

## 車載アダプティブ・フロントライティング・システム(AFS)のモータ制御と診断



ON Semiconductor®

[www.onsemi.jp](http://www.onsemi.jp)

### TECHNICAL NOTE

#### 要約

アダプティブ・フロントライティング・システム(AFS)は、自動車購入者、立法者、交通安全推進団体に受け入れられている新しいスマート車載アプリケーションです。AFSはステッパモータを使用して、ヘッドランプの位置を上下に、あるいは運転者のステアリング方向に合わせて左右に調整します。これにより、最適な夜間の視認性を確保し、快適性の向上と他の道路通行者の安全を図ることができます。

車両に実装された各種センサからの入力に基づいてヘッドランプの動きを制御するには、高速・高精度であるだけでなく高信頼性とフォルト耐性も備えたモータドライバが必要です。適応失速検知は重要な診断機能ですが、すべてのステッパモータドライバICが対応しているとは限りません。モータの逆起電力を感知しホストコントローラに伝達できるドライバを使用すると、脱調を防止しヘッドランプ位置の一貫した制御を維持するためにソフトウェアが必要とする情報を取得できます。

#### はじめに：安全性と快適性を実現するスマートテクノロジー

車載アダプティブ・フロントライティング・システム(AFS)は、車の所有者のドライビング・エクスペリエンス向上に役立つとともに、歩行者や他の車両の運転者など、すべての道路利用者の安全性の向上に寄与します。AFSには、現在の車両に必須のフロントライティング機能を拡大する先進的な特徴がいくつかあります。例えば、ランプをステアリングの方向に向け、コーナリング時の道路前方の視認性を向上させることができます。さらに、ランプの位置を垂直方向に調整できるため、ブレーキ時あるいは起伏のある地面走行時における車両の上下動の変化に対して補正が可能です。また、対向車を検知して自動的にヘッドランプをロービームにすることもできます。

このような高度な機能は、自動車購入者と立法者の双方にとって魅力的であり、初期段階では、自動

車メーカーは競合他社との製品差別化の機会を拡大できます。長期的に、AFSは幅広い利用が期待されています。Frost&Sullivanは、AFSと車載ナイトビジョンシステムを合わせた市場が、2015年までに€9億を超えるの見込んでいます。

#### ライティング設計者にとっての課題

AFSなどの重要な新技術が登場し、新しいサプライヤが市場に参入する機会も生まれており、従来のライティング設計に関連する技術以外の追加の技術的な能力が必要となることも確かです。例えば、対向車を検知するためにセンサやソフトウェアを追加する必要が生じる場合があります。さらに、各ランプの左右および上下の位置調整のために動作制御技術が要求されるのは明らかです。

現在の自動車に適合するAFSでは、ランプの位置調整にステッパモータが使用されます。これは、適切な応答時間と高い精度でスムーズに漸進的な動きを実現する望ましい解決策です。検出したステアリング入力が小さい場合、ステッパモータは、少ないステップ数の回転でランプが車両方向に向くように指示できます。ステアリング・センサが大きな変化を示した場合、モータはそれに応じた大きなステップ数だけ動くように制御されます。

Figure 1にステッパモータコントローラの代表的な構成を示します。マイクロコントローラをホストとするアプリケーション・ソフトウェアが、ステアリングの舵角、速度、上下動、対向車などを検知する各種センサからの情報に基づき、ランプを動かすための指示を出します。ドライバICは、マイクロコントローラの出力を解釈しPWM波形に変換して、所望の位置までステッパモータを駆動する役割を果たします。マイクロステップの精度を実現できるものや1 A以上の領域のピーク電流を発生できる電力段を集積化したものなど、様々なコントローラが提供されています。

