、商品の機能性、ないしは特許、著作権、または他の知的財産権の侵害に関連した義務または保証を含むいかなる表明または黙示的保証も行いません。

生命維持装置への使用について

ナショナル セミコンダクター社の製品は、ナショナル セミコンダクター社の最高経営責任者 (CEO) および法務部門 (GENERAL COUNSEL) の事前の書面による承諾がない限り、生命維持装置または生命維持システム内のきわめて重要な部品に使用することは認められていません。

ここで、生命維持装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用方法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

National Semiconductor とナショナル セミコンダクターのロゴはナショナル セミコンダクター コーポレーションの登録商標です。その他のブランドや製品名は各権利所有者の商標または登録商標です。

Copyright © 2005 National Semiconductor Corporation
 製品の最新情報については www.national.com をご覧ください。

ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300

技術資料 (日本語 / 英語) はホームページより入手可能です。

www.national.com/jpn/

本資料に掲載されているすべての回路の使用に起因する第三者の特許権その他の権利侵害に関して、弊社ではその責を負いません。また掲載内容は予告無く変更されることがありますのでご了承ください。

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしていません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えたり、保証もしくは承認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
 - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
 4. 機械的衝撃
 - 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
 5. 熱衝撃
 - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）
 6. 汚染
 - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
 - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上