

NR111E 使用

$V_{OUT} = 5\text{ V}$ 、 $I_{OUT(MAX)} = 4\text{ A}$

DC/DC コンバータ設計例

目次

1. まえがき	3
2. 電源の特長	3
3. 用途	3
4. 設計例外観	3
5. 設計例	4
5.1 電源仕様	4
5.2 回路図	5
5.3 部品表	5
5.4 パターンレイアウト例	6
6. 特性データ	7
6.1 起動/停止特性	7
6.2 過電流特性	7
6.3 無負荷時回路電流特性	8
6.4 効率	9
6.5 ロードレギュレーション特性	9
7. 動作確認	10
7.1 起動動作の確認	10
7.2 スイッチング動作の確認	11
7.3 出力リップル電圧の確認	12
7.4 過渡時の動作の確認	12
注意書き	16

1. まえがき

本資料では、出力電圧 $V_{OUT} = 5\text{ V}$ 、最大出力電流 $I_{OUT(MAX)} = 4\text{ A}$ の DC/DC コンバータの電源設計例について示します。この電源設計例は NR111E を使用しています。NR111E はパワーMOSFET を内蔵した降圧スイッチングレギュレータ IC です。ピーク電流制御方式により、セラミックコンデンサのような超低 ESR のコンデンサで安定に動作します。過電流保護 (OCP)、低入力禁止 (UVLO)、過熱保護 (TSD) などの保護機能を有しています。

本資料では、設計例の仕様、回路図、部品表、部品定数の設定例、パターンレイアウト例、および電源特性の評価結果を示します。本資料記載の部品の詳細は、それぞれのデータシートを参照してください。

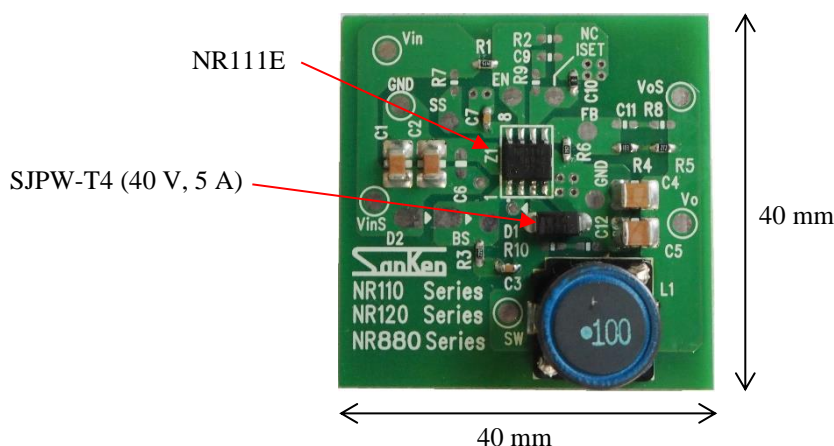
2. 電源の特長

- 効率 94% ($V_{IN} = 9\text{ V}$ 、 $V_O = 5\text{ V}$ 、 $I_O = 1\text{ A}$)
- 電流モード型 PWM 制御
- 部品点数が少なく、省スペース
パワーMOSFET を内蔵
出力コンデンサにセラミックコンデンサを使用
位相補償回路内蔵
- ソフトスタート機能
外付けコンデンサで時間調整可能
- イネーブル機能
- 保護機能
過電流保護 (OCP) : 垂下型、自動復帰
過熱保護内蔵 (TSD) : 自動復帰
低入力時誤動作防止回路 (UVLO)

3. 用途

- AV 機器
- 白物
- 補助電源
- その他 SMPS

4. 設計例外観



5. 設計例

5.1 電源仕様

項目	記号	測定条件	Min.	Typ.	Max.	単位
入力						
入力電圧	V_{IN}		8	—	31	V
出力						
定格電圧	V_{OUT}		—	5	—	V
定格電流 ⁽¹⁾	I_{OUT}		—	—	4	A
出力リップル電圧	V_{RIPPLE}	$V_{OUT} = 5\text{ V}$ 、 $I_{OUT} = 4\text{ A}$ 、 $C4 = 22\text{ }\mu\text{F}$ 、 $C5 = 22\text{ }\mu\text{F}$ ⁽²⁾	—	20	—	mV _{P-P}
効率	η	$V_{IN} = 9\text{ V}$ 、 $I_{OUT} = 0.5\text{ A}$ 、 $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	—	94	—	%
環境						
コンダクションノイズ	—	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	CISPR22B / EN55022B 適合		—	—
温度						
動作周囲温度 ⁽¹⁾	T_{OP}		-40	—	85	°C

