

# LM22670

*Application Note 1888 LM22670 Evaluation Board Inverting Topology and  
Application Notes*



Literature Number: JAJA373

# LM22670 反転トポロジ評価ボード およびアプリケーション・ノート

National Semiconductor  
Application Note 1888  
Frederik Dostal  
2009年7月



## はじめに

LM22670 反転評価ボードは、極性反転トポロジにおける LM22670 スイッチング・レギュレータの機能を実際に検証できるように設計されています。Figure 1 は、入力電圧範囲 6V ~ 35V に対して、出力電圧 -5V、最大負荷電流 1.5A を供給する LM22670 反転トポロジ評価ボードの回路図です。動作周波数の標準値は 500kHz です。

この評価ボードの最高動作周囲温度は 50 °C です。評価ボードの代表的性能と特性プロットを Figure 5 ~ 7 に示します。Figure 8 は、プリント基板 (PCB) のレイアウトです。

LM22670 スイッチング・レギュレータによる DC/DC 極性反転コンバータ・ソリューションの設計と評価を支援するために、この評価ボードの出力電圧はさまざまな値に変更できます。

評価ボードは、小型のソリューションが求められるアプリケーションを重視したものです。これは、放熱に使用できる面積に対してのトレードオフがあることを意味します。最大負荷 1.5A で連続動作すると、評価ボードが高温になります。出力電圧が初期設定の -5V よりも負側に大きくなると、総出力電力と変換による総電力損失が増加します。

重要な信号を簡単に接続、測定できるようにテスト・ポイントが設けられています。

デバイスの機能と電氣的特性の詳細については、LM22670 のデータシートを参照してください。評価ボードの負荷電流や出力電圧は、さまざまな値に再設定できます。設計上の制約については、「IC デバイスの定格」を参照してください。

評価ボードの仕様は次のとおりです。

入力電圧範囲: 6V ~ 35V、公称値 12V

出力電圧: -5V

出力電流範囲: 0A ~ 1.5A

動作周波数: 500kHz

ボード寸法: 約 3.8 × 4.2cm (1.5 × 1.65 インチ)

パッケージ: PSOP-8

## 評価ボードの起動

LM22670 極性反転評価ボードに電源電圧を印加する前に、外部接続をすべて確認してください。外部電源入力をオフにして、VIN と GND 端子に正しい極性で接続してください。必要に応じて、負荷抵抗または電子負荷を VOUT および GND 端子に接続します。VIN と VOUT 接続には、それぞれの端子に最も近い GND 端子を使用してください。出力電圧は、VOUT 端子からマルチメータまたはオシロスコープによって測定できます。評価ボードのすべての接続を確認したら、入力電源電圧を印加します。負荷抵抗または電子負荷は、起動時には接続してなくても構いません。テスト・ポイント EN をフローティングのままにすると、入力電圧を印加した時点で出力電圧が起動します。外部電源 (入力電圧の電源) が、設定した出力電圧を得るための十分な電流を供給できることを確認してください。起動電流は定常状態の電流よりも大きくなることに注意が必要です。

## 動作原理

Figure 1 に示す極性反転コンバータの基本的な動作原理は、オン時間中にインダクタ L1 に蓄積したエネルギーを、オフ時間中にダイオード D1 を通して出力します。スイッチがオンになると、ダイオードは逆バイアス状態になり、インダクタ電流が直線的に増加します。スイッチがオフになると、ピーク・スイッチング電流を維持しようとして、インダクタの極性が反転します。その時点で、ダイオード D1 は順方向にバイアスされ、インダクタに蓄えられていたエネルギーが、負荷ならびに出力コンデンサ C4 に供給されます。

スイッチング・ノードの電位がグラウンドに対して負であるため、出力電圧も負になります。

この種の極性反転コンバータは入力電圧に対し、出力電圧を昇圧 / 降圧にできるため、昇降圧型回路として使用できます。ただし、出力電圧はグラウンドに対して常に負になります。