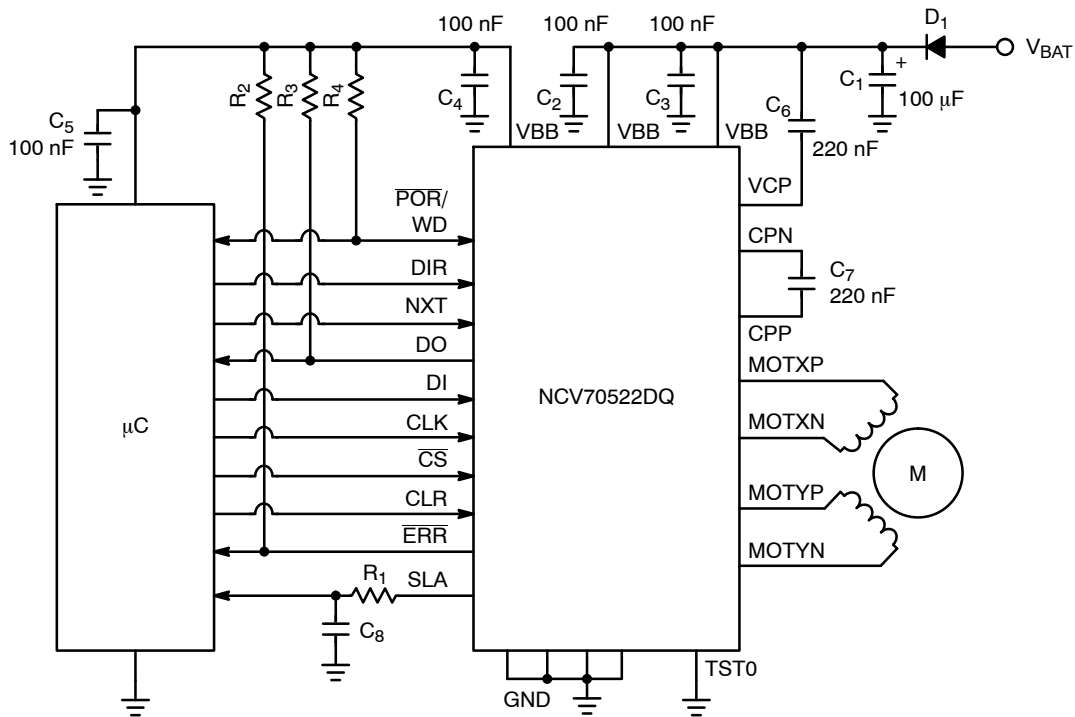


Figure 1. Typical Architecture of Stepper Motor Controller

通常動作条件での適切なモータ動作の保証に加え、AFSの技術者が直面する重要な制御上の課題は、何らかの原因でランプの動きが制限された場合に生じる可能性がある、モータ失速への対処です。このような状況で、モータコントローラが「脱調」してはなりません。脱調した場合は、正確なランプ位置調整が行われず不適切な位置となり、走行安全性も損なわれます。

失速検知は、ステッパモータドライバのよく知られた特徴の1つです。失速状態の兆候を検知すると、直ちにモータへの駆動信号を切断してコントローラの脱調を防止します。この時点から、コントローラはモータを再起動して所望の位置まで駆動を試みることができます。AFSアプリケーション用の適切な失速検知システムに要求される性能は、最初に失速検知の動作原理を分析することによって評価できます。

負の起電力(EMF)、あるいは逆起電力(BEMF)は、モータの磁場中でのロータの動きにより発生し、ロータの巻数、磁場の磁束、ロータ速度の関数となります。特定のモータでは巻数と磁束は一定のため、BEMFはロータ速度を反映する適切な指標になります。モータの動きが妨げられると、ロータ速度が低下し、併せてBEMFも低下します。このため、BEMFを検知すればモータ失速を検出するのに必要な情報が得られます。この際、モータ負荷の影響や供給電圧を考慮しなければならない点に注意する必要があります。

#### AFS用ステッパモータドライバ

失速検知機能を内蔵した一般的な汎用ドライバには、BEMF出力がありません。設計者は内部レジスタに閾値を設定することによってのみ、失速検知パラメータを構成できます。このため、システムを実際の道路条件で動作させる前に、設定をすべて「オフライン」で事前に決定する必要があり、意図するアプリケーションに合わせてシステムを適応させたり微調整することはできません。BEMFは負荷に依存するため、例えば、加速時に風の抵抗が増すと変化する可能性があります。そのため、AFSが一定の失速検知精度を維持するには、システムは動作条件の変化に応じてパラメータを変更できなければなりません。そのため、AFSアプリケーションに汎用ドライバを使用することは必ずしも適切ではありません。