⁽¹⁾ 熱減定格の範囲内で使用する必要があります。詳細は NR111E のデータシートを参照してください。

⁽²⁾ C4、C5 は低 ESR タイプのセラミックコンデンサを使用しています。

5.2 回路図

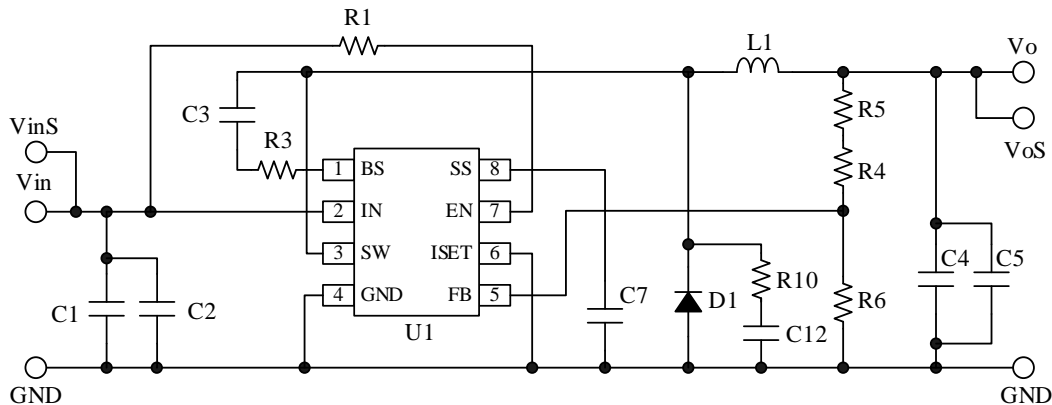


図 5-1 回路図

5.3 部品表

部品番号	部品	定格	備考
C1	チップセラミックコンデンサ	10 μ F, 50 V, 3216	
C2	チップセラミックコンデンサ	10 μ F, 50 V, 3216	
C3	チップセラミックコンデンサ	0.1 μ F, 50 V, 1608	
C4	チップセラミックコンデンサ	22 μ F, 25 V, 3225	低 ESR タイプ
C5	チップセラミックコンデンサ	22 μ F, 25 V, 3225	低 ESR タイプ
C7	チップセラミックコンデンサ	0.1 μ F, 50 V, 1608	
C12	チップセラミックコンデンサ	Open	調整用
D1	ショットキダイオード	40 V, 5.0 A	SJPW-T4 (サンケン電気)
L1	インダクタ	10 μ H	SLF12575T-100M5R4-P (TDK)
R1	チップ抵抗	510 k Ω , 0.1 W, 1608	
R3	チップ抵抗	22 Ω , 0.1 W, 1608	
R4	チップ抵抗	10 k Ω , 0.1 W, 1608	
R5	チップ抵抗	1.5 k Ω , 0.1 W, 1608	
R6	チップ抵抗	2.2 k Ω , 0.1 W, 1608	
R10	チップ抵抗	Open	調整用
U1	降圧スイッチングレギュレータ IC	eSOIC8	NR111E (サンケン電気)

5.4 パターンレイアウト例

基板サイズ：40 mm × 40 mm

本基板は他製品との共通基板です。回路図に記載のない部品は使用しません。

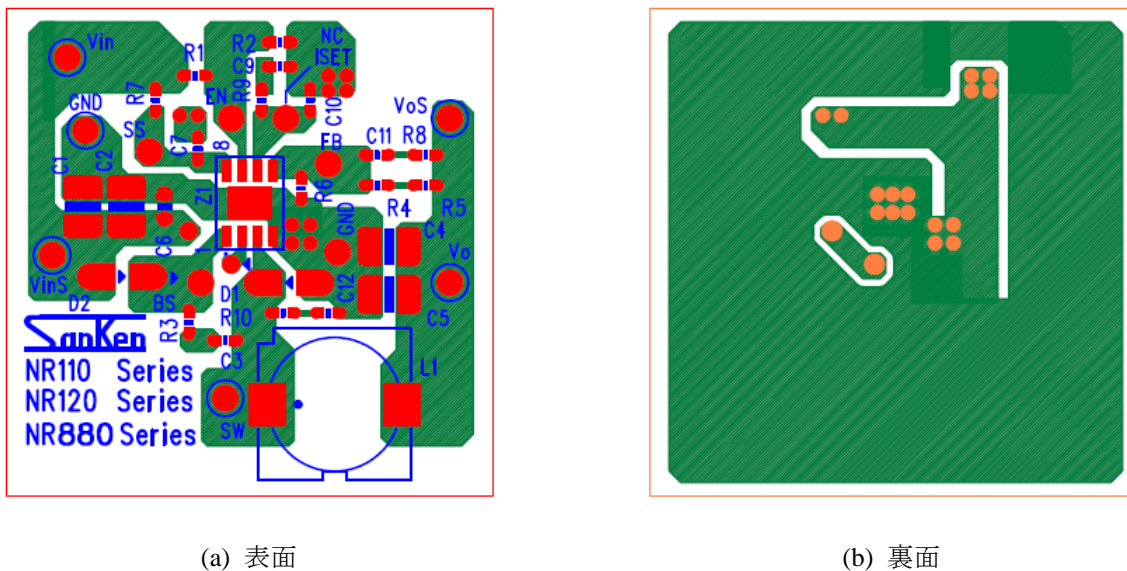


図 5-2 パターンレイアウト例

6. 特性データ

本資料に記載のデータは、室温で測定したものです。特に指定のない場合の測定条件は、 $V_{IN} = 12\text{ V}$ 、 $V_{OUT} = 5\text{ V}$ です。

6.1 起動/停止特性

NR111EはUVLO機能を搭載しています。起動時の出力電圧と入力電圧（IN端子電圧）の特性を図6-1に示します。 $V_{OUT} = 5\text{ V}$ の場合、入力電圧は8V以上に設定することを推奨します。