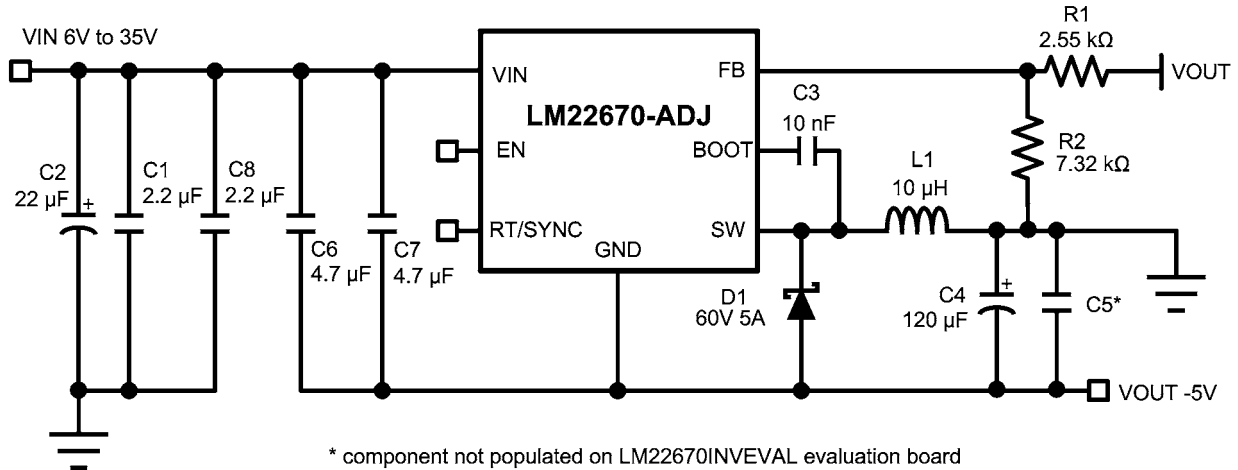


FIGURE 1. Evaluation Board Schematic Inverting Topology

### 設計上の考慮事項

Figure 1 に、LM22670 スイッチング・レギュレータを使用した、代表的な極性反転コンバータの回路を示します。この反転トポロジは、LM2267X SIMPLE SWITCHER<sup>®</sup> ファミリーに属する、すべてのデバイスで実現できます。LM22670 のグラウンド・ピン (GND) が負の出力 VOUT に接続され、フィードバック用の抵抗分圧回路が GND を基準にしていることに注意してください。負の出力電圧をレギュレートするのに、外付けのレベル・シフタやフィードバック信号の反転は必要ありません。フィードバック・ピンをシステムのグラウンドに直接接続すれば、LM22670 の固定電圧バージョンでも、この極性反転コンバータを実現できます。極性反転トポロジは、制御出力伝達関数に右半平面ゼロを持つため、特に安定化させるのが難しい回路です。位相余裕を改善してループを安定化させるために、入力と負の出力の間に 2 つの補償コンデンサ C6 と C7 を接続します。出力電流が 100mA 未満の場合は、コンバータを不連続モード (DCM) で動作させることができ、コンデンサ C6 と C7 が不要になります。コンデンサ C6 と C7 を使用したアプリケーションに最初に電圧を印加する際は、コンデンサへの初期充電電流によって、出力に正の電圧スパイクが発生します。通常、この正の電圧スパイクは小さく、出力コンデンサに損傷を与えることはありません。入力コンデンサの初期充電電流は、コンデンサの ESR による電圧降下を生じさせます。コンデンサ C6/C7 と出力コンデンサ C4/C5 の ESR は抵抗分圧回路を構成するため、初期の電圧スパイクの振幅は、これらのコンデンサの ESR 値によって決まることになります。通常、出力コンデンサの ESR の合計は、補償コンデンサの ESR 値よりも大きいため、初期の電圧スパイクは 500mV 未満となるのが普通です。入力電圧のスルーレートが速いほど、正の電圧スパイクは大きくなります。インダクタの直流抵抗が 2Ω 以上で、初期スタートアップ電流が大きい場合、正の電圧スパイクが 500mV を上回る場合があります。Figure 2 に示すように、電圧クランプ用の小さなショットキ・ダイオード D2 を出力コンデンサ C4 に並列に接続すれば、この正の電圧スパイクを 300mV (typ) にクランプすることができます。通常、このようなクランプ・ダイオードは必要ありません。

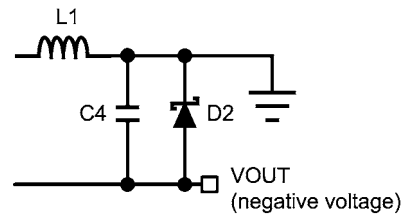


FIGURE 2. Optional Protection Diode D2

### 部品の選択

ここでは、極性反転コンバータ・アプリケーションで使用する部品の定数計算および選択に関して詳細に説明します。計算は、連続モード (CCM) による動作を前提にしています。