オン・セミコンダクターのNCV70522などのドライバでは、モータのBEMFを反映する信号が速度/負荷角度(SLA)と呼ぶ外部出力ピンから出力されます。このピンのアナログ信号により、アプリケーションにおいてリアルタイムに失速が検知でき、走行条件の変化に検知レベルを適応させるための情報が得られます。BEMFに基づいてモータのトルクや速度を調整することも可能です。

NCV70522は、バイポーラ・ステッパモータのXおよびYコイルを駆動する2組のフルHブリッジ出力を備えたマイクロステップ・ドライバです。自動車、産業、医療、および海洋アプリケーションでの使用に適しており、車載グレードの電圧および温度要求に完全に適合しています。

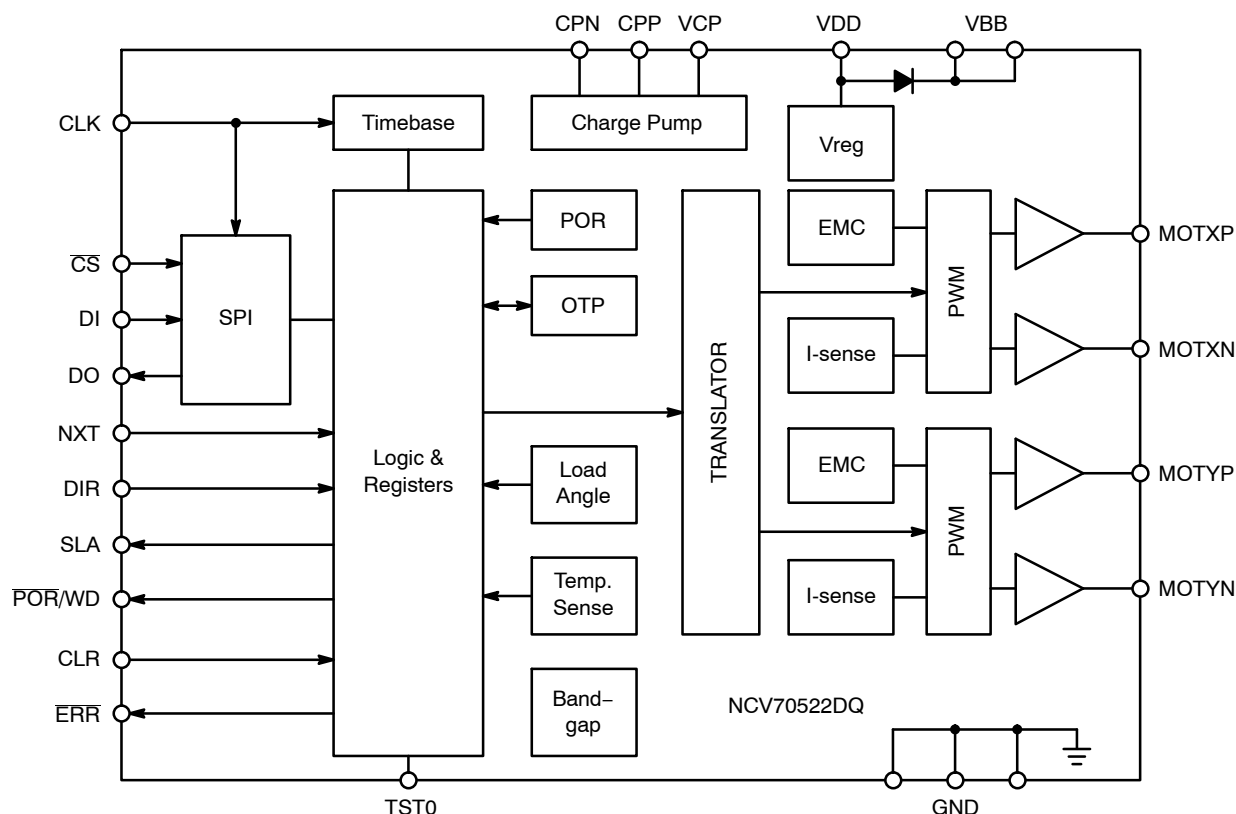


Figure 2. Block Diagram of NCV70522

Figure 2にドライバの各機能ブロックを示します。NCV70522は、高電圧アナログ回路とデジタル機能を同一チップ上に形成可能なI2T100プロセス技術で製造されています。このICは、図に示したI/OピンとSPIインタフェースによって外部のマイクロコントローラに接続できます。SPIのCR0レジスタの設定により、フル・ステップから1/32マイクロステップまで7通りのステッピングモードを選択できます。モータの駆動電圧は、内部の電流変換テーブルを参照して生成されます。モータは“NXT”入力ピンのクロック信号と方向レジスタ[DIRCTRL]あるいはICのDIR入力ピンの状態によって次のマイクロステップに進みます。