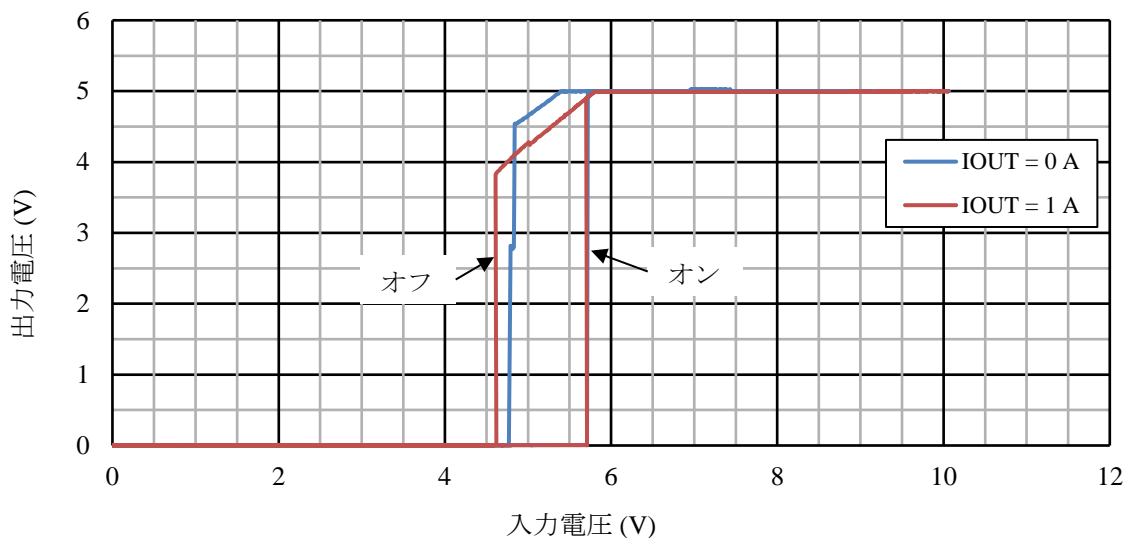


図 6-1 出力電圧 - 入力電圧特性

6.2 過電流特性

NR111Eは垂下型の過電流特性を持っています。図6-2に入力電圧に応じた過電流特性を示します。

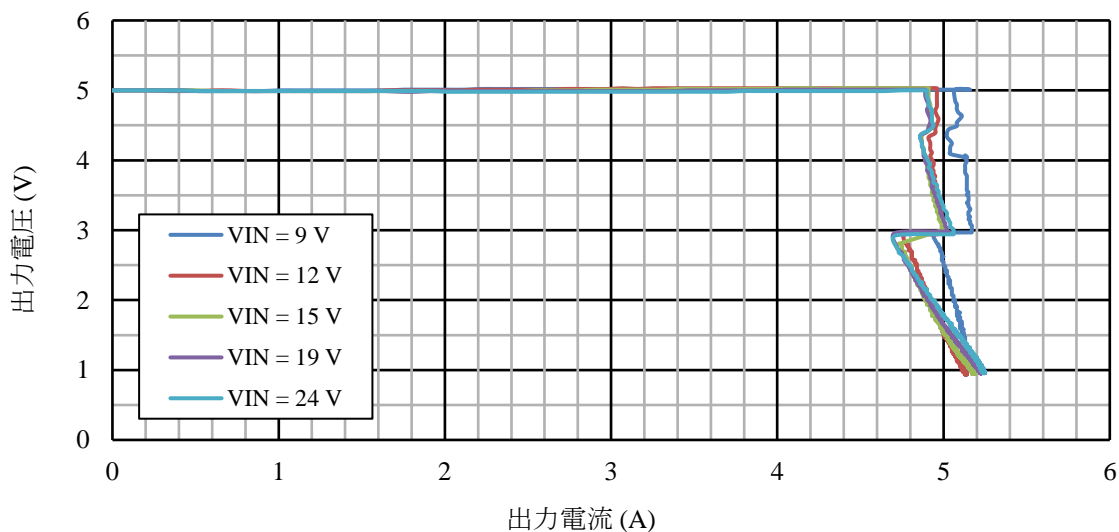


図 6-2 過電流特性

6.3 無負荷時回路電流特性

無負荷時（出力電圧 5 V、出力電流 0 A）のときの回路電流の IN 端子の入力電圧依存性を示します。図 6-3 は IC が動作しているとき、図 6-4 は IC がオフのときの特性です。