## インダクタの選択

デューティ・サイクルは次式で求められます。

$$D = \frac{IV_{OUT} + V_D}{V_{IN} + IV_{OUT} + V_D - V_Q}$$

この式の  $V_D$  はダイオード D1 の電圧降下、 $V_Q$  は LM22670 の内蔵パワー N-FET の電圧降下です。FET 電流から  $V_Q$  を計算するための FET のオン抵抗  $R_{DS(ON)}$  は、LM22670 のデータシートに規定されています。

$$V_Q = I_{PEAK} \times R_{DS(ON)}$$

$I_{PEAK}$  は、アプリケーションのピーク・スイッチング電流です。インダクタの平均電流  $I_L$  を、アプリケーションの負荷電流  $I_{OUT}$  で表すと次式のようにになります。

$$I_L = \frac{I_{OUT}}{1 - D}$$

スイッチング・レギュレータのアプリケーションに必要なインダクタンスを計算する方法はいくつもあります。推奨する計算方法は、インダクタのリップル電流  $\Delta I_L$  が、インダクタの平均電流  $I_L$  の約 30% になるようにします。この計算方法に基づいてインダクタンスを決めればレギュレータが連続モード (CCM) で動作し、出力電圧リップルを許容できる値に抑えられます。以上より、まずインダクタのリップル電流のピーク・ツー・ピーク値  $\Delta I_L$  を次の式で決定します。

$$\Delta I_L \cong 0.3 \times I_L$$

ここから、必要なインダクタンスを次式によって求めます。

$$L = \frac{V_{IN} \times D}{F \times \Delta I_L}$$

F はアプリケーションのスイッチング周波数です。RT/SYNC ピンがフローティングの場合、LM22670 は 500kHz (typ) でスイッチングします。インダクタが飽和しないように、インダクタの RMS 定格電流は最大電流リミット値  $I_{CL}$  以上でなければなりません。最大電流リミット値  $I_{CL}$  は、LM22670 のデータシートの「電気的特性」に記載されています。

## IC デバイスの定格

DC/DC 極性反転コンバータは、ピーク・スイッチング電流  $I_{PEAK}$  および最大入力電圧  $V_{INMAX}$  に対して、次のような定格値を持つ必要があります。ピーク・スイッチング電流の定格は次式で決まります。

$$I_{PEAK} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2}$$

LM22670 のグラウンド・ピン GND は出力電圧に接続されているため、入力電圧の最大定格は、アプリケーションの入力電圧  $V_{IN}$  に出力電圧  $V_{OUT}$  の絶対値を加えた電圧以上でなければなりません。したがって、IC の入力電圧の最大定格は次式となります。

$$V_{INMAX} = V_{IN} + IV_{OUT}$$

最大負荷電流  $I_{OUT(MAX)}$  は、デューティ・サイクル D とインダクタの値 L で決まります。Figure 3 に示すとおり、極性反転トポロジーでは、LM22670 3A 降圧スイッチング・レギュレータが常

に 3A の負荷電流を供給できるとは限らないため、この式は重要になります。

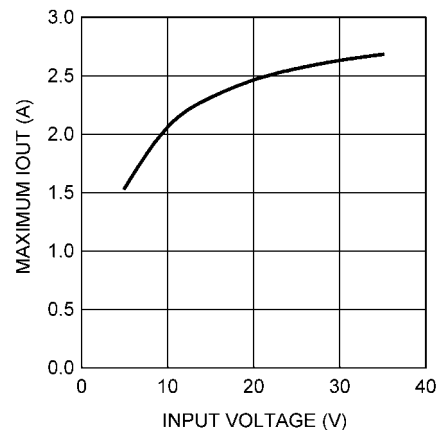


FIGURE 3. LM22670 Input Voltage vs Maximum Load Current ( $V_{OUT} = -5V$ ,  $L = 10 \mu H$ )

任意の回路の最大負荷電流の式は、次の通りです。

$$I_{OUT(MAX)} = \left( I_{CLMIN} - \frac{V_{IN} \times D}{2 \times F \times L} \right) \times (1 - D)$$