システムに電源が投入された瞬間、マイクロコントローラが初期化され、NCV70522ドライバがリセットされます。次に、コイル電流とステッピングモードが設定され、モータドライバが有効になります。NXTパルスが送出されるとモータが回転します。モータの回転速度は、NXTパルスの周波数にステッピングモードの値を乗じた数に等しくなります。Figure 3に、このデバイスを使用して実装されたAFSに対するステッパモータコントローラのフローチャートを示します。

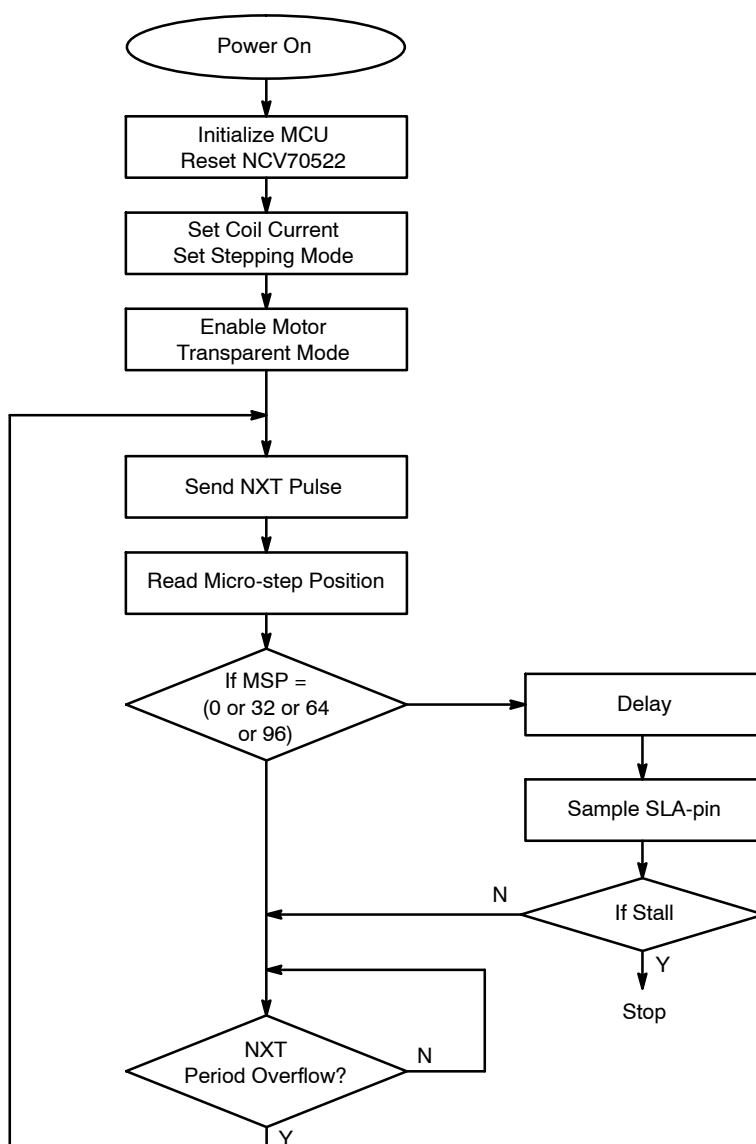


Figure 3. Flow Chart for Stepper Motor Driving

#### 失速検知の詳細

Figure 3に示すとおり、このドライバはユーザが選択可能な「透過」モードを備えています。このモードは、起動後のモータ駆動信号発生前に選択または無効にできます。SPIの制御レジスタCR2のSLATビットを1に設定すると、コントローラは透過モードに入り、SLAピンのBEMF電圧をそのまま測定できます。しかし、この場合、電流減衰時にはコイルに比較的高い再循環電流が流れるため、コイル電圧 $V_{COIL}$ に過渡動作が発生し、SLAピンのBEMFが比較的複雑な信号波形になる可能性があります。SLATビットを“L”に設定して非透過モードを選択すると、BEMF電圧入力がより平滑になるため、アプリケーション