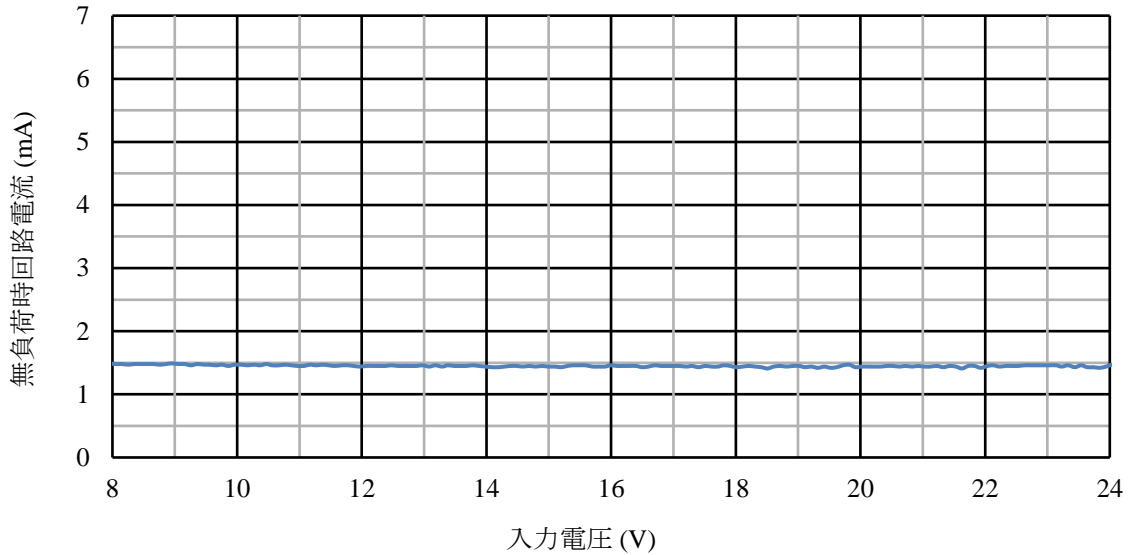


図 6-3 無負荷時回路電流の入力電圧依存性（動作時）

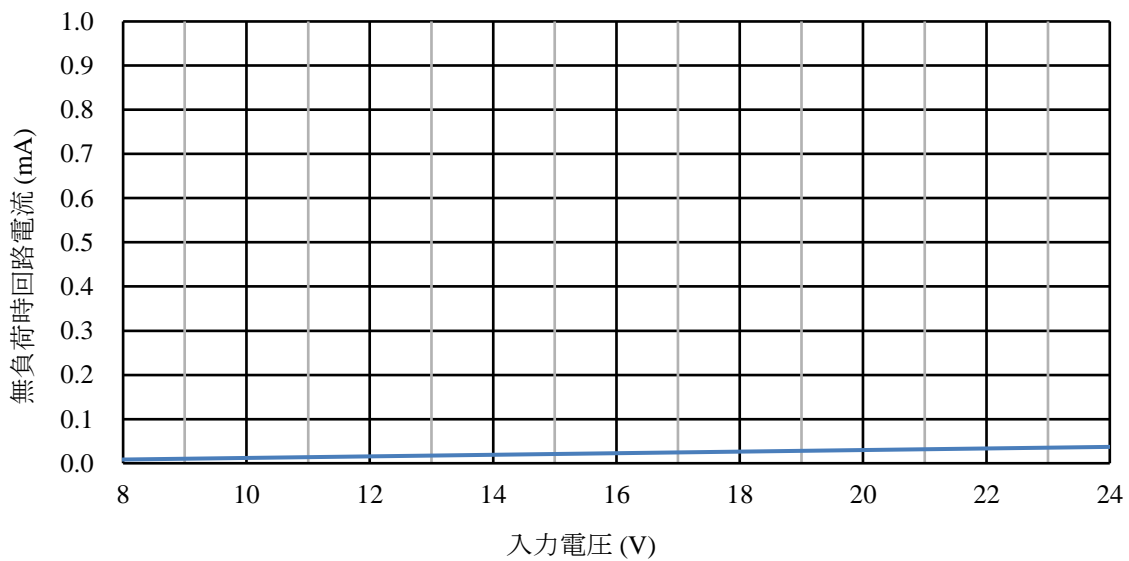


図 6-4 無負荷時回路電流の入力電圧依存性（オフ時）

6.4 効率

図 6-5 に電源効率の出力電流特性を示します。

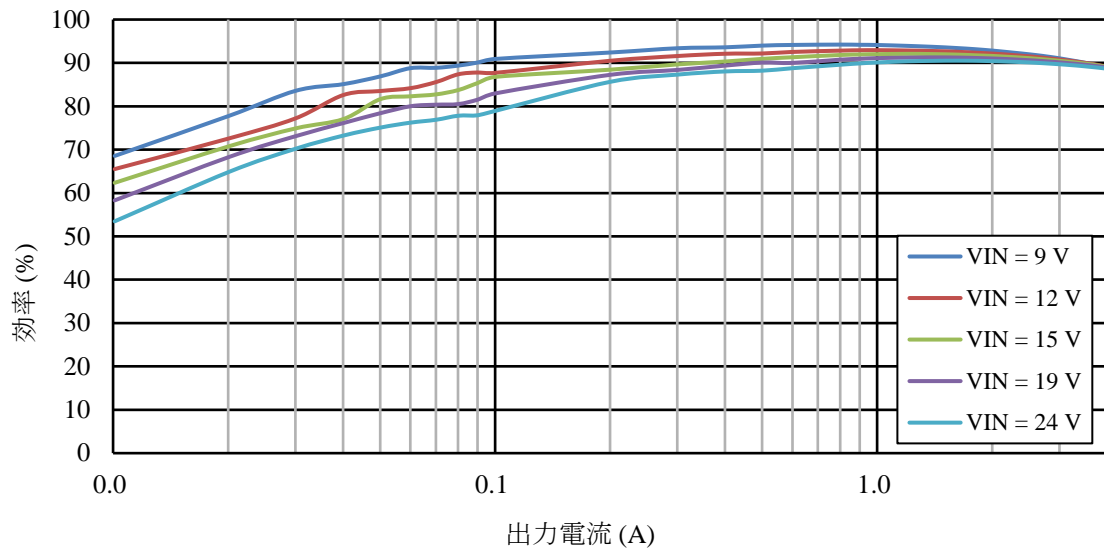


図 6-5 効率 - 出力電流特性

6.5 ロードレギュレーション特性

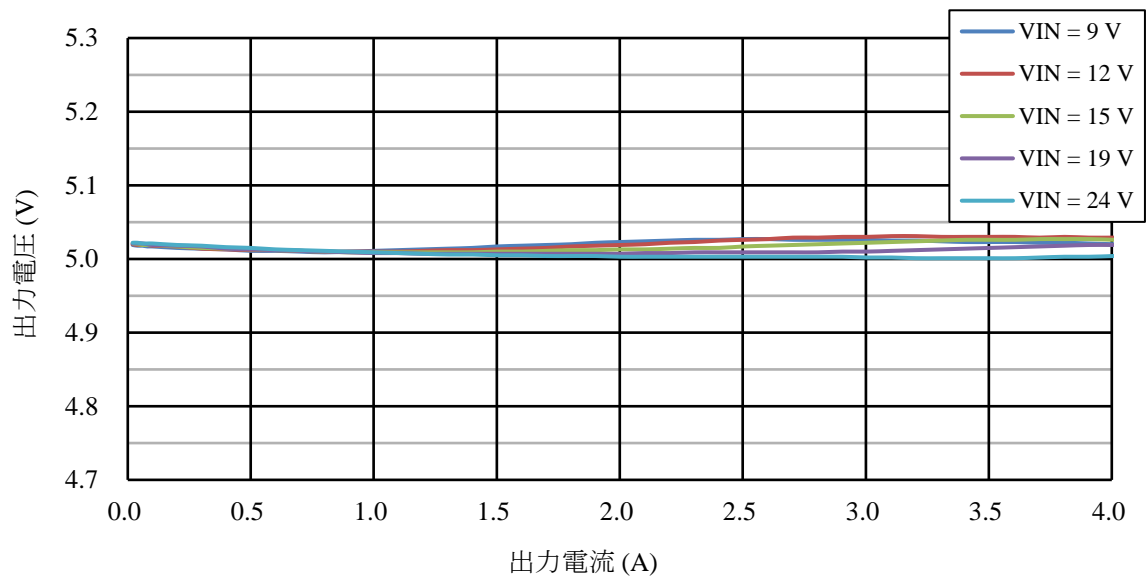


図 6-6 出力電圧 - 出力電流特性

7. 動作確認

本資料に記載のデータは、室温で測定したものです。

特記のない場合の測定条件は、 $V_{IN} = 12\text{ V}$ 、 $V_{OUT} = 5\text{ V}$ です。

NR111E の電気的特性や動作の詳細などは、データシートを参照してください。

7.1 起動動作の確認

電源起動時はソフトスタート機能が動作し、ソフトスタート時間は SS 端子に接続するコンデンサの容量に依存します。イネーブル機能による起動時もソフトスタート機能が動作します。

図 7-1 は、UVLO による起動波形 (EN 端子は IN 端子にプルアップ)、図 7-2 は、EN 端子に外部から信号を入力した場合の起動波形です。

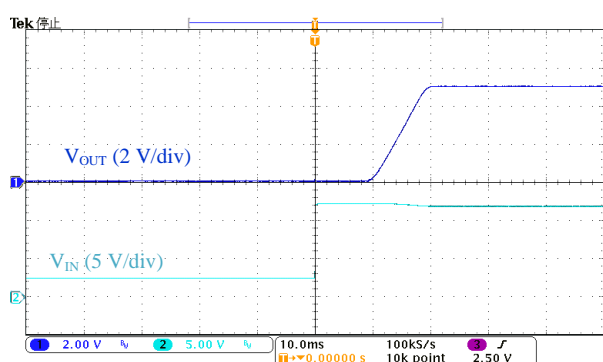


図 7-1 起動時動作波形 (UVLO)
