

LM3478,LM3488

Application Note 1286 Compensation For The LM3478 Boost Controller



Literature Number: JAJA283

LM3478 昇圧コントローラの補償

National Semiconductor
Application Note 1286
Chance Dunlap
2008年4月



LM3478 はスイッチング・レギュレータ用のローサイド N チャネル・コントローラです。他のスイッチング・コントローラと同じように、部品選択の自由度の広さが、逆に補償回路の設計を難しくしています。このアプリケーション・ノートは、読者が正しい補償部品を自信を持って選択できるように、ある程度の基本的な指針を提示することを目的としています。ここでは帰還ループに小信号モデルを適用して、それぞれの部品の働きを理解するとともに、最終的には必要な補償を計算によって求めます。

ところで補償はなぜ必要なのでしょう。レギュレーションによって出力電圧を得る DC/DC コンバータは、ライン変動と負荷変動に対して、負帰還を使用して出力を一定に保っています。補償が適切でないと帰還ループで位相反転が起こって正帰還の状態となり、制御が及ばない異常な出力を招く恐れがあります。程度が軽い場合は、負荷変動の発生時に、出力の応答が過度また不十分になります。このような現象はループ安定性を最適化できる余地があることを示しています。さて、補償部品の選択と応答の測定をする前に、まずコントローラと帰還ループの動作を理解しなければなりません。読者はすでに LM3478 のデータシートを通してスイッチャの基本的な動作は理解しているものとし

ます。Figure 1 に示す LM3478 昇圧レギュレータのブロック図から、2つのループが存在することが分かります。このような構成は電流モード制御のスイッチング・レギュレータに特有です。第一のループは、V_{OUT} から抵抗分圧回路を介して右下のエラー・アンプ入力を経路とする、出力電圧ループです。エラー・アンプの出力は制御電圧 V_C として PWM コンパレータの 2 入力のひとつに与えられます。

コンパレータのもう一方の入力が第二の帰還ループを構成しています。電流モード制御アーキテクチャでは、FET がターンオフすべきタイミングは、センスしたスイッチ電流と制御電圧とによって決定されます。そのため、内部ランプに合算される前に、外付けセンス抵抗の両端でスイッチ電流を測定しています。スロープ補償ランプは電流モード制御固有の大信号時の安定性の問題を防ぐことが目的です。ランプ電圧は今回の解析での小信号モデルに含まれますが、その要件と調整についてはここでは触れません。スロープ補償の詳細は LM3478 データシートを参照してください。