F はスイッチング周波数、 $I_{CLMIN}$  は、LM22670 のデータシートの「電気的特性」で規定された最小電流リミット・スレッショルドです。

## ダイオードの定格

D1 のパラメータは、以下を満たす必要があります。

$$I_{DMAX} = I_{PEAK}$$

$$V_{DMAX} = V_{IN} + IV_{OUT}$$

この式の  $I_{DMAX}$  はダイオード D1 の最大定格電流、 $V_{DMAX}$  は逆方向電圧の最大定格です。

コンバータの効率を高め、EMI を低減するために、順方向電圧の小さいショットキ・ダイオードを推奨します。

## 出力コンデンサの選択

出力コンデンサは、主に ESR の値が小さいという観点から選択する必要がありますが、スイッチがオンになったときに最大負荷電流を供給できるものでなければなりません。ESR の値は負荷インピーダンスと、ダイオード D1 が最初に順方向バイアスされたときの出力電圧リップルを決めます。したがって、目標とする出力電圧リップル  $\Delta V_{OUT}$  を得るために必要な ESR は、次式で表されます。

$$ESR = \frac{\Delta V_{OUT}}{I_{PEAK}}$$

目標とする出力電圧リップルおよび負荷電流に対する出力コンデンサの最小値  $C_{OUTMIN}$  は、次の通りです。

$$C_{OUTMIN} = \frac{I_{OUT} \times D}{F \times \Delta V_{OUT}}$$

## 入力コンデンサの選択

入力コンデンサは、アプリケーション入力の大電流変動に対応できるように、ESR 値が低く、高い RMS 定格電流のものを選択する必要があります。スイッチング・レギュレータの入力ピンの近くに低 ESR のバイパス・コンデンサを配置することを推奨します。入力ラインのインダクタンス成分に起因するスパイクノイズを低減することや、フィルタのコーナー周波数をスイッチング・レギュレータの帯域から遠ざける目的で、比較的大きな ESR の入力コンデンサは入力フィルタとして有効です。

通常、極性反転 (バックブースト) トポロジーを用いたアプリケーションでは入出力の両方にノイズが発生します。このようなノイズがあるために、入力 / 出力のコンデンサは重要な部品になります。

## 同期および調整可能な周波数

外部同期の機能を使用するには、同期電圧を LM22670 のグラウンド・ピン GND を基準として印加することが重要です。反転トポロジーの GND ピンは、負の出力電圧と同じ電位になります。RT/SYNC ピンの絶対最大定格の範囲に収めるために、同期パルスに対して何らかのレベル・シフトが必要になる場合があります。

RT/SYNC ピンと LM22670 の GND ピンの間に抵抗を接続することにより、スイッチング周波数を 500kHz から増減させることができます。外部同期および周波数調整機能の詳細は、LM22670 のデータシートを参照してください。

## 高精度イネーブル

EN ピンを Low に引き下げることで、LM22670 をシャットダウンできます。反転トポロジーでは、EN ピンの電圧を、負の出力電圧に等しい GND ピンの電圧に近づけることを意味します。外部信号を印加する場合、GND ピンに対する EN ピンの電圧が、LM22670 のデータシートに規定された絶対最大定格よりも決して高くないように注意する必要があります。反転アプリケーションでは LM22670 の GND ピンが負の出力電圧となるため、EN ピンを使用するにはレベル・シフトが必要になるでしょう。アプリケーションで EN ピンを使用しない場合はフローティングのまま構いません。

## プリント基板レイアウトのガイドライン

極性反転トポロジーによる LM22670 スwitchング・レギュレータのプリント基板(PCB)レイアウトを Figure 8 に示します。LM2267X SIMPLE SWITCHER<sup>®</sup> ファミリの他のバージョンに対しても同様の PCB レイアウトを使用できます。入力コンデンサをスイッチング・レギュレータの入力ピンのできる限り近くに配置することが極めて重要です。最適性能を得るには、スイッチング・レギュレータのグラウンドを適切に配線する必要があります。グラウンド・プレーンを専用に設け、一点アース方式とすることを推奨します。特に、負荷電流が 1A を超える場合には、配線パターンと部品の配置が重大な影響をもたらします。不適切な設計は、大きなスイッチング電流による誤動作につながります。入出力ラインの大電流電圧スパイクや EMI の問題の主要原因は、多くの場合、配線パターンの寄生インダクタンスです。