($I_{OUT} = 1\text{ A}$ 、 $C_{SS} = 0.1\text{ }\mu\text{F}$)

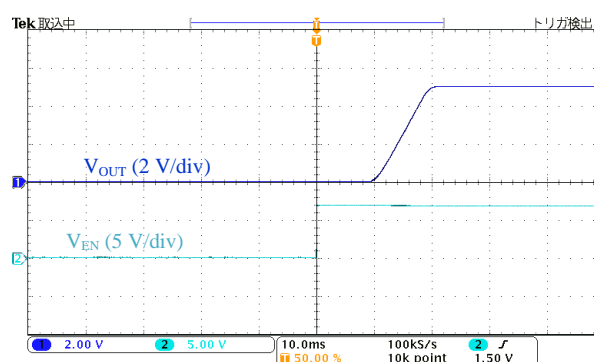


図 7-2 起動時動作波形 (イネーブル機能)
($I_{OUT} = 1\text{ A}$ 、 $C_{SS} = 0.1\text{ }\mu\text{F}$)

7.2 スイッチング動作の確認

図 7-3～図 7-7 に負荷に応じた動作波形を示します。

NR111E は、電流制御方式による PWM 制御で出力電圧を一定に制御しています。重負荷時は動作周波数 $f_{osc} = 350 \text{ kHz (typ.)}$ で PWM 制御し、連続モードで動作します。軽負荷時は、負荷に応じてターンオフのタイミングを制御し、不連続モードになります。最小オン時間は、 $t_{ON(MIN)} = 150 \text{ ns (typ.)}$ で制限されます。

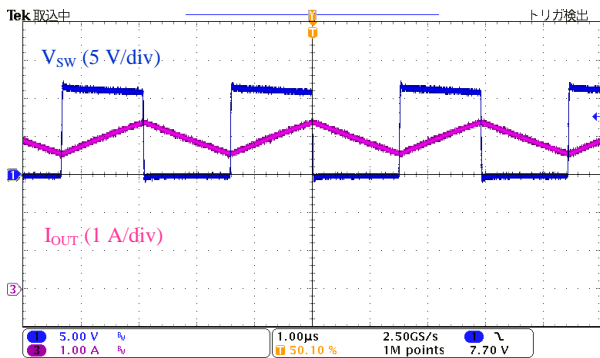


図 7-3 定常時動作波形 ($I_{OUT} = 4 \text{ A}$)

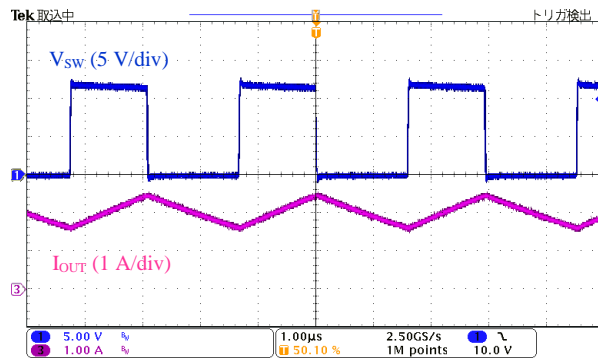


図 7-4 定常時動作波形 ($I_{OUT} = 2 \text{ A}$)

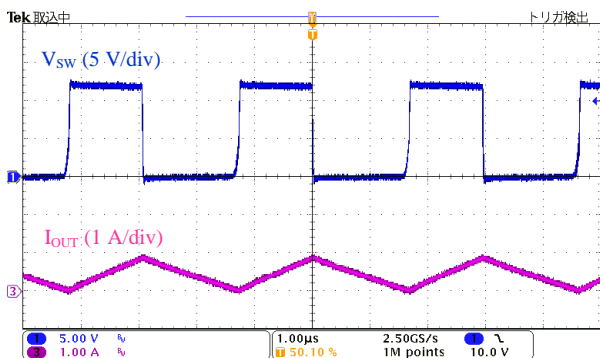


図 7-5 定常時動作波形 ($I_{OUT} = 0.4 \text{ A}$)