の処理を簡単にするのに役立ちます。この場合、電流がコイルに流れていない時、つまり各コイル電流のゼロ・クロスの終了時にのみBEMF電圧がサンプリングされます。

サンプリングされたBEMF電圧を0～5 Vの範囲の適切な出力電圧に変換するには、サンプリングされたコイル電圧 $V_{COIL}$ を2または4で割ります。この除数は、SPIのCR2レジスタのSLAGビットによって設定できます。

Figure 4にSLAピンと透過ビットSLATの挙動を示します。“PWMsh”と“Icoil = 0”は内部信号です。SLATビットと併せてコイル電圧のサンプリングとホールドのタイミングが決定されます。

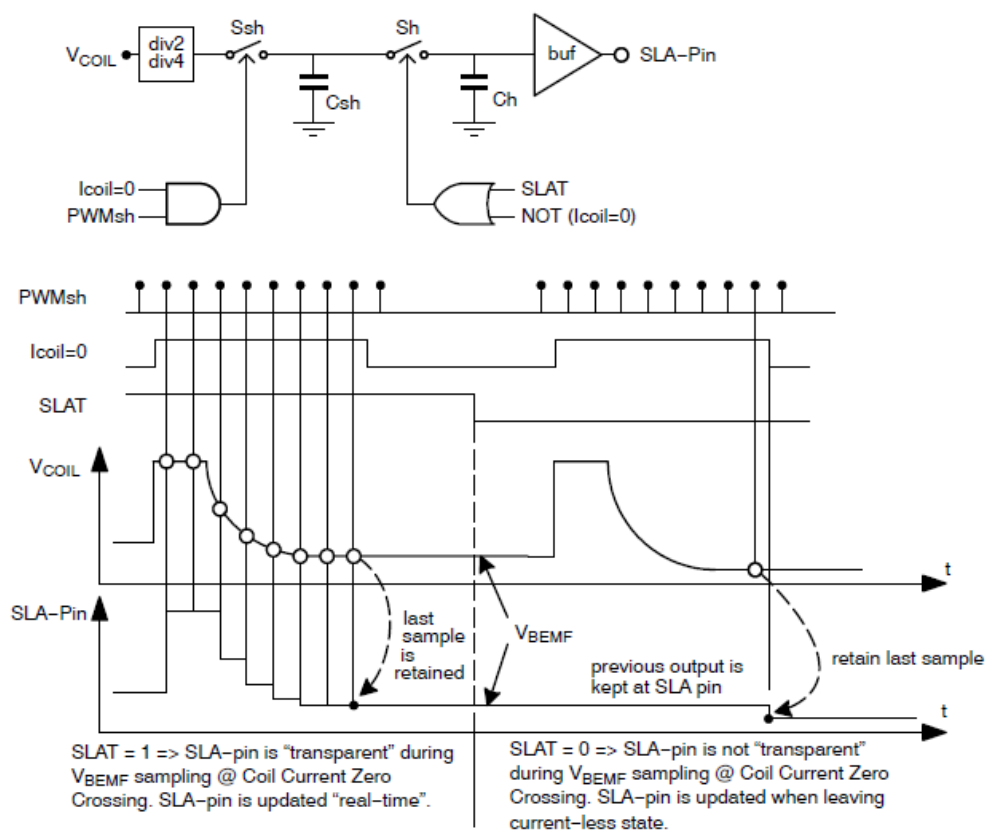


Figure 4. Timing Diagram of SLA-pin

各コイルには電氣的周期ごとに2つのゼロ電流位置が存在し、合計4つのゼロ電流観測点ができます。このため、電氣的周期ごとにBEMFを4回測定できます。マイクロステップの位置とコイル電流ゼロ・クロス的位置が一致するときに、モータドライバによってBEMF電圧がサンプリングされます。マイクロステップの位置は、SPIによって知ることができます。各電氣的周期中に4回のSLAサンプリング値に基

いて、ソフトウェアによりモータが失速したかどうかを判断できます。

Figure 5および6は、SLAピンに現れる電圧を、正常な状態とモータが失速している状態で比較したものです。4回ごとのコイル電流ゼロ・クロス中の少なくとも2回のサンプリング値でSLAピンの電圧が1.5 Vより低い場合は、確実に失速状態と識別できます。