Figure 4 に極性反転 (バックブースト) コンバータの電流の流れを示します。一番上の回路図の点線はオン状態で流れる電流です。2 つめの回路図はオフ状態で流れる電流を示しています。最後の回路図には AC 電流と見なされる電流の経路を示してあります。この AC 電流は、非常に短時間で変化するため、最も注意を要する電流です。最後の回路図の点線に相当する配線パターンをできる限り短くしてください。そうすることによりループの面積が減り、ループ・インダクタンスが低減されます。極性反転トポロジーの AC 電流経路を降圧型または昇圧型トポロジーと比べてみると、影響の大きい AC 配線パターンが多くなっていることがわかります。通常、重要な AC 電流経路のすべてを同時に最短にはできないため、何らかのトレードオフが必要になります。

ノイズに敏感なアプリケーションでは、たとえ入出力フィルタに低 ESR のコンデンサを使用しても、入出力の電圧スパイクを許容範囲に収められない場合があります。そのような場合には、入力 / 出力への L/C フィルタ追加を検討する必要があります。

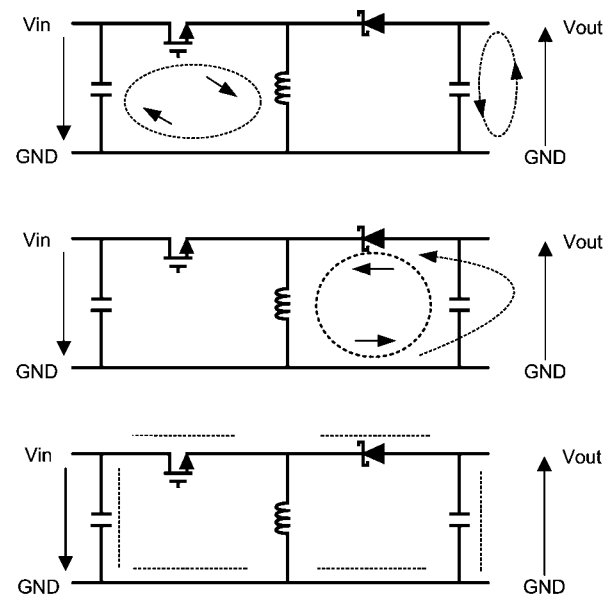


FIGURE 4. Current Flow in a Polarity-Inverting (Buck-Boost) Application

## 安定性に関する考慮事項

パルス幅変調スイッチ・モードの DC/DC コンバータは、周波数応答制御ループを含みます。このループがあらゆる動作条件に対して安定となる設計を行う必要があります。

スイッチング・レギュレータのループの安定性に影響を与えるのは、インダクタ、ESR も含めた出力コンデンサ、補償コンデンサ C6 と C7 の値です。極性反転コンバータでは安定性の検証が必要です。

### 安定性に関する考慮事項 (つづき)

安定性の検証として、はじめに LM22670 の SW ピンに現れるスイッチング電圧の波形を観測します。この波形があらゆる入力電圧および負荷電流の条件で安定しており、ジッタが観測されなければ、安定な設計と判断できます。第 2 の安定性に関する測定は、パルス負荷テストつまり負荷過渡応答テストです。このテストでは、最小負荷と最大負荷の間で負荷電流をパルス状 (鋭い立ち上がりの矩形波) に変化させながら、出力電圧の波形をオシロスコープで測定します。このような条件の負荷電流の変動に対して、出力電圧が過剰な振動をせずに応答する必要があります。このパルス負荷テストまたは負荷過渡応答テストは、すべての入力電圧条件に対して確認する必要があります。これらの検証中にスイッチング・レギュレータが不安定な動作を示した場合は、出力コンデンサまたは補償コンデンサ C6 と C7、

あるいはこれら両方を適宜調整しなければなりません。通常、LM22670 極性反転 (バックブースト) アプリケーションでは、コンデンサ C6 と C7 の値を増やすと安定性が向上します。Figure 7 に、入力電圧 12V、負荷電流 1.5A の場合の評価ボード LM22670 INVEVAL の安定性評価結果を示します。入力電圧が 6V 未満の場合、位相余裕が著しく低下します。入力電圧が低いアプリケーションで位相余裕を増やすには、コンデンサ C6 と C7 の値を大きくします。ネットワーク・アナライザを用いてボード線図を作成し、ループ伝達関数をプロットしてみるといいでしょう。

アプリケーション・ノート AN-1889 では、オシロスコープとファンクション・ジェネレータだけを使ってボード線図を作成する方法を詳細に説明しています。

**TABLE 1. LM22670INVEVAL Bill of Materials for VOUT = -5V, Designed for 1.5A Output Current**

Ref #	Value	Supplier	Part Number
C1, C8	2.2 $\mu$ F 50V ceramic	TDK	C3225X7R1H225K
C2	22 $\mu$ F 63V electrolytic	Panasonic	EEEFK1J220XP
C3	10 nF 50V ceramic	TDK	C1608X7R1H103K
C4	120 $\mu$ F 6.3V 24 m $\Omega$ ESR	Nippon Chemi-Con	APXE6R3ARA121ME61G
C5	Not Populated	-	
C6, C7	4.7 $\mu$ F 50V ceramic	TDK	C4532X7R1H475M
D1	60V, 5A	Central Semiconductor	CMSH5-60
L1	10 $\mu$ H 4.09A	Würth	WE-PD L 74477110
		Coilcraft	MSS1260-103MLD
R1	2.55 k $\Omega$	Vishay/Dale	CRCW06032K55FKEA
R2	7.32 k $\Omega$	Vishay/Dale	CRCW06037K32FKEA
R3	Not Populated	-	
U1		National Semiconductor	LM22670MR-ADJ

性能特性

特記のない限り、 $V_{IN} = 12V$ 、 $T_A = 25^\circ C$ 、 $V_{OUT} = -5V$ です。

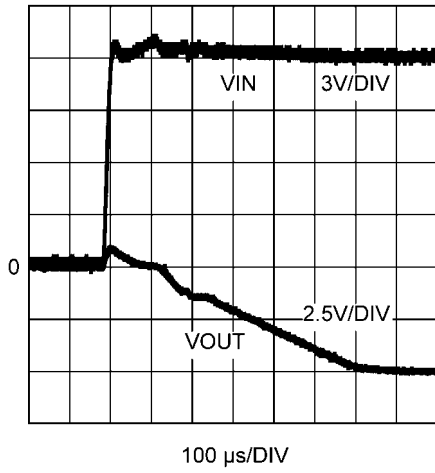


FIGURE 5. Start-Up Waveforms  
(Load Resistor = 4 Ω)

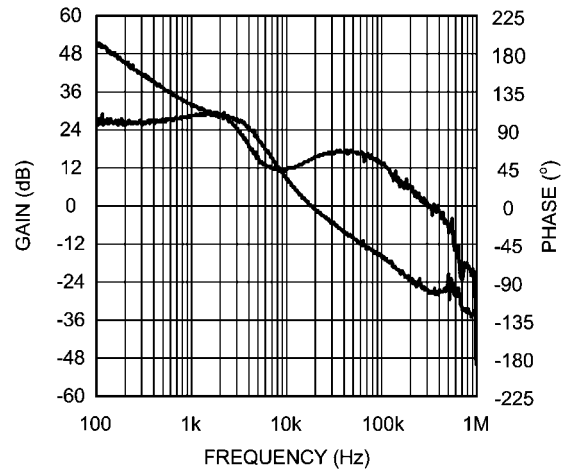


FIGURE 7. Overall Loop Gain and Phase  
( $I_{OUT} = 1.5A$ )