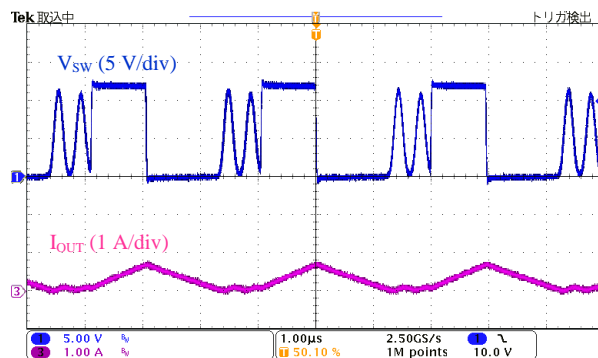


図 7-6 定常時動作波形 ($I_{OUT} = 0.25 \text{ A}$)

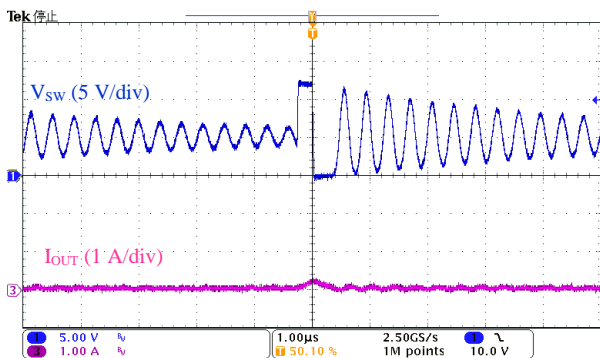


図 7-7 定常時動作波形 ($I_{OUT} = 10 \text{ mA}$)

7.3 出力リップル電圧の確認

本設計例では出力リップル電圧は 20 mV_{P-P} 程度です。オシロスコープの帯域幅は 20 MHz で測定しています。

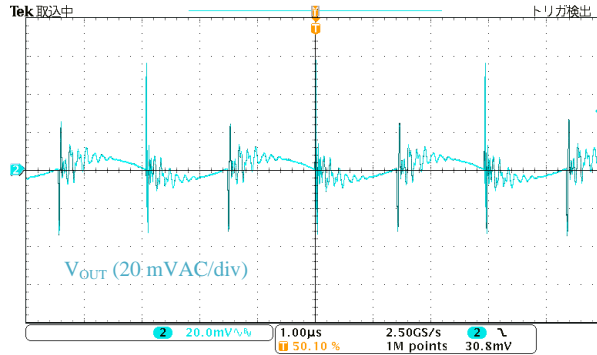


図 7-8 出力リップル電圧波形 ($I_{OUT} = 4 \text{ A}$)

7.4 過渡時の動作の確認

図 7-11～図 7-9 に負荷変動時の動作波形を示します。負荷電流の変化率を 3 A/ms、30 A/ms、300 A/ms にした場合の出力電圧をそれぞれ確認しています。

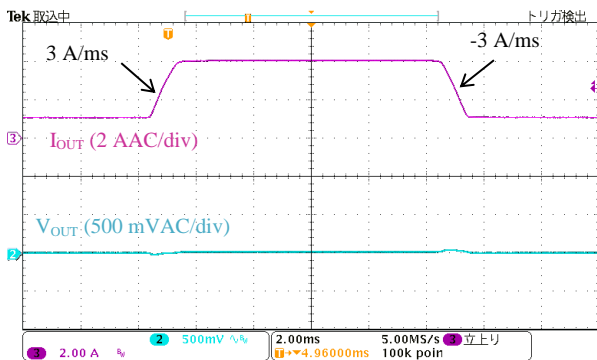


図 7-9 負荷変動時波形 (3 A/ms)

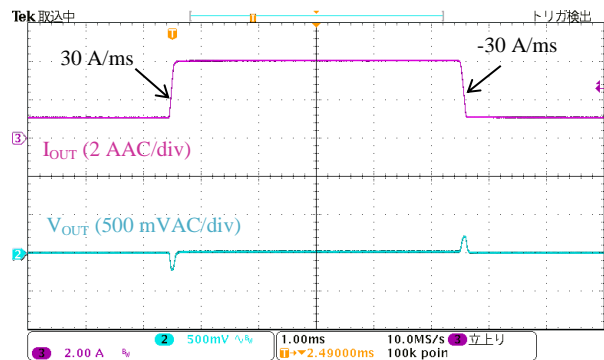


図 7-10 負荷変動時波形 (30 A/ms)

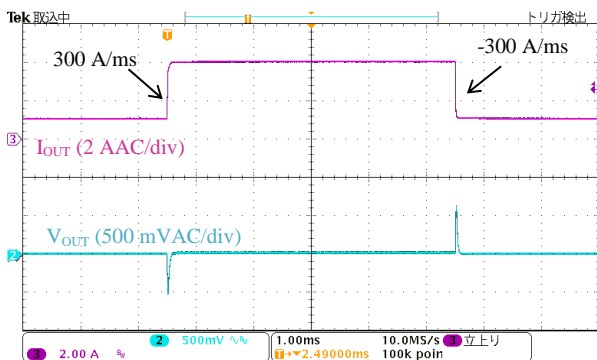


図 7-11 負荷変動時波形 (300 ms/A)

8. 出力電圧の可変

NR111E は FB 端子に接続する抵抗 R4、R5、R6 で出力電圧を可変することが可能です。また、L1 は出力電圧に応じて適切なインダクタンスを選定する必要があります。本項では R4、R5、R6 と L1 の設定方法について説明します。