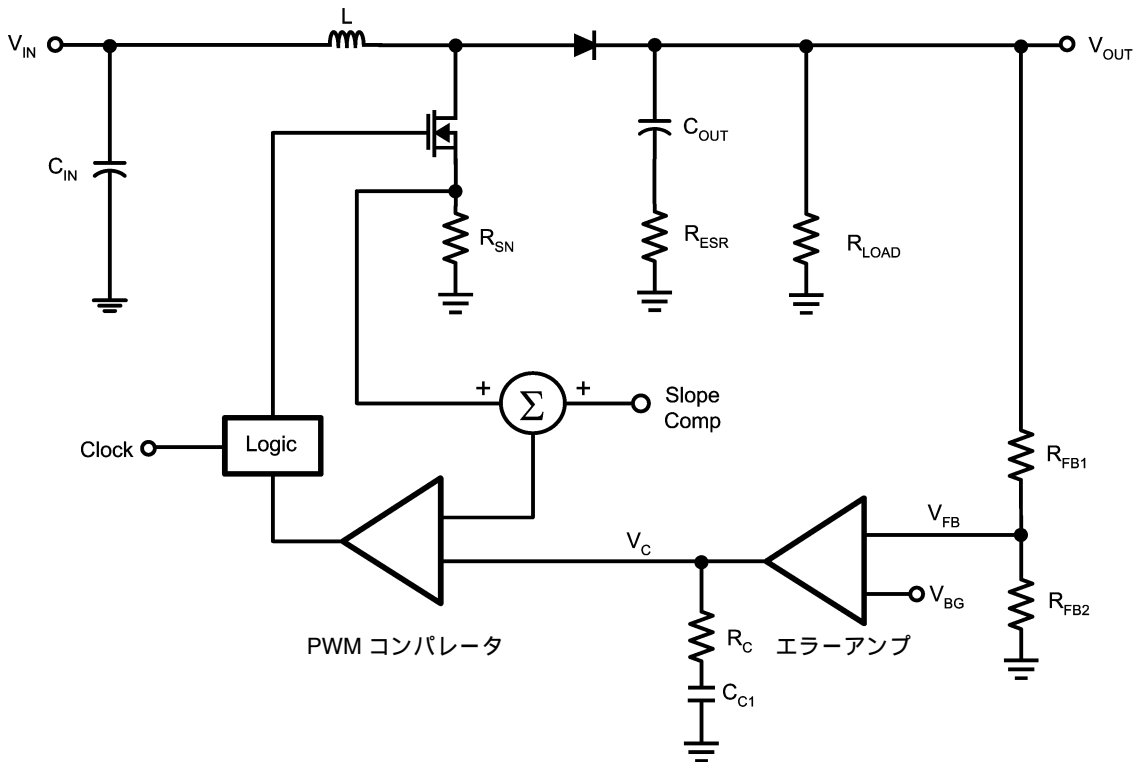


FIGURE 1. Overview of LM3478 Current Mode Control Boost Regulator

Figure 1 に、アプリケーション回路と合わせて、LM3478 の全体ブロック図を示します。次のステップでループ全体の小信号式を導出します。解析を単純化するために、ループを 3 つの部分に分割します。まず最初に、制御電圧 V_C が

ら出力電圧 V_{OUT} に至る伝達関数を取り上げます。この経路には、電流ループ、スイッチ、およびインダクタや出力コンデンサなどの出力フィルタ段の影響が含まれます。

式は次のとおりです。

$$T = A_{CM} \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z1}}\right)\left(1 - \frac{s}{\omega_{z2}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}}\right)\left(1 + \frac{s}{Q\left(\frac{\omega_s}{2}\right)} + \frac{s^2}{\left(\frac{\omega_s}{2}\right)^2}\right)}$$

この式は、1つが右半面に存在する2個のゼロ、単一のポール、および複素ポール・ペアで構成されていることがわかります。系のDCゲインを A_{CM} とすると次の式で求められます。

$$A_{CM} = \frac{(D'(\omega_c L_e \parallel R_{LOAD} \parallel R_{LOAD}))}{R_{SN}}$$

ここで

$$\omega_c L_e = \frac{\omega_s L}{D^3 \pi n} \quad : \omega_s (\text{スイッチング周波数})$$

および

$$n = 1 + \frac{2 \times S_e}{S_n}$$

および

$$S_e = \frac{V_{SL} \times f_s}{R_{SN}}$$

および

$$S_n = \frac{V_{IN}}{L}$$

スローブ補償とインダクタの要素が含まれているため比較的長い式となっています。回路を完全にモデル化するとこのような式になりますが、この解析では、より単純な扱いやすい形式に簡略化することにします。簡略化した式であっても精度はきわめて高く、解析において特に大きな実際の差異が生じることはありません。そこで以降の補償計算では次式を使用することにします。

$$A_{cm} = \frac{D'R_{LOAD}}{2R_{SN}}$$

次に、制御信号から出力に至る式に存在した2個のゼロを計算します。第一のゼロは出力コンデンサとその等価直列抵抗によって生じたものです。

$$\omega_{z1} = \frac{1}{C_{OUT}R_{ESR}}$$

第二のゼロは右半面ゼロです。ボード線図上でこのゼロの特性を確認すると、左平面ゼロのようにゲインが 20dB/dec の傾き増加する作用が見られますが、ポールと同じように 90° の位相遅れが伴います。このポールの発生は、出力電圧の応答を考えればわかるとおり、アプリケーション回路に関係しています。出力電圧が低下を始めるとスイッチがターンオンしてインダクタを流れる電流が増加します。この間、出力電流は出力コンデンサのみによって供給されるため、出力電圧はさらに低下します。このような動作は右半面ゼロが原因と考えられ、以上の理由から降圧コンバータには存在しないことがわかります。

$$\omega_{z2} = \frac{R_{LOAD} \left(\frac{V_{IN}}{V_{OUT}}\right)^2}{L}$$

先ほどの式の分母からポールを計算します。第一のポールは、出力コンデンサと負荷抵抗によるもので、次のように表現されます。

$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_{OUT}R_{LOAD}}$$

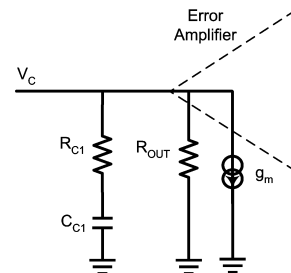
複素ポール・ペアはスイッチング周波数の半分の周波数で発生しますが、このアプリケーション・ノートでは単純にサンプリング理論をその根拠として詳細は省略します。インダクタ電流の傾きとデューティ・サイクルから係数 Q を導入します。

$$s = 2 \times \quad \times f_s$$

$$Q = \frac{1}{\pi \left(D' \frac{S_e}{S_n} + \frac{1}{2} - D \right)}$$

エラー・アンプ

制御信号から出力に至る伝達関数の式は以上で終わりです。解析が必要な次のループはエラー・アンプ段です。とりわけ重要となる帰還ピンから制御電圧に至る伝達関数を求めます。計算を行うためにエラー・アンプのブロック図を小信号モデルに変換します。