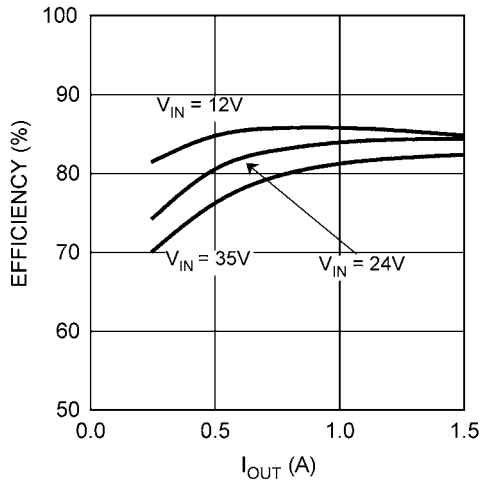
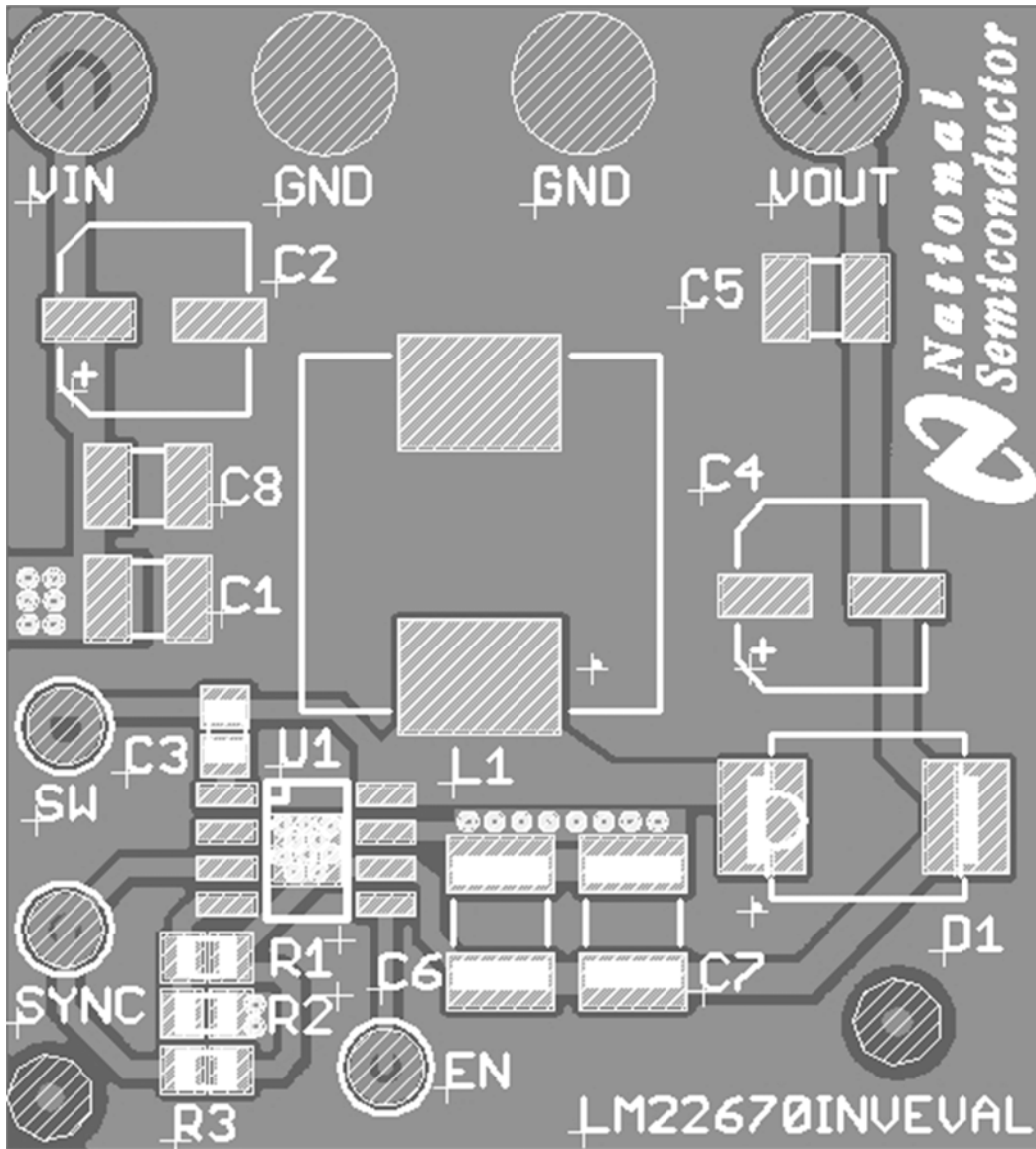


FIGURE 6. Efficiency vs  $I_{OUT}$

プリント基板レイアウト図





プリント基板レイアウト図 (つづき)



FIGURE 8. LM22670INVEVAL PCB Layout

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 © 2010 National Semiconductor Corporation

製品の最新情報については [www.national.com](http://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/](http://www.national.com/jpn/)

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションが適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、お客様のみが単独で負うものとします。上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、TI の販売条件 ([www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html](http://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html))、または [ti.com](http://ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

Copyright © 2018, 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