評価基板の部品を取り外したり、取り付けたりする際は、ヒートガンやホットピンセットなどを使用し、ランドパターンの剥離や他部品への熱ストレスなどに十分注意して実施してください。

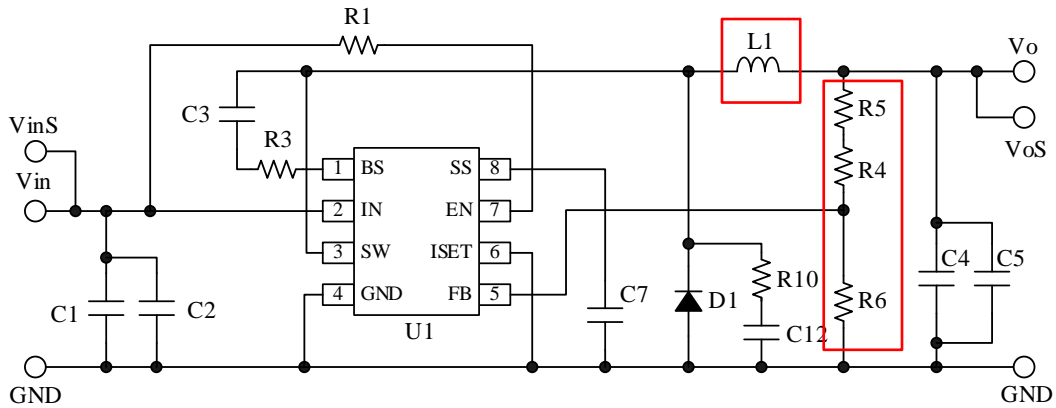


図 8-1 回路図



図 8-2 出力電圧設定抵抗とインダクタ

8.1 R4、R5、R6 の選定

FB 端子は、基準電圧と出力電圧信号を比較するフィードバック端子です。FB 端子は分圧抵抗 R4、R5 と R6 の間に接続されます。しきい電圧 V_{FB} は $0.8\text{ V} \pm 2\%$ です。

出力電圧 V_{OUT} は、このフィードバック抵抗で設定します。フィードバック抵抗を設定する際、これらの抵抗に流れるフィードバック電流 I_{FB} の合計値が 0.2 mA 以上になるよう設定します。 I_{FB} が大きすぎると、消費電力が増加して効率が低下するため注意が必要です。

なお、 V_{OUT} を 0.8 V (V_{FB} と同じ電圧) に設定する場合も、安定動作のために R6 は必ず接続してください。また、降圧コンバータの入力電圧と出力電圧の関係は、SW 端子のオン時間で決まります。SW 端子のオン時間が 200 ns 以上になるように設定してください。

R4、R5、R6 には、次式の関係があります。

$$R4 + R5 = \frac{V_{OUT} - V_{FB}}{I_{FB}} \quad (1)$$

$$R6 = \frac{V_{FB}}{I_{FB}} \quad (2)$$

$$V_{OUT} = (R4 + R5) \times \frac{V_{FB}}{R6} + V_{FB} \text{ (V)} \quad (3)$$

ここで、

V_{OUT} : 出力電圧設定値

I_{FB} : フィードバック電流設定値

V_{FB} : FB 端子しきい電圧 (0.8 V)

以下に、 $V_{OUT} = 3.3\text{ V}$ 、 $I_{FB} = 0.2\text{ mA}$ の場合の R4、R5、R6 の抵抗値の算出例を示します。

$$R6 = \frac{V_{FB}}{I_{FB}} = \frac{0.8}{0.2 \times 10^{-3}} = 4 \text{ (k}\Omega\text{)} \quad (4)$$

$$R4 + R5 = \frac{V_{OUT} - V_{FB}}{I_{FB}} = \frac{3.3 - 0.8}{0.2 \times 10^{-3}} = 12.5 \text{ (k}\Omega\text{)} \quad (5)$$

表 8-1 に代表的な出力電圧におけるフィードバック抵抗の選定例を示します。入出力仕様、熱減定格、抵抗値の精度など、実際の使用における条件の検討および検証は、お客様で実施してください。

表 8-1 出力電圧とフィードバック抵抗の値 (参考値)

出力電圧 (V)	R4 (k Ω)	R5 (k Ω)	R6 (k Ω)	R6 両端電圧 (mV)	I_{FB} (mA)
2.5	3.9	2.2	2.4	800.00	0.33
3.3	3.9	3.6	2.4	800.00	0.33
5.0	7.5	3.0	2.0	800.00	0.40
9.0	15	7.5	2.0	801.62	0.40
12.0	30	3.6	2.4	800.00	0.36
15.0	27	12	2.2	800.97	0.36
19.0	30	20	2.2	800.77	0.36

8.2 L1 の選定

NR111E は、ピーク検出電流制御による電流モード型 PWM 制御を採用しています。ピーク検出電流制御では、デューティが 50% を超えると、インダクタ電流がスイッチング動作周波数の整数倍の周期で変動することがあります。このような現象をサブハーモニック発振と呼び、ピーク検出電流制御モードでは原理的に発生する問題です。

NR111E は、IC 内部でインダクタ電流を補正して、サブハーモニック発振を抑制しています。インダクタ電流の補正量は出力電圧によって変わるため、L1 は出力電圧に応じて適切な値を設定する必要があります。図 8-3 にサブハーモニック発振を回避するためのインダクタンスの参考選定範囲を示します。インダクタンスの上限は、入出力条件や負荷電流によって変わるため注意が必要です。

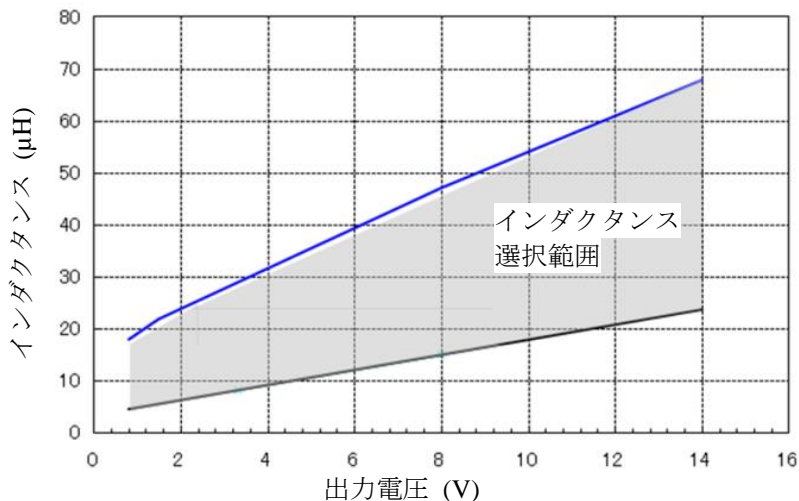


図 8-3 インダクタンス選定範囲 (参考)

安定動作のため、インダクタンスは、デューティが 50% 以下の入出力条件において、インダクタ電流の脈流部 ΔI_L が 0.3 A ~ 1.2 A になるように設定してください。 ΔI_L は次式で計算できます。

$$\Delta I_L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT})}{L \times V_{IN} \times f} \times V_{OUT} \quad (6)$$

ここで、

V_{IN} : 入力電圧

V_{OUT} : 出力電圧

L : インダクタンス

f : 発振周波数 (350 kHz)

ΔI_L から直接インダクタンスを求める場合は、次式で計算できます。

$$L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT})}{\Delta I_L \times V_{IN} \times f} \times V_{OUT} \quad (7)$$

インダクタのピーク電流 I_{LP} は、 ΔI_L と出力電流 I_{OUT} を用いて次式で計算できます。

$$I_{LP} = \frac{\Delta I_L}{2} \times I_{OUT} \quad (8)$$

インダクタ選定の際は、 I_{LP} がインダクタの飽和電流値を超えないように注意してください。

注意書き

- 本書に記載している製品（以下、「本製品」という）のデータ、図、表、およびその他の情報（以下、「本情報」という）は、本書発行時点のものであります。本情報は、改良などで予告なく変更することがあります。本製品を使用する際は、本情報が最新であることを弊社販売窓口を確認してください。
- 本製品は、一般電子機器（家電製品、事務機器、通信端末機器、計測機器など）の部品に使用されることを意図しております。本製品を使用する際は、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。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、防災装置、防犯装置、各種安全装置など）に本製品を使用することを検討する際は、必ず事前にその使用の適否について弊社販売窓口へ相談いただき、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。本製品は、極めて高い信頼性が要求される機器または装置（航空宇宙機器、原子力制御、その故障や誤動作が生命や人体に危害を及ぼす恐れのある医療機器（日本における法令でクラスⅢ以上）など）（以下「特定用途」という）に使用されることは意図されておられません。特定用途に本製品を使用したことでお客様または第三者に生じた損害などに関して、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用するにあたり、本製品に他の製品や部材を組み合わせる際、あるいはこれらの製品に物理的、化学的、その他の何らかの加工や処理を施す際は、使用者の責任においてそのリスクを必ず検討したうえで行ってください。
- 弊社は、品質や信頼性の向上に努めていますが、半導体製品は、ある確率で欠陥や故障が発生することは避けられません。本製品が故障し、その結果として人身事故、火災事故、社会的な損害などが発生しないように、故障発生率やディレーティングなどを考慮したうえで、使用者の責任において、本製品が使用される装置やシステム上で、十分な安全設計および確認を含む予防措置を必ず行ってください。ディレーティングについては、納入仕様書および弊社ホームページを参照してください。
- 本製品は、耐放射線設計をしておりません。
- 本書に記載している回路定数、動作例、回路例、パターンレイアウト例、設計例、推奨例、本書に記載しているすべての情報、およびこれらに基づく評価結果などは、使用上の参考として示したものです。
- 本情報に起因する使用者または第三者のいかなる損害、および使用者または第三者の知的財産権を含む財産権とその他一切の権利の侵害問題について、弊社は一切その責任を負いません。
- 本情報を、文書による弊社の承諾なしに転記や複製をすることを禁じます。
- 本情報について、弊社の所有する知的財産権およびその他の権利の実施、使用または利用を許諾するものではありません。
- 使用者と弊社との間で別途文書による合意がない限り、弊社は、本製品の品質（商品性、および特定目的または特別環境に対する適合性を含む）ならびに本情報（正確性、有用性、および信頼性を含む）について、明示的か黙示的かを問わず、いかなる保証もしておりません。
- 本製品を使用する際は、特定の物質の含有や使用を規制する RoHS 指令など、適用される可能性がある環境関連法令を十分に調査したうえで、当該法令に適合するように使用してください。
- 本製品および本情報を、大量破壊兵器の開発を含む軍事用途やその他軍事利用の目的で使用しないでください。また、本製品および本情報を輸出または非居住者などに提供する際は、「米国輸出管理規則」や「外国為替及び外国貿易法」など、各国で適用される輸出管理法令などを遵守してください。
- 弊社物流網以外における本製品の落下などの輸送中のトラブルについて、弊社は一切その責任を負いません。
- 本書は、正確を期すために慎重に製作したのですが、本書に誤りがないことを保証するものではありません。万一、本情報の誤りや欠落に起因して、使用者に損害が生じた場合においても、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用する際の一般的な使用上の注意は弊社ホームページを、特に注意する内容は納入仕様書を参照してください。
- 本書で使用されている個々の商標、商号に関する権利は、弊社を含むその他の原権利者に帰属します。