これからわかるとおり、LM3478 はエラー・アンプに g_m アンプを使用しています。このモデルから式は次のように表せます。

エラー・アンプ (つづき)

$$A_{\text{comp}} = A_{\text{EA}} \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z3}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p2}}\right)}$$

系の DC ゲイン A_{EA} は、単純に、出力コンダクタンスにアンプの出力抵抗を乗じた値となります。この値はデータシートの電気的特性の表に記載されています。

$$A_{\text{EA}} = g_m R_{\text{OUT}}$$

LM3478 の COMP ピンに接続されたコンデンサと抵抗による 2 個の補償部品によって単一のゼロが形成されます。

$$\omega_{z3} = \frac{1}{C_{C1} R_{C1}}$$

エラー・アンプのポールはエラー・アンプの出力抵抗と外付け補償コンデンサの組み合わせによって形成されます。コンデンサ C_{C2} を並列に接続すると別のポールが追加されますが、多くの電源では C_{C2} を考える必要はありません。

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_{C1} R_{\text{OUT}}}$$

最後に、出力電圧 V_{OUT} から帰還ピンに至るループの伝達関数を求めます。この関数は回路から求められ、帰還抵抗によって構成される単純な電圧分圧回路になります。式は抵抗の組み合わせか、わかりやすく出力電圧と帰還電圧によって表記されます。

$$A_{\text{FB}} = \frac{R_{\text{FB2}}}{R_{\text{FB1}} + R_{\text{FB2}}} = \frac{V_{\text{FB}}}{V_{\text{OUT}}}$$

総ループ・ゲイン

分割した回路の伝達関数を求めたので、これら関数を乗じてループ・ゲインを求めます。総ループ・ゲインを T で表すと、

$$T = A_{\text{DC}} \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z1}}\right) \left(1 - \frac{s}{\omega_{z2}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{z3}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{p2}}\right) \left(Q \left(\frac{s}{\omega_s}\right) + \left(\frac{s}{\omega_s}\right)^2\right)}$$

系の DC ゲインも 3 つの伝達関数の DC 項の積として次式で求められます。

$$A_{\text{DC}} = A_{\text{CM}} A_{\text{EA}} A_{\text{FB}}$$

安定性

アプリケーション・パラメータからループ・ゲイン T を定義したので、このループ・ゲインを使ってシステムの安定性を判断しながら、正しい補償部品を計算します。位相マージンを計算するために、まずクロスオーバー周波数 f_c を求めます。クロスオーバー周波数は、ループの振幅 ($|T|$) がユニティ、すなわち 0dB になる周波数として定義されます。クロスオーバー周波数で計算したループ・ゲイン T の位相と 180° との差が位相マージンになります。以上を式で表すと次のとおりです。

$$\|T(\omega = 2\pi \times f_c)\| = 1 = 0\text{dB}$$

$$m = 180^\circ + \text{angle}T(\omega = 2\pi \times f_c)$$

位相マージンを正確に設計するには、使用するスイッチング・レギュレータに適した位相範囲を把握しておく必要があります。位相マージンが 0° 以下では系は不安定になると考えられます。そのため正の値が必要です。ただし、位相マージンが大きすぎると系の減衰量が過度になり、一方で位相マージンが少なすぎると減衰量が不足します。単純化を図るために、LM3478 の位相マージンに適した値を 30° から 100° の範囲として、計算を開始します。

補償回路の設計

系のモデル化が完了し安定性の理解が進んだところで補償セクションの設計に取り掛かります。補償回路の設計は通常はインダクタと出力コンデンサの選定後に行います。しかし、補償性能が向上するのであれば、インダクタや出力コンデンサの値を変更しても構いません。たとえば、出力コンデンサの容量を増やしてポールによる位相マージンを調整し、過渡応答時のセトリングを改善するといったことが考えられます。

補償部品の選定を開始する前にクロスオーバー周波数をどこに配置すべきかを考えます。LM3478 のような昇圧コンバータの場合、右半面ゼロが存在するとループ応答に大きな問題が発生します。したがってクロスオーバー周波数は右半面 (RHP) ゼロが発生する 1 デケード下に配置することが適切です。クロスオーバー周波数を選択できるのであれば周波数は高いほうが望まれます。

式を計算したらボード線図を描いて図形上で補償部品を決定する方法が最も簡単です。できるだけ最適なレスポンスが得られるように、ポールとゼロの組み合わせを図形的に配置していきます。

設計例

回路例を使って、LM3478 の補償回路を設計する設定する方法を説明します。

条件：

$$V_{\text{in}} = 5\text{V}$$

$$V_{\text{out}} = 12\text{V}$$

$$I_{\text{load}} = 1.5\text{A}$$

$$f_s = 400\text{kHz}$$

部品：

$$L = 3.3 \mu\text{H}$$

$$C_{\text{out}} = 150 \mu\text{F}$$

$$\text{ESR} = 50\text{m}$$

計算：

$$D = \frac{V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN}}}{V_{\text{OUT}}} = \frac{12 - 5}{12} = 0.58$$

補償回路の設計 (つづき)

デューティ・サイクル :

$$R_{LOAD} = \frac{V_{OUT}}{I_{LOAD}} = \frac{12}{1.5} = 8\Omega$$

$$D' = 1 - D = 1 - 0.58 = 0.42$$

制御信号から出力への伝達関数

$$A_{cm} = \frac{D'R_{LOAD}}{2R_{SN}} = \frac{0.42 \times 8}{2 \times 0.01} = 167 \text{ V/V}$$

$$\omega_{z1} = \frac{1}{C_{OUT}R_{ESR}} = \frac{1}{150\mu\text{F} \times 0.05\Omega} = 133,333 \text{ rad/sec} \quad (21 \text{ kHz})$$

$$\omega_{z2} = \frac{R_{LOAD} \left(\frac{V_{IN}}{V_{OUT}} \right)^2}{L} = \frac{8 \left(\frac{5}{12} \right)^2}{3.3\mu\text{H}} = 420,875 \text{ rad/sec} \quad (67 \text{ kHz})$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_{OUT}R_{LOAD}} = \frac{1}{150\mu\text{F} \times 8\Omega} = 833 \text{ rad/sec} \quad (132 \text{ Hz})$$

$$Q = \frac{1}{\pi \left(D' \frac{S_e}{S_n} + \frac{1}{2} - D \right)} = \frac{1}{\pi \left(0.42 \frac{S_e}{S_n} + 0.5 - 0.58 \right)} = 0.38$$

ここで、

$$S_e = 3,320,000 \text{ A/s}$$

$$S_n = 1,515,151 \text{ A/s}$$

出力電圧から制御電圧 :

$$A_{EA} = g_m R_1 = 800 \mu\text{ mho} \times 50\text{k} = 38\text{V/V}$$

$$A_{FB} = \frac{R_{FB2}}{R_{FB1} + R_{FB2}} = \frac{V_{FB}}{V_{OUT}} = \frac{1.26}{12} = 0.105 \text{ V/V}$$

ゆえに、ループ・ゲインの DC の大きさが計算されます。

$$A_{DC} = A_{comp} A_{cm} A_{fb} = 167 \times 38 \times 0.105 = 665 \text{ V/V}$$

$$A_{DC} = 20 \log_{10}(665) = 56.4 \text{ dB}$$

RHP ゼロは 67kHz 付近 (420,875 rad/s) に発生しているため、クロスオーバー周波数は 1 デケード下の 6kHz 付近に設定しなければなりません。ただしこのゼロは、負荷が重いほど、また入力電圧が低いほど、周波数が低くなる点に留意が必要です。ゆえに、入力電圧が最低で負荷が最大の状態がワーストケースになります。入力電圧レールの誤差が 10% と見込まれるのであれば、クロスオーバー周波数は 5kHz 以下に設定すべきでしょう。

補償ポールと補償ゼロがない状態でボード線図を代数的にまず描いてみます。単純化のために Q は 0.5 に等しいと仮定しますが、この条件は対応する実ポール・ペアがスイッ

チング周波数の半分の周波数になることを意味します。Q の値は 0.38 と求められたことから、この設定は最初の近似としては妥当です。

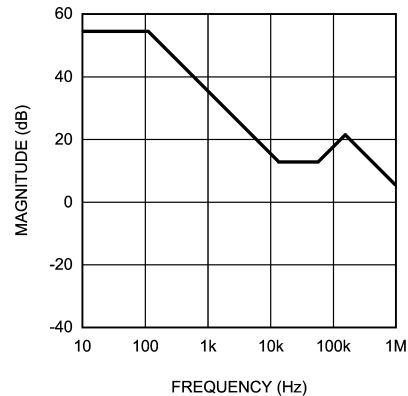


FIGURE 2. Uncompensated Loop Gain

次のステップで、所望の応答を得るために、補償ポールと補償ゼロの正確な配置を計算します。ゼロを使って位相マージンを確保する前に、ポールを配置してクロスオーバー周波数を設定します。一般にこの手順は電源部品を含む複数回の繰り返しが必要です。

クロスオーバー周波数を 5kHz 以下に設定することにしたので、1kHz から 5kHz の範囲の振幅を確認すると、35dB から 25dB であることがグラフからわかります。適切なロールオフを得るために、補償ポールの周波数は、この範囲の中間から 2 デケード低い ~ 30Hz に設定することになります。この周波数は一般的に入手が容易な 0.1 μF のコンデンサに対応します。

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_{c1}R_{OUT}} = \frac{1}{0.1\mu\text{F} \times 50\text{k}\Omega} = 200 \text{ rad/sec} \quad (31 \text{ Hz})$$

ボード線図を描き直すと、振幅は、RHP ゼロ (67kHz) が発生する前に十分にユニティ・ゲイン (0dB) を下回っていることがわかります。

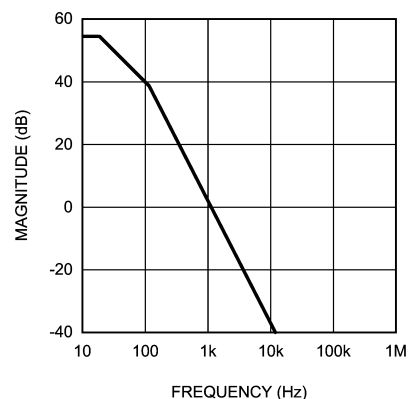


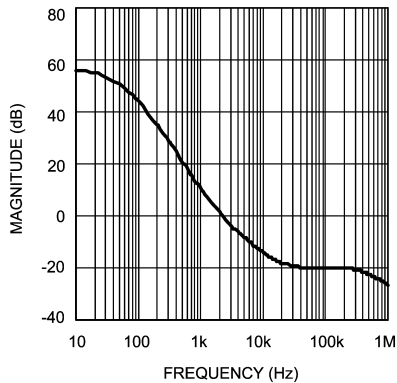
FIGURE 3. Loop Gain with Dominant Compensation Pole

補償回路の設計 (つづき)

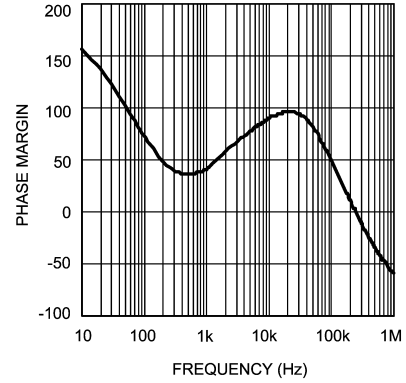
最後に補償抵抗を決めてループ・ゲイン中にゼロを設定します。Figure 3 のボード線図から位相マージンはクロスオーバー周波数 (1kHz 以下) 付近でゼロ (0) に近づくことが考えられるため、抵抗によるゼロをクロスオーバー周波数の近くに導入します。その根拠は、先ほどの手順によって 1 デイケード低い周波数に 2 個のポールを設けたため、180° の位相変化が生じる可能性があるためです。仮にクロスオーバー周波数付近にゼロを設けると、およそ 45° の位相マージンが得られると考えられます。二つ目のゼロが導入されるまでゲインは -40dB よりも低いいため、帯域も安全に広がります。1000 の抵抗を選択すると、

$$\omega_{z2} = \frac{1}{C_{c1}R_{c1}} = \frac{1}{0.1\mu\text{F} \times 1\text{k}\Omega} = 10000 \text{ rad/sec} \quad (1590 \text{ Hz})$$

以上で値が得られたので最終のボード線図を描きます。また必要に応じて計算を修正します。グラフからわかるように、クロスオーバー周波数は 2kHz となり、60° の位相マージンが得られています。



Loop Gain Magnitude



Phase Margin of Loop Gain

このアプリケーション・ノートでは有効な補償ネットワークを設計する単純な解析方法を説明しました。ただし、安定性の検証には試作による解析が常に必要であり、すべての部品定数は求めた値から前後することは理解しておく必要があります。

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か使用、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 © 2008 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、保証もしくは是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