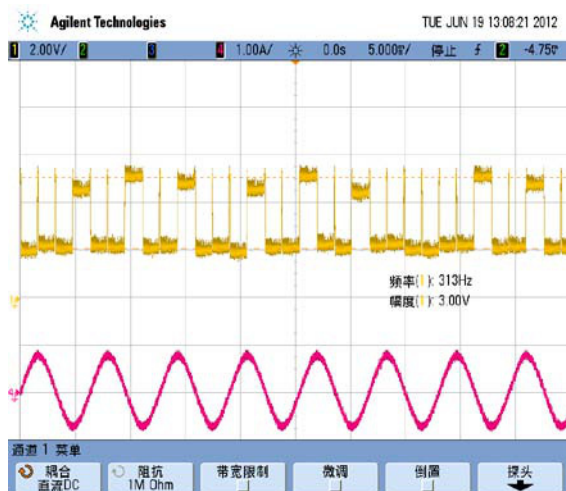


Figure 5. SLA Sampling during Normal Motor Operation



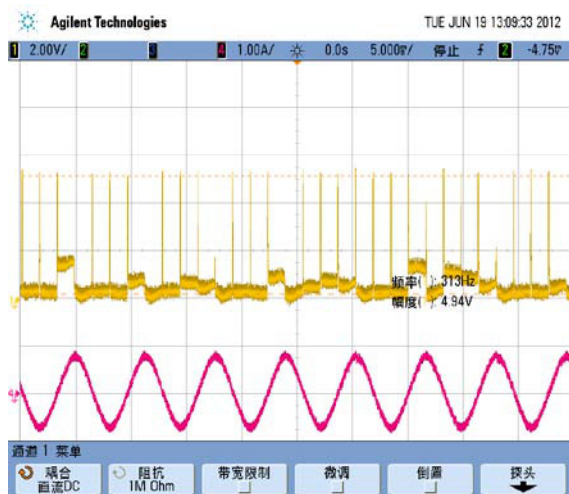


Figure 6. SLA Sampling when Motor is Stalled

### 結論

夜間運転中の視界の改善が期待できるため、車載AFSは交通安全と運転者の快適性の両方にとって意義があります。市場分野全体を通じて顧客需要の高まりが期待されており、既存の車両用照明サプライヤや新規参入メカに新たな機会を創出し、課題を提起します。AFSアプリケーションに適した高信頼で低コストのモータ駆動を開発する必要性が重要な

課題であり、ヘッドランプの一貫した位置調整のために失速検知を導入することが最も重要です。堅牢な失速検知には、広範な動作条件にわたって精度を維持するために自動調整が必要なので、ステッパモータドライバの使用が要求されます。それにより、アプリケーション・ソフトウェア内の自己学習型失速検知アルゴリズムに、モータのBEMF電圧をフィードバックできます。

ON Semiconductor及びON SemiconductorのロゴはON Semiconductorという商号を使うSemiconductor Components Industries, LLC 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における商標です。ON Semiconductorは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。ON Semiconductorの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。[www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf](http://www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf)。ON Semiconductorは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。ON Semiconductorは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害など一切の損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。お客様は、ON Semiconductorによって提供されたサポートやアプリケーション情報の如何にかかわらず、すべての法令、規制、安全性の要求あるいは標準の遵守を含む、ON Semiconductor製品を使用したお客様の製品とアプリケーションについて一切の責任を負うものとします。ON Semiconductorデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。ON Semiconductorは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許しません。ON Semiconductor製品は、生命維持装置や、いかなるFDA (米国食品医薬品局)クラス3の医療機器、FDAが管轄しない地域において同一もしくは類似のものと分類される医療機器、あるいは、人体への移植を対象とした機器における重要部品などへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にON Semiconductor製品を購入または使用した場合、たとえ、ON Semiconductorがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、ON Semiconductorとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。ON Semiconductorは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

### PUBLICATION ORDERING INFORMATION

#### LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA  
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada  
Email: [orderlit@onsemi.com](mailto:orderlit@onsemi.com)

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free  
USA/Canada  
Europe, Middle East and Africa Technical Support:  
Phone: 421 33 790 2910

ON Semiconductor Website: [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative