

60V、4 スイッチ同期整流式 昇降圧コントローラ

特長

- 4スイッチの単一インダクタ構成により、入力電圧が出力電圧より高い、低い、または等しい条件が可能
- 同期スイッチング: 最大 98.5% の効率
- 広い入力電圧範囲: 4.7V ~ 60V
- 出力電圧精度が 2% の範囲: $1.2V \leq V_{OUT} < 60V$
- 出力電流精度が 6% の範囲: $0V \leq V_{OUT} < 60V$
- 電流モニタ出力を備えた入力電流および出力電流のレギュレーション
- 降圧および昇圧で上側 FET のリフレッシュ不要
- シャットダウン時に V_{OUT} を V_{IN} から切り離し
- C/10 充電終了フラグおよび出力短絡フラグ
- 1つのデバイスで 100W 以上に対応
- 露出パッドを備えた 38ピン TSSOP

アプリケーション

- 車載、テレコムおよび産業用システム
- 高電力バッテリー駆動システム

概要

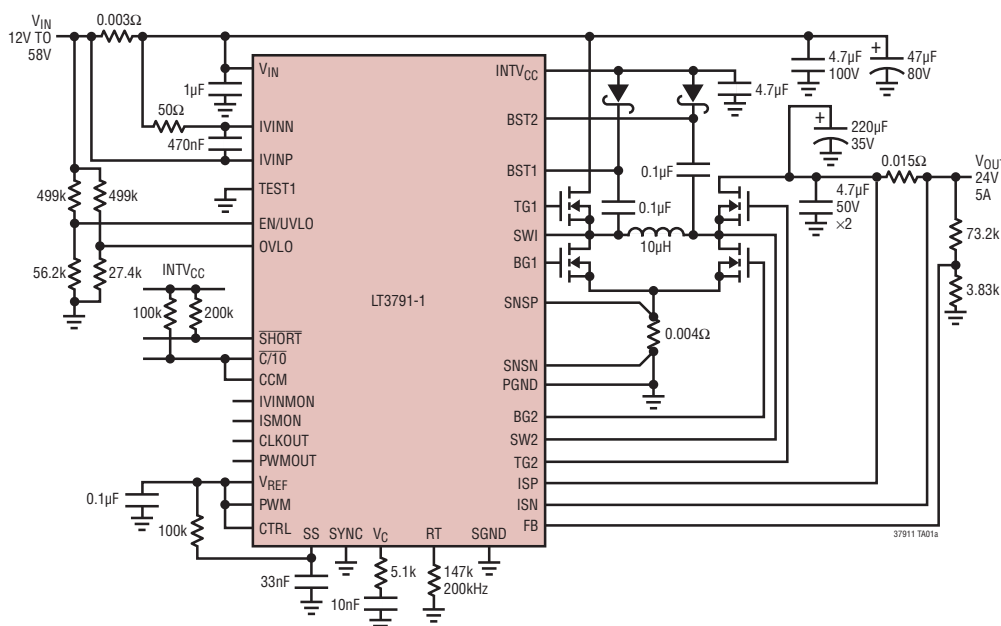
LT[®]3791-1 は、同期整流式の 4 スイッチ昇降圧電圧/電流レギュレータ・コントローラです。このコントローラは、入力電圧が出力電圧より高い、低い、または等しい条件で出力電圧、出力電流、または入力電流を安定化することができます。固定周波数の電流モード構成により、200kHz ~ 700kHz の範囲でデバイスの周波数を調整することや、同期することができます。降圧動作または昇圧動作では、上側 FET のリフレッシュ・スイッチング・サイクルは必要ありません。60V 入力、60V 出力機能、および動作領域間の継ぎ目のない遷移により、LT3791-1 は、自動車用システム、産業用システム、通信システム、さらに電池駆動式システムで、電圧レギュレータ、バッテリー/スーパーキャパシタ充電器アプリケーションに最適です。

LT3791-1 は、入力電流モニタ、出力電流モニタ、および各種のステータス・フラグ機能 (C/10 充電終了フラグや短絡出力フラグなど) を備えています。

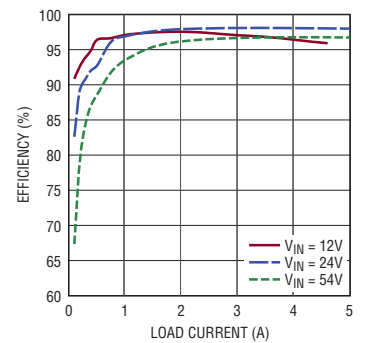
LT、LT、LTC、LTM、Linear Technology および Linear のロゴは、リニアテクノロジー社の登録商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

標準的応用例

120W (24V 5A) 昇降圧電圧レギュレータ



効率と負荷電流



LT3791-1

絶対最大定格

(Note 1)

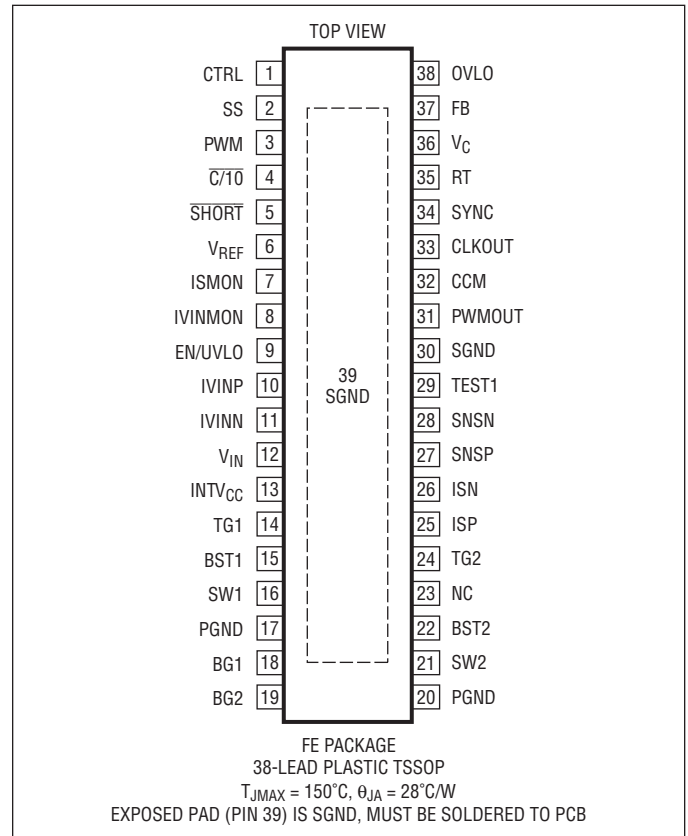
電源電圧

入力電源 (V_{IN})	60V
SW1, SW2	-1V ~ 60V
C/T0, SHORT	15V
EN/UVLO, IVINP, IVINN, ISP, ISN	60V
INTV _{CC} , (BST1-SW1), (BST2-SW2)	6V
CCM, SYNC, RT, CTRL, OVLO, PWM	6V
IVINMON, ISMON, FB, SS, VC, V _{REF}	6V
IVINP-IVINN, ISP-ISN, SNSP-SNSN	±0.5V
SNSP, SNSN	±0.3V

動作接合部温度範囲 (Note 2, 3)

LT3791E-1/LT3791I-1	-40°C ~ 125°C
LT3791H-1	-40°C ~ 150°C
LT3791MP-1	-55°C ~ 150°C
保存温度範囲	-65°C ~ 150°C
リード温度 (半田付け, 10 秒)	300°C

ピン配置



発注情報

無鉛仕上げ	テープアンドリール	製品マーキング*	パッケージ	温度範囲
LT3791EFE-1#PBF	LT3791EFE-1#TRPBF	LT3791FE-1	38-Lead Plastic TSSOP	-40°C ~ 125°C
LT3791IFE-1#PBF	LT3791IFE-1#TRPBF	LT3791FE-1	38-Lead Plastic TSSOP	-40°C ~ 125°C
LT3791HFE-1#PBF	LT3791HFE-1#TRPBF	LT3791FE-1	38-Lead Plastic TSSOP	-40°C ~ 150°C
LT3791MPFE-1#PBF	LT3791MPFE-1#TRPBF	LT3791FE-1	38-Lead Plastic TSSOP	-55°C ~ 150°C

さらに広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。* 温度グレードは出荷時のコンテナのラベルで識別されます。

無鉛仕上げの製品マーキングの詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/leadfree/> をご覧ください。
テープアンドリールの仕様の詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/tapeandreeel/> をご覧ください。

電気的特性

● は全動作接合部温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{EN/UVLO} = 12\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
入力					
V_{IN} Operating Voltage		4.7		60	V
V_{IN} Shutdown I_Q	$V_{EN/UVLO} = 0\text{V}$		0.1	1	μA
V_{IN} Operating I_Q (Not Switching)	$\text{FB} = 1.3\text{V}$, $\text{R}_T = 59.0\text{k}$		3.0	4	mA

37911fa

電気的特性

●は全動作接合部温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{EN/UVLO} = 12\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
ロジック入力						
EN/UVLO Falling Threshold		●	1.16	1.2	1.24	V
EN/UVLO Rising Hysteresis				15		mV
EN/UVLO Input Low Voltage	I_{VIN} Drops Below $1\mu\text{A}$				0.3	V
EN/UVLO Pin Bias Current Low	$V_{EN/UVLO} = 1\text{V}$		2	3	4	μA
EN/UVLO Pin Bias Current High	$V_{EN/UVLO} = 1.6\text{V}$			10	100	nA
CCM Threshold Voltage			0.3		1.5	V
CTRL Input Bias Current	$V_{CTRL} = 1\text{V}$			20	50	nA
CTRL Latch-Off Threshold				175		mV
OVLO Rising Shutdown Voltage		●	2.85	3	3.15	V
OVLO Falling Hysteresis				75		mV
レギュレーション						
V_{REF} Voltage		●	1.96	2.00	2.04	V
V_{REF} Line Regulation	$4.7\text{V} < V_{IN} < 60\text{V}$			0.002	0.04	%/V
$V_{(ISP-ISN)}$ Threshold	$V_{CTRL} = 2\text{V}$	●	97.5	100	102.5	mV
			94	100	106	mV
	$V_{CTRL} = 1100\text{mV}$	●	87	90	93	mV
			84	90	96	mV
$V_{CTRL} = 700\text{mV}$	●	47.5	50	52.5	mV	
		46	50	54	mV	
$V_{CTRL} = 300\text{mV}$	●	6.5	10	13.5	mV	
		5	10	15	mV	
ISP Bias Current				110		μA
ISN Bias Current				20		μA
Output Current Sense Common Mode Range			0		60	V
Output Current Sense Amplifier g_m				890		μS
ISMON Monitor Voltage	$V_{(ISP-ISN)} = 100\text{mV}$	●	0.96	1	1.04	V
Input Current Sense Threshold $V_{(IVINP-IVINN)}$	$3\text{V} \leq V_{IVINP} \leq 60\text{V}$	●	46.5	50	54	mV
IVINP Bias Current				90		μA
IVINN Bias Current				20		μA
Input Current Sense Common Mode Range			3		60	V
Input Current Sense Amplifier g_m				2.12		mS
IVINMON Monitor Voltage	$V_{(IVINP-IVINN)} = 50\text{mV}$	●	0.96	1	1.04	V
FB Regulation Voltage		●	1.194	1.2	1.206	V
		●	1.176	1.2	1.220	V
FB Line Regulation	$4.7\text{V} < V_{IN} < 60\text{V}$			0.002	0.025	%/V
FB Amplifier g_m				565		μS
FB Pin Input Bias Current	FB in Regulation			100	150	nA
V_C Standby Input Bias Current	PWM = 0V		-20		20	nA
$V_{SENSE(MAX)}$ ($V_{SNSP-SNSN}$)	Boost	●	42	51	60	mV
	Buck	●	-56	-47.5	-39	mV
フォルト						
SS Pull-Up Current	$V_{SS} = 0\text{V}$			14		μA
SS Discharge Current				1.4		μA

LT3791-1

電気的特性

●は全動作接合部温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{EN}/UVLO = 12\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
C/T0 Rising Threshold (V_{FB})	$V_{(ISP-ISN)} = 0\text{V}$	●	1.127	1.15	1.173	V
C/T0 Falling Threshold (V_{FB})		●	1.078	1.1	1.122	V
C/T0 Falling Threshold ($V_{(ISP-ISN)}$)	$V_{FB} = 1.2\text{V}$		5	10	15	mV
SHORT Falling Threshold (V_{FB})			380	400	450	mV
C/T0 Pin Output Impedance				1.1	2.0	k Ω
SHORT Pin Output Impedance				1.1	2.0	k Ω
SS Latch-Off Threshold				1.75		V
SS Reset Threshold				0.2		V

発振器

Switching Frequency	$R_T = 147\text{k}$		190	200	210	kHz
	$R_T = 59.0\text{k}$		380	400	420	kHz
	$R_T = 29.1\text{k}$		665	700	735	kHz
SYNC Frequency			200		700	kHz
SYNC Pin Resistance to GND				90		k Ω
SYNC Threshold Voltage			0.3		1.5	V

内部 V_{CC} レギュレータ

INTV _{CC} Regulation Voltage			4.8	5	5.2	V
Dropout ($V_{IN} - \text{INTV}_{CC}$)	$I_{\text{INTV}_{CC}} = -10\text{mA}$, $V_{IN} = 5\text{V}$			240	350	mV
INTV _{CC} Undervoltage Lockout			3.1	3.5	3.9	V
INTV _{CC} Current Limit	$V_{\text{INTV}_{CC}} = 4\text{V}$			67		mA

PWM

PWM Threshold Voltage			0.3		1.5	V
PWM Pin Resistance to GND				90		k Ω
PWMOUT Pull-Up Resistance				10	20	Ω
PWMOUT Pull-Down Resistance				5	10	Ω

NMOSドライバ

TG1, TG2 Gate Driver On-Resistance Gate Pull-Up Gate Pull-Down	$V_{BST} - V_{SW} = 5\text{V}$			2.6		Ω
				1.7		Ω
BG1, BG2 Gate Driver On-Resistance Gate Pull-Up Gate Pull-Down	$V_{\text{INTV}_{CC}} = 5\text{V}$			3		Ω
				1.2		Ω
TG Off to BG On Delay	$C_L = 3300\text{pF}$			60		ns
BG Off to TG On Delay	$C_L = 3300\text{pF}$			60		ns
TG1, TG2, $t_{OFF}(\text{MIN})$	$R_T = 59.0\text{k}$			240	300	ns

Note 1: 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性がある。また、長期にわたって絶対最大定格条件に曝すと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与える恐れがある。

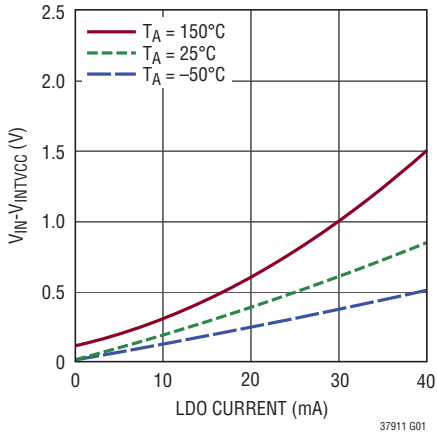
Note 2: LT3791E-1は、 $0^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の接合部温度で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の動作接合部温度範囲での仕様は設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの関連で確認されている。LT3791I-1は、 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の動作接合部温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。LT3791H-1は、 $-40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ の動作接

合部温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。LT3791MP-1は、 $-55^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ の動作接合部温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。高い接合部温度は動作寿命に悪影響を及ぼす。接合部温度が 125°C を超えると、動作寿命が短くなる。

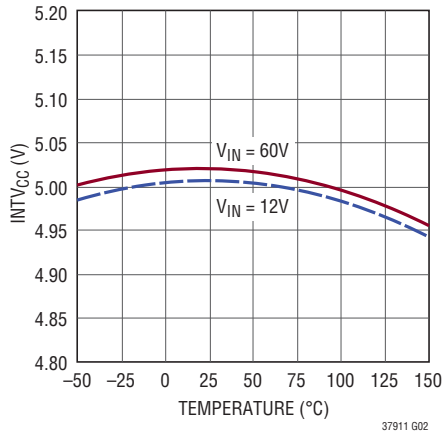
Note 3: LT3791-1には、短時間の過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能が備わっている。過熱保護がアクティブなとき、接合部温度は最大動作接合部温度を超える。規定された絶対最大動作接合部温度を超えた動作が継続すると、デバイスの信頼性を損なう恐れがある。

標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

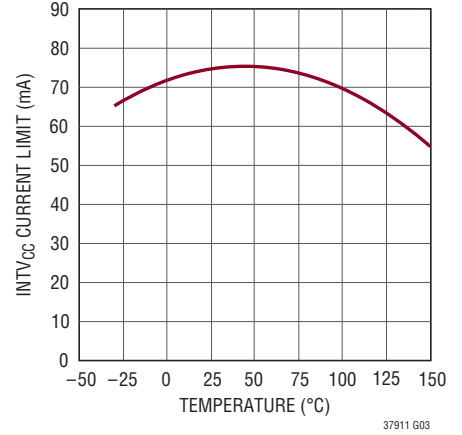
INTV_{CC}のドロップアウト電圧と電流、温度



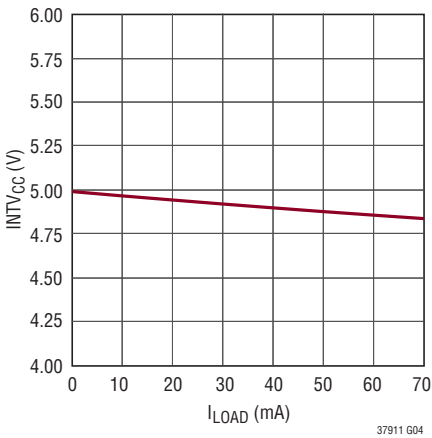
INTV_{CC}の電圧と温度



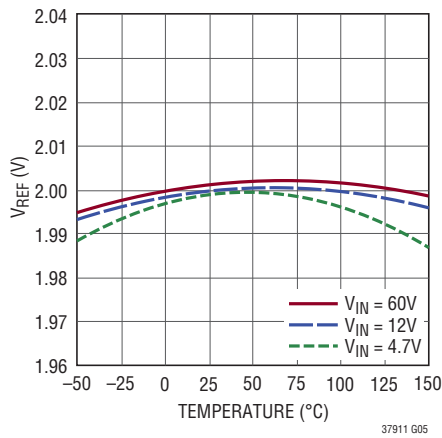
INTV_{CC}の電流制限と温度



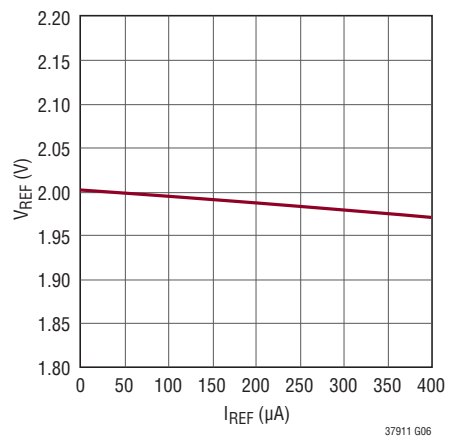
INTV_{CC}の負荷レギュレーション



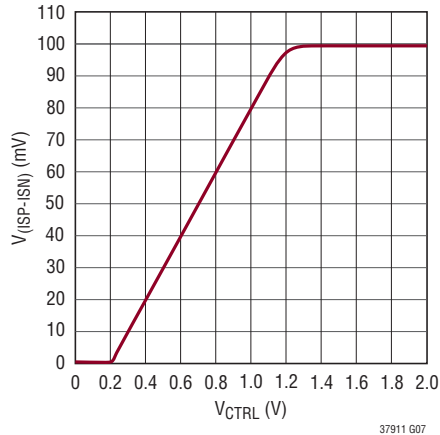
V_{REF}の電圧と温度



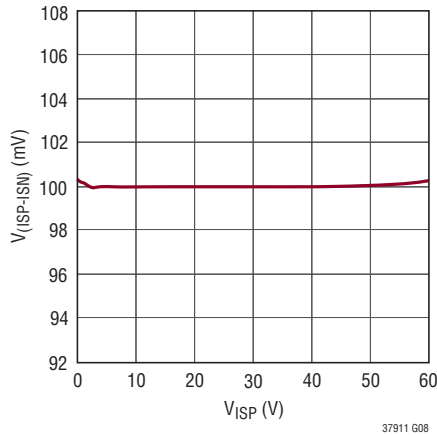
V_{REF}の負荷レギュレーション



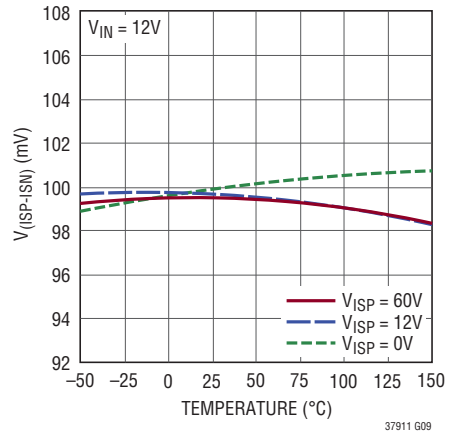
V_(ISP-ISN)しきい値とV_{CTRL}



V_(ISP-ISN)しきい値とV_{ISP}



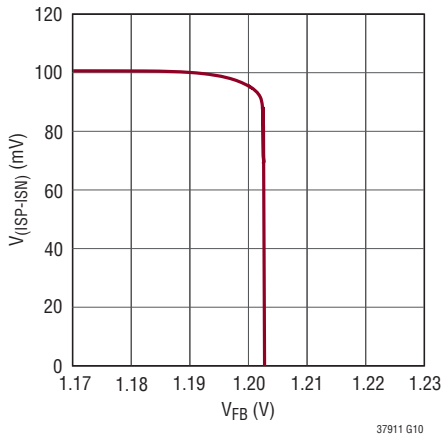
V_(ISP-ISN)しきい値と温度



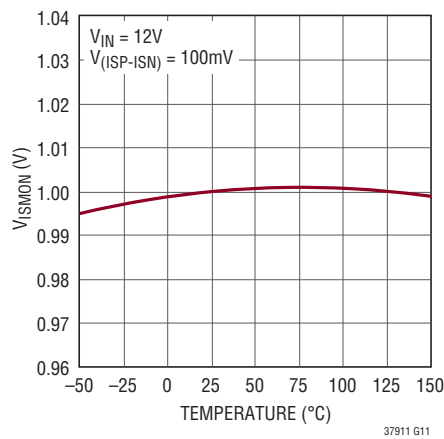
LT3791-1

標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

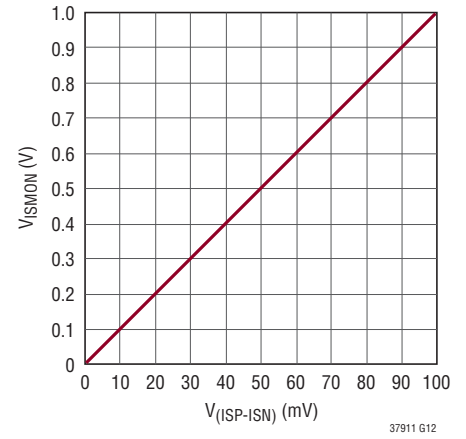
$V_{(ISP-ISN)}$ しきい値と V_{FB}



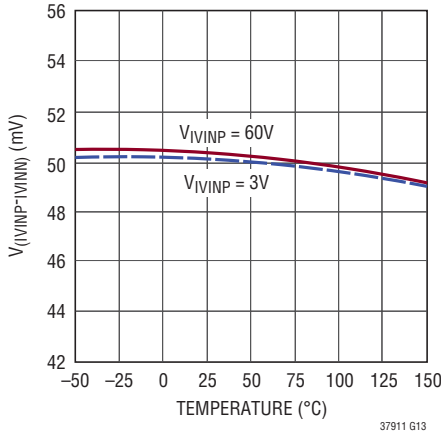
ISMON の電圧と温度



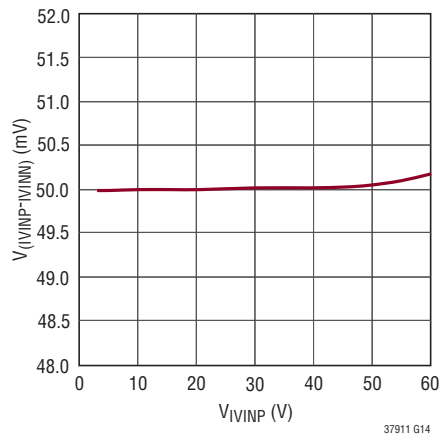
ISMON の電圧と $V_{(ISP-ISN)}$



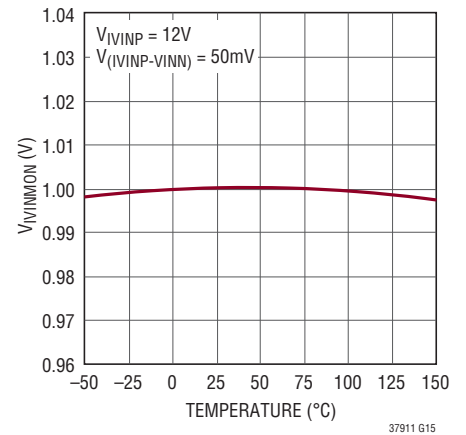
$V_{(IVINP-IVINN)}$ しきい値と温度



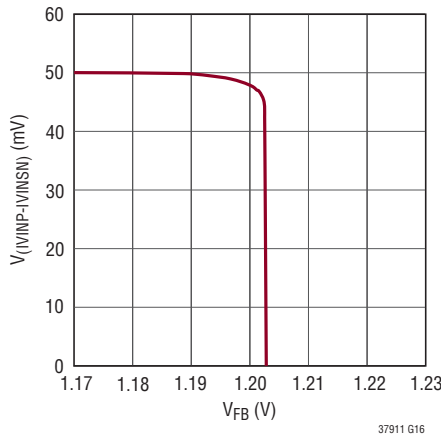
$V_{(IVINP-IVINN)}$ しきい値と V_{IVINP}



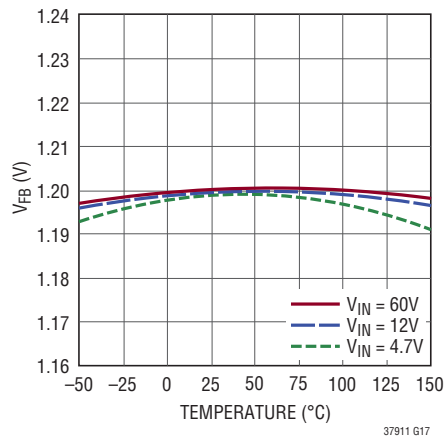
IVINMON の電圧と温度



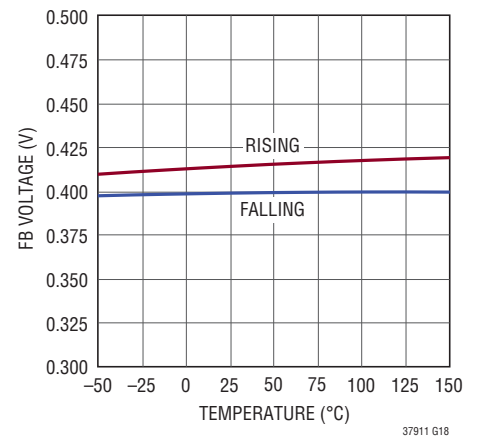
$V_{(IVINP-IVINSU)}$ しきい値と V_{FB}



FB のレギュレーション電圧と温度



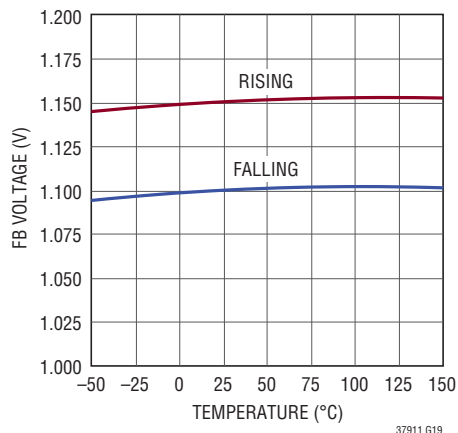
SHORT のしきい値と温度



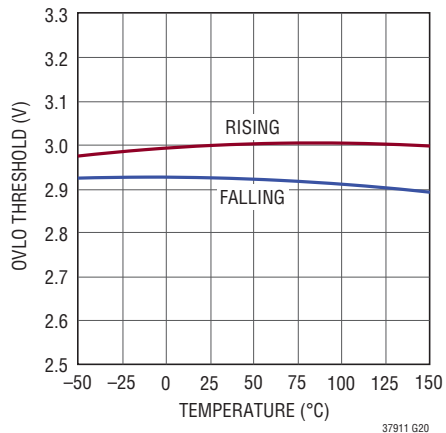
37911fa

標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

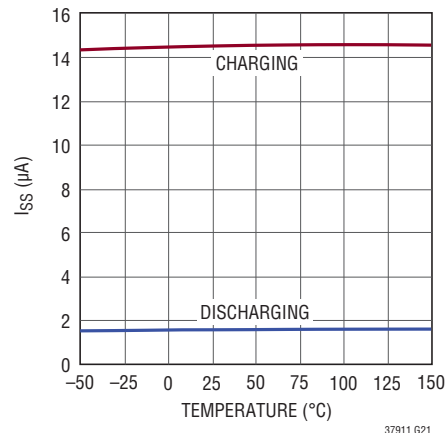
C/10のしきい値と温度



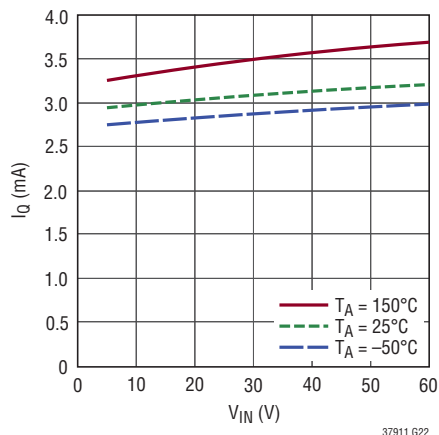
OVLOのしきい値と温度



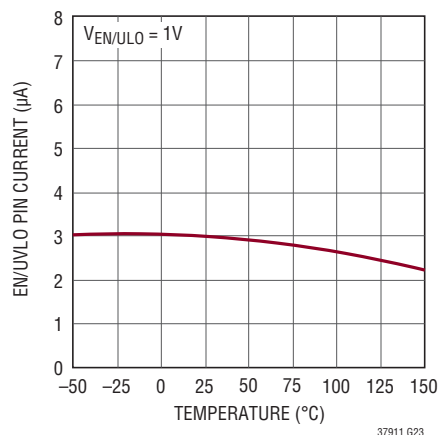
ソフトスタートの電流と温度



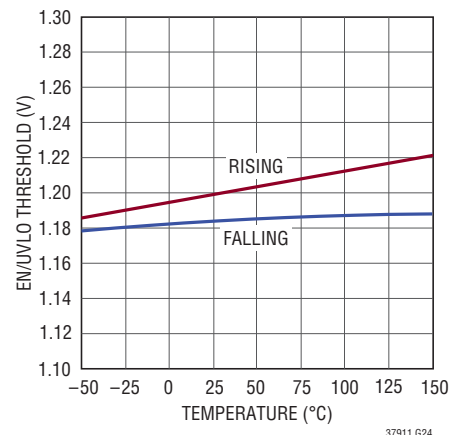
電源電流と入力電圧



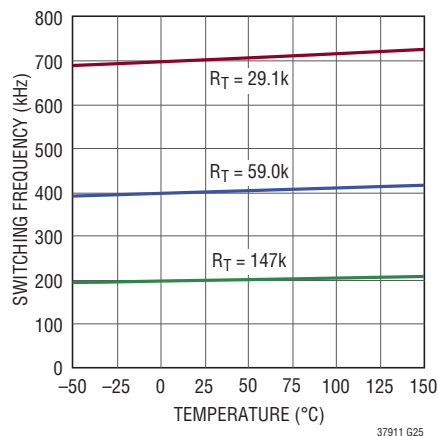
EN/UVLOピンの電流



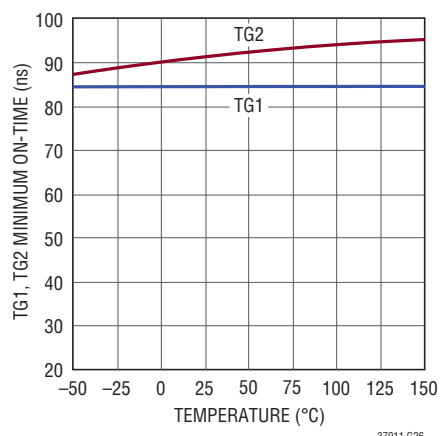
EN/UVLOのしきい値電圧



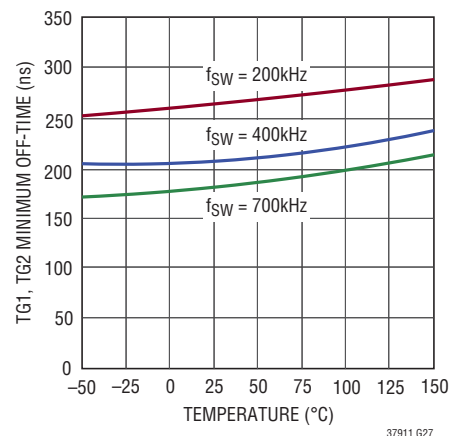
発振器周波数と温度



TG1、TG2の最小オン時間と温度



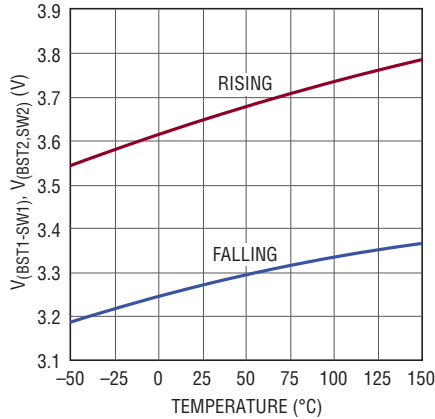
TG1、TG2の最小オフ時間と温度



LT3791-1

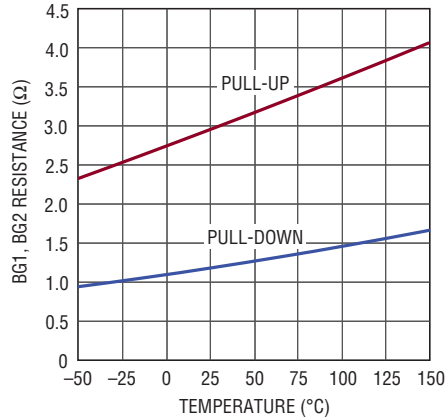
標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

$V_{(BST1-SW1)}$ 、 $V_{(BST2-SW2)}$ UVLO と温度



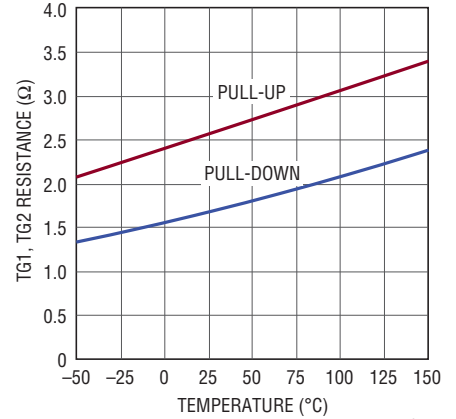
37911 G28

BG1、BG2 ドライバのオン抵抗と温度



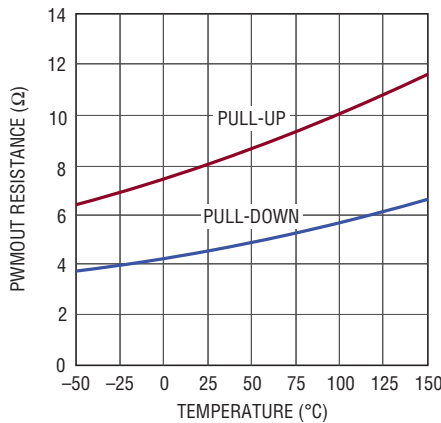
37911 G29

TG1、TG2 ドライバのオン抵抗と温度



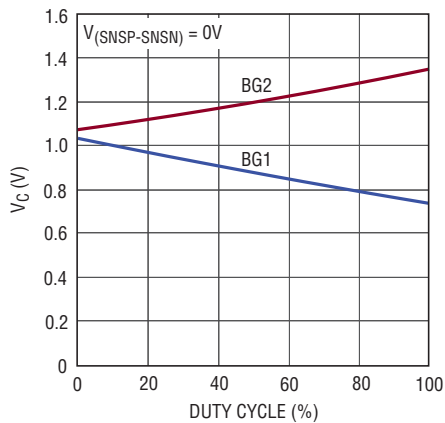
37911 G30

PWMOUT のオン抵抗と温度



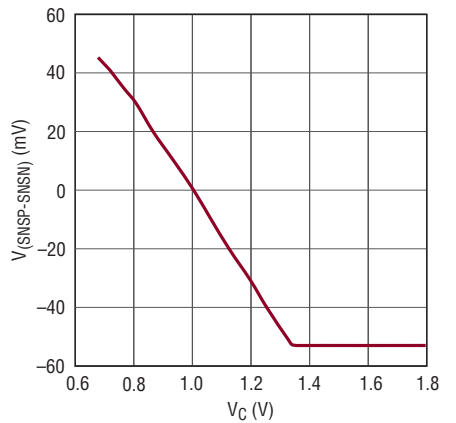
37911 G31

V_C 電圧とデューティサイクル



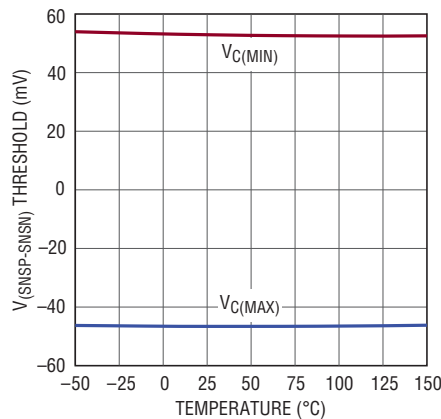
37911 G32

$V_{(SNSP-SNSN)}$ 降圧しきい値と V_C



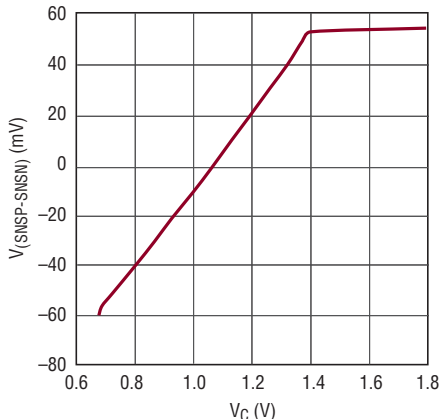
37911 G33

$V_{(SNSP-SNSN)}$ 降圧しきい値と温度



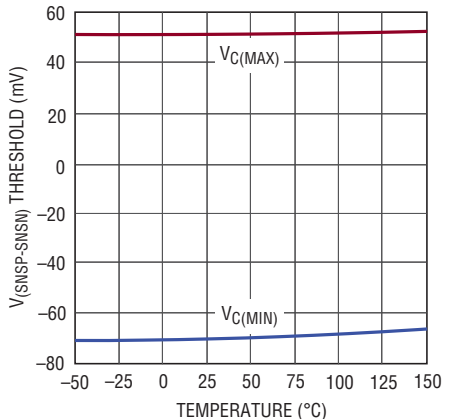
37911 G34

$V_{(SNSP-SNSN)}$ 昇圧しきい値と V_C



37911 G35

$V_{(SNSP-SNSN)}$ 昇圧しきい値と温度



37911 G36

37911fa

ピン機能

CTRL (ピン1)：出力電流検出しきい値の調整ピン。調整しきい値 $V_{(ISP-ISN)}$ は $(V_{CTRL} - 200\text{mV})$ の1/10です。CTRLの線形範囲は200mV～1.1Vです。 $V_{CTRL} > 1.3\text{V}$ の範囲における電流検出しきい値は、100mVのフルスケール値で一定です。 $1.1\text{V} < V_{CTRL} < 1.3\text{V}$ の範囲では、電流検出しきい値の V_{CTRL} への依存性は線形関数から一定値へ変化し、 $V_{CTRL} = 1.2\text{V}$ までにフルスケールの98%に達します。しきい値をデフォルトの100mVにするには、 V_{REF} へ接続します。スイッチングを停止するには、強制的に175mV (標準)未滿にします。このピンは開放のままにしないでください。

SS (ピン2)：ソフトスタートは、コントローラの電流制限を徐々に大きくすることによって、入力電源のサージ電流を低減します。このピンには、最小22nFのコンデンサを接続することを推奨します。LT3791-1では、SSと V_{REF} の間に100kの抵抗を接続する必要があります。

PWM (ピン3)：信号が“L”になるとスイッチがオフしてスイッチングがアイドル状態になり、 V_C ピンがすべての外部負荷から切断されます。PWMOUTピンはPWMピンに追従します。PWMには90kの内部プルダウン抵抗が組み込まれています。使用しない場合はINTV_{CC}に接続してください。

C/10 (ピン4)：C/10充電終了ピン。FBの電圧が1.15V (標準)より高く $V_{(ISP-ISN)}$ 電圧が10mV (標準)より低い場合は、オープンドレインのC/10ピンは“L”にアサートされます。このピンを機能させるには、外付けのプルアップ抵抗が必要です。

SHORT (ピン5)：出力短絡ピン。FBの電圧が400mV (標準)未滿の場合は、オープンドレインのSHORTピンは“L”にアサートされます。このピンを機能させるには、外付けのプルアップ抵抗が必要です。

V_{REF} (ピン6)：電圧リファレンス出力ピンで、標準2V。このピンは、出力電流調整または出力負荷の温度制限/温度補償のために、CTRLピンの抵抗分割器をドライブします。最大200μAの電流を供給することができます。

ISMON (ピン7)： $V_{(ISP-ISN)}$ の10倍の電圧を発生させるモニタピン。ISMONは、 $V_{(ISP-ISN)} = 100\text{mV}$ の時に1Vになります。

IVINMON (ピン8)： $V_{(IVINP-IVINN)}$ の20倍の電圧を発生させるモニタピン。IVINMONは、 $V_{(IVINP-IVINN)} = 50\text{mV}$ の時に1Vになります。

EN/UVLO (ピン9)：イネーブル制御ピン。外付けの抵抗分割器と3μAのプルダウン電流により、下降時のしきい値を1.2Vに強制してヒステリシスを外部的に設定できます。しきい値を1.2V (標準)より高い値にすると(ただし6V未滿)、EN/UVLO入力バイアス電流は1μAより小さい値となります。下降時のしきい値より低い電圧では3μAのプルダウン電流がイネーブルされるので、外付け抵抗を選択することによってユーザーがヒステリシスを設定できます。低電圧状態はソフトスタートをリセットします。0.3V以下に接続してデバイスをディスエーブルすると、 V_{IN} の静止電流は1μA未滿に減少します。

IVINP (ピン10)：入力電流制限およびモニタ用の正入力。このピンの入力バイアス電流は標準で90μAです。

IVINN (ピン11)：入力電流制限およびモニタ用の負入力。このピンの入力バイアス電流は標準で20μAです。

V_{IN} (ピン12)：主入力電源。このピンはコンデンサを使ってPGNDにバイパスします。

INTV_{CC} (ピン13)：内蔵5Vレギュレータの出力。ドライバと制御回路はこの電圧から電力供給を受けます。このピンは最小4.7μFのセラミック・コンデンサでPGNDにバイパスします。

TG1 (ピン14)：トップ・ゲート・ドライブ。スイッチ・ノード電圧SW1にINTV_{CC}を重ね合せた電圧に等しい電圧で、トップNチャンネルMOSFETをドライブします。

BST1 (ピン15)：ブートストラップされたドライバの電源。BST1ピンは、INTV_{CC}よりダイオードの電圧分だけ低い電位から、 $V_{IN} + \text{INTV}_{CC}$ よりダイオードの電圧分だけ低い電位まで振幅します。

SW1 (ピン16)：スイッチ・ノード。SW1ピンの電圧は、グランドよりダイオードの電圧降下分だけ低い電位から V_{IN} まで振幅します。

PGND (ピン17、ピン20)：電源グランド。これらのピンは、ボトムNチャンネルMOSFETのソースに近づけて接続します。

BG1 (ピン18)：ボトム・ゲート・ドライブ。ボトムNチャンネルMOSFETのゲートを、グランドとINTV_{CC}の間でドライブします。

BG2 (ピン19)：ボトム・ゲート・ドライブ。ボトムNチャンネルMOSFETのゲートを、グランドとINTV_{CC}の間でドライブします。

SW2 (ピン21)：スイッチ・ノード。SW2ピンの電圧は、グランドよりダイオードの電圧降下分だけ低い電位から V_{OUT} まで振幅します。

ピン機能

BST2 (ピン22) : ブートストラップされたドライバの電源。BST2ピンは、INTV_{CC}よりダイオードの電圧分だけ低い電位から、V_{OUT} + INTV_{CC}よりダイオードの電圧分だけ低い電位まで振幅します。

NC (ピン23) : 接続されていません。このピンはフロート状態のままにします。

TG2 (ピン24) : トップ・ゲート・ドライブ。スイッチ・ノード電圧SW2にINTV_{CC}を重ね合わせた電圧に等しい電圧でトップNチャネルMOSFETをドライブします。

ISP (ピン25) : 出力電流帰還抵抗の正端子の接続点。

ISN (ピン26) : 出力電流帰還抵抗の負端子の接続点。

SNSP (ピン27) : 電流検出コンパレータの正入力。V_Cピンの電圧、およびSNSPピンとSNSNピン間の制御されたオフセットは、抵抗との組み合わせによって電流トリップのしきい値を設定します。

SNSN (ピン28) : 電流検出コンパレータの負入力。

TEST1 (ピン29) : このピンはテストのためにだけ使用されません。デバイスを正常に動作させるためには、SGNDに接続する必要があります。

SGND (ピン30、露出パッドのピン39) : 信号グランド。すべての小信号用部品および補償部品はこのグランドに接続し、このグランド自体はPGNDに一点接続します。露出パッドは直接グランド・プレーンに半田付けします。

PWMOUT (ピン31) : 出力負荷切断用NチャネルMOSFETをドライブするためにPWM信号をバッファしたもの。PWMOUTピンはINTV_{CC}によってドライブされます。MOSFETは、ゲート・カットオフ電圧が1Vより高いものを推奨します。

CCM (ピン32) : 連続導通モード・ピン。このピンの電圧が1.5Vより高いときは、デバイスは固定周波数の強制連続導通モードで動作し、負のインダクタ電流を流すことができます。このピンの電圧が0.3Vより低いときは、デバイスは不連続導通モード

で動作し、インダクタ電流を逆方向に流すことができません。このピンは逆方向インダクタ電流の防止のみを目的としており、出力電流が少ないときだけ“L”にします。あらゆる負荷で連続導通モードにするには、このピンをINTV_{CC} (ピン13)に接続する必要があります。また、重負荷で連続導通モードまたは軽負荷で不連続導通モードにするには、このピンをC/I_O (ピン4)に接続してINTV_{CC}へプルアップ抵抗を接続する必要があります。

CLKOUT (ピン33) : クロック出力ピン。2つのデバイスを並列接続して出力電力を増大できるようにするために、発振器周波数に位相を180°ずらしたクロックが供給されます。

SYNC (ピン34) : 外部同期入力ピン。このピンは、90k抵抗を使って内部でGNDに終端されています。内部降圧クロックはSYNC信号の立ち上がりエッジに同期し、内部昇圧クロックは位相を180°ずらします。

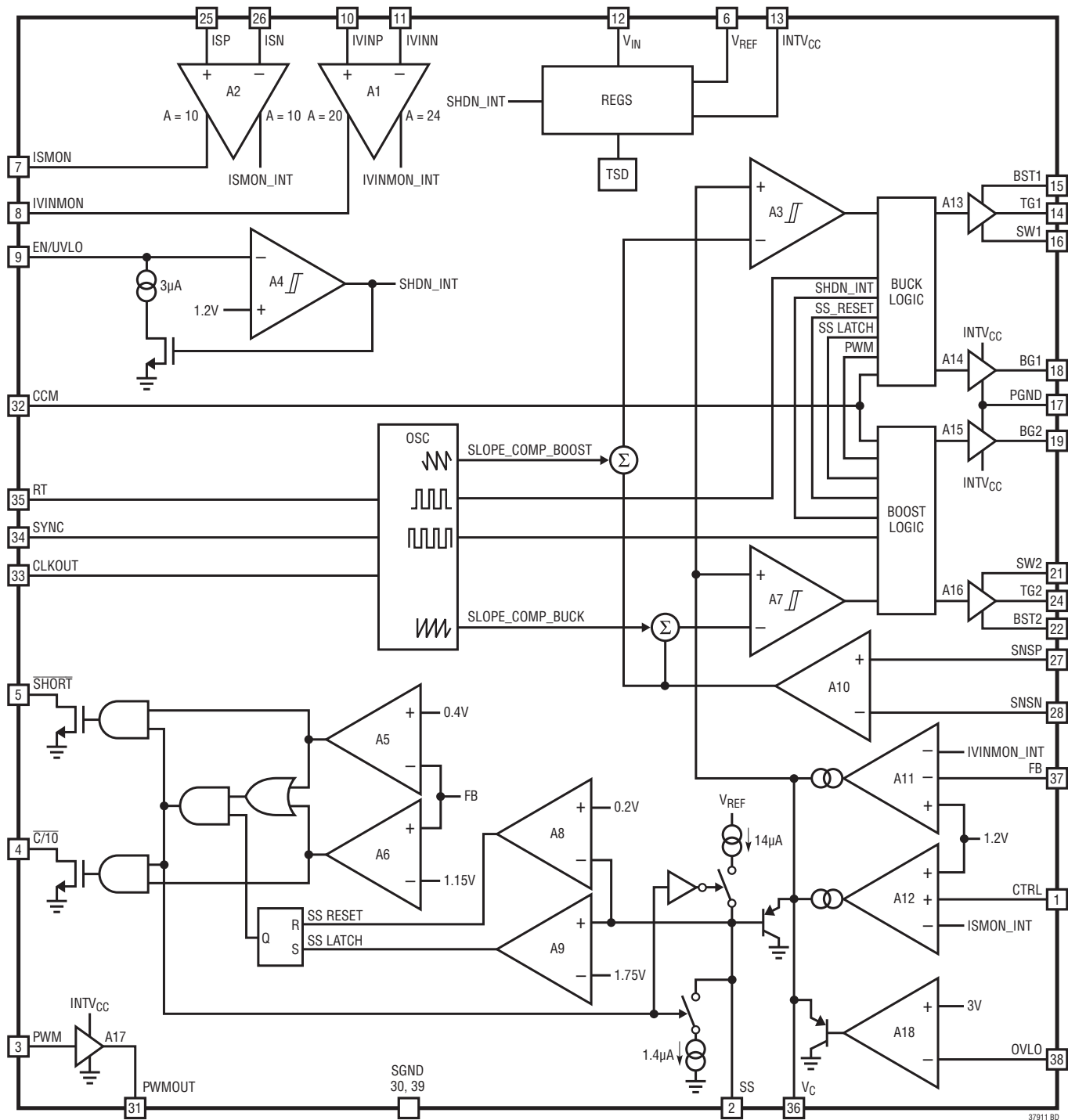
RT (ピン35) : 周波数設定ピン。GNDとの間に抵抗を接続して、内部周波数を設定します。周波数の範囲は200kHz ~ 700kHzです。

V_C (ピン36) : 電流制御しきい値およびエラーアンプの補償点。電流コンパレータのしきい値はこの制御電圧に応じて増加します。電圧の範囲は0.7V ~ 1.9Vです。

FB (ピン37) : 電圧ループの帰還ピン。FBは、定電圧レギュレーション用のピンです。出力がV_Cとなる内部トランスコンダクタンス・アンプが、DC/DCコンバータを通じてFBを1.2V (標準)に安定化します。FB入力グループを安定化中にV_(ISP-ISN) < 10mVの場合、C/I_Oピンが“L”にアサートされます。FBピンの電圧が400mV未満の場合は、SHORTのピンが“L”にアサートされます。

OVLO (ピン38) : 過電圧入力ピン。このピンはOVLOのために使用され、OVLO > 3Vの場合、SSピンが“L”になり、デバイスがスイッチングを停止してリセットされます。このピンは開放のままにしないでください。

ブロック図



動作

LT3791-1は入力電圧に比べて高い出力電圧、等しい出力電圧、または低い出力電圧を与える電流モード・コントローラです。このリニアテクノロジー独自のトポロジーと制御アーキテクチャは、降圧または昇圧動作に電流検出抵抗を使用します。検出されたインダクタ電流は、 V_C ピンの電圧によって制御されます。この電圧は帰還アンプA11とA12の出力です。 V_C ピンは3つの入力によって制御されます。1つは出力電流ループから、もう1つは入力電流ループから、そして3つめは帰還ループからの入力です。このうちのいずれか高い方の帰還入力が使われて、コンバータを定電流モードまたは定電圧モードにします。

LT3791-1は、これら2つの動作モードの間をクリーンに移行するように設計されています。電流検出アンプA1がIVINPピンとIVINNピンの間の電圧を検出して、アンプA11のプリゲインを提供します。IVINPとIVINNの間の電圧が50mVになると、A1の出力がA11の反転入力にIVINMON_INTを供給し、コンバータは定電流モードになります。電流検出電圧が50mVを超えると、A1の出力が増加してA11の出力が低下し、その結果、出力に供給される電流が減少します。このようにして、電流検出電圧は50mVに保たれます。

出力電流アンプも入力電流アンプと同様に動作しますが、電圧は50mVではなく100mVになります。出力電流検出レベルも、CTRLピンによって調整できます。CTRLを1.2Vよりも低い電圧に強制するとISMON_INTはCTRLと同じレベルに強制されるので、電流レベルの制御が可能になります。出力電流アンプはレール・トゥ・レールで動作します。同様にFBピンの電圧が1.2Vを超えると、A11の出力は電流レベルを下げるために減少して、出力を一定に保ちます(定電圧モード)。

LT3791-1にはモニタ・ピンIVINMONとISMONがあり、これらはそれぞれ入力電流アンプと出力電流アンプの両端の電圧に比例しています。

メイン制御ループは、EN/UVLOピンを“L”にするとシャットダウンします。EN/UVLOピンの電圧が1.2Vを超えると、内部の14 μ A電流源がSSピンのソフトスタート・コンデンサ C_{SS} を充電します。これにより、起動時に C_{SS} がゆっくりと充電されている間、 V_C 電圧はSS電圧よりダイオード電圧分高い値にクランプされます。このソフトスタート・クランピングは、入力電源から突然電流が流れるのを防ぎます。

トップMOSFETドライバはフローティング・ブートストラップ・コンデンサC1とC2によりバイアスされます。これらのコンデンサは通常、トップMOSFETがオフしているときに外付けダイオードを通して再充電されます。独自の電荷分担手法により、昇圧、降圧のいずれの動作でも、トップFETのリフレッシュ・スイッチング・サイクルは必要はありません。また、同期スイッチM4およびM2のショットキ・ダイオードは不要ですが、これらがあるとデッドタイム時の電圧降下が低減されます。このショットキ・ダイオードを追加すると、通常、500kHzにおけるピーク効率が1%から2%向上します。

パワースイッチの制御

4つのパワースイッチがインダクタ、 V_{IN} 、 V_{OUT} 、およびGNDにどのように接続されているかを簡略化して図1に示します。デューティ・サイクルDの関数としてのLT3791-1の動作領域を図2に示します。パワースイッチが適切に制御されるので、領域間の移行は連続的に行われます。 V_{IN} が V_{OUT} に近づくと、昇降圧領域に達します。

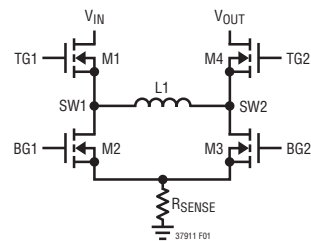


図1. 出力スイッチの簡略図

D_{MAX} BOOST (BG2)	BOOST REGION	M1 ON, M2 OFF PWM M3, M4 SWITCHES
D_{MIN} BOOST	BUCK-BOOST REGION	4-SWITCH PWM
D_{MAX} BUCK (TG1)	BUCK REGION	M4 ON, M3 OFF PWM M2, M1 SWITCHES
D_{MIN} BUCK		

図2. 動作領域とデューティ・サイクル

動作

降圧領域 ($V_{IN} > V_{OUT}$)

この領域ではスイッチM4は常にオンしており、スイッチM3は常にオフしています。各サイクルの開始点で、同期スイッチM2が最初にオンします。同期スイッチM2がオンすると、インダクタ電流が検出されます。検出されたインダクタ電流がリファレンス電圧 (V_C に比例) を下回る値になると、サイクルの残りの時間は同期スイッチM2がオフし、スイッチM1がオンします。スイッチM1とスイッチM2は交互に動作し、典型的な同期整流式降圧レギュレータと同様に動作します。降圧動作におけるコンバータの最大デューティ・サイクル (次式で与えられる) が $D_{MAX}(BUCK, TG1)$ に達するまで、スイッチM1のデューティ・サイクルは増加します。

$$D_{MAX}(BUCK, TG1) = 100\% - D_{(BUCK-BOOST)}$$

ここで、 $D_{(BUCK-BOOST)}$ は昇降圧スイッチ範囲のデューティ・サイクルです。

$$D_{(BUCK-BOOST)} = 8\%$$

降圧動作の標準的波形を図3に示します。 V_{IN} が V_{OUT} に近づくと、昇降圧領域に達します。

昇降圧領域 (V_{IN} と V_{OUT} がほぼ等しい)

V_{IN} が V_{OUT} に近いと、コントローラは昇降圧動作になります。この動作における標準的な波形を図4と図5に示します。コントローラはサイクルごとにスイッチM2とM4をオンします。次に、スイッチM1とM3がオンされた時から 180° 後までM1とM4がオンし、さらにサイクルの残りの時間スイッチM1とM4がオンします。

昇圧領域 ($V_{IN} < V_{OUT}$)

昇圧動作の間スイッチM1は常にオンしており、同期スイッチM2は常にオフしています。すべてのサイクルでスイッチM3が最初にオンします。同期スイッチM3がオンすると、インダクタ電流が検出されます。検出されたインダクタ電流がリファレンス電圧 (V_C に比例する) を上回る値になると、サイクルの残りの時間スイッチM3がオフし、同期スイッチM4がオンします。スイッチM3とスイッチM4は交互に動作し、典型的な同期整流式昇圧レギュレータと同様に動作します。

昇圧動作におけるコンバータの最小デューティ・サイクル (次式で与えられる) が $D_{MIN}(BOOST, BG2)$ に達するまで、スイッチM3のデューティ・サイクルは減少します。

$$D_{MIN}(BOOST, BG2) = D_{(BUCK-BOOST)}$$

ここで、 $D_{(BUCK-BOOST)}$ は昇降圧スイッチ範囲のデューティ・サイクルです。

$$D_{(BUCK-BOOST)} = 8\%$$

昇圧動作の標準的波形を図6に示します。 V_{IN} が V_{OUT} に近づくと、昇降圧領域に達します。

低電流動作

負荷が大きいときは、CCMピンの電圧を1.5Vより高くすることにより、LT3791-1を強制連続導通モードで動作させることを推奨します。このモードでは、コントローラは連続的なPWM電流モードの同期整流式スイッチング・レギュレータとして動作します。昇圧動作時はスイッチM1が常時オンとなり、スイッチM3と同期スイッチM4は、インダクタ電流の方向に関係なく出力電圧を維持するために交互にオンします。降圧動作時は同期スイッチM4が常時オンとなり、スイッチM1と同期スイッチM2は、インダクタ電流の方向に関係なく出力電圧を維持するために交互にオンします。強制連続モードでは、出力は電流をソースまたはシンクすることができます。

ただし、出力から入力に逆方向インダクタ電流が流れることは、アプリケーションによっては望ましくない場合があります。このようなアプリケーションでは、CCMピンを \overline{CTIO} (ピン4) に接続し、INTV_{CC}へプルアップ抵抗を接続します (最初のページの「標準的応用例」を参照)。したがって、出力電流が小さいときは、 \overline{CTIO} ピンによってCCMピンの電圧が0.3Vより低くなり、不連続導通モードになります。このモードでは、負のインダクタ電流が流れるとスイッチM4がオフします。

動作

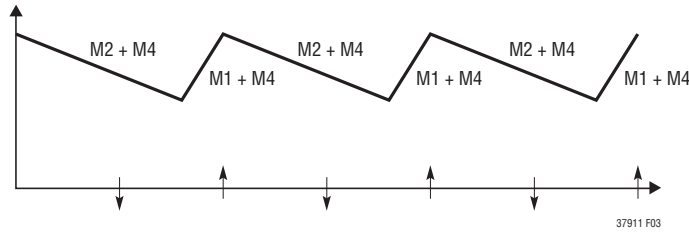


図3. 降圧動作 ($V_{IN} > V_{OUT}$)

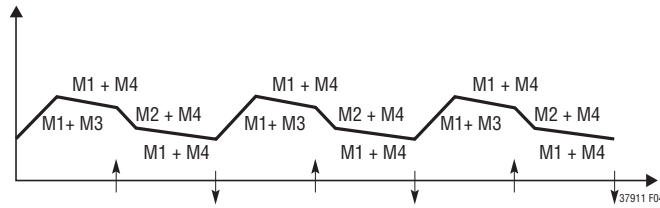


図4. 昇降圧動作 ($V_{IN} \leq V_{OUT}$)

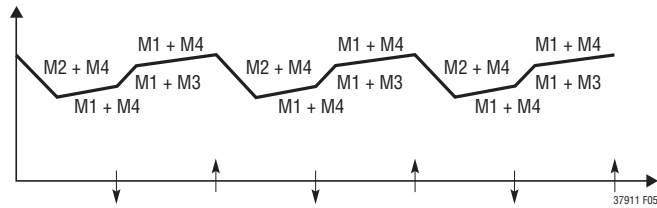


図5. 昇降圧動作 ($V_{IN} \geq V_{OUT}$)

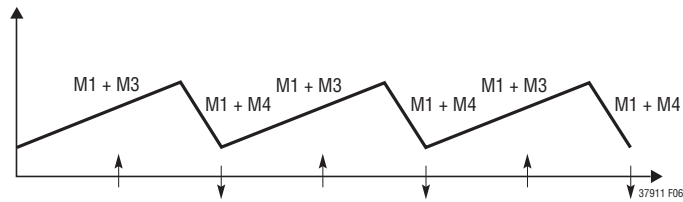


図6. 昇圧動作 ($V_{IN} < V_{OUT}$)

アプリケーション情報

最初のページの「標準的応用例」はLT3791-1の基本的な応用回路です。外付け部品の選択は負荷条件に基づいて行い、R_{SENSE}とインダクタ値の選択から始めます。次に、パワーMOSFETを選択します。最後にC_{IN}とC_{OUT}を選択します。この回路は60Vまでの入力電圧で動作させることができます。

スイッチング周波数の設定

RT周波数調整ピンを使用すれば、効率／性能や外付け部品のサイズを最適化するために、スイッチング周波数を200kHz～700kHzの範囲でプログラムすることができます。動作周波数を高くすると部品サイズを小さくすることができますが、スイッチング損失とゲートのドライブ電流が大きくなり、デューティ・サイクルを十分に高い値または低い値にして動作させることができなくなることがあります。周波数を低くすると性能を向上させることができますが、外付け部品のサイズが大きくなります。適切なR_T値については表1を参照してください。RTピンとGNDの間には外付け抵抗が必要です。このピンは開放のままにしないでください。

表1. スwitchング周波数とR_Tの値

f _{osc} (kHz)	R _T (kΩ)
200	147
300	84.5
400	59.0
500	45.3
600	35.7
700	29.4

周波数同期

LT3791-1のスイッチング周波数は、SYNCピンを使用して外部クロックに同期させることができます。SYNCピンを50%のデューティ・サイクル波形でドライブするのは常に良い選択ですが、それ以外の場合はデューティ・サイクルを10%から90%の間に保ってください。CLKOUTの立ち下がりエッジはSYNCの立ち上がりエッジに対応しているため、コンバータを並列接続して2フェーズ動作が可能です。CLKOUTの立ち上がりエッジでスイッチM3がオンし、CLKOUTの立ち下がりエッジでスイッチM2がオンします。

インダクタの選択

動作周波数が高いほど小さな値のインダクタとコンデンサを使用できるという意味で、動作周波数とインダクタの選択には相関関係があります。インダクタの値はリップル電流に直接影響を与えます。最大インダクタ電流リップルΔI_Lは図7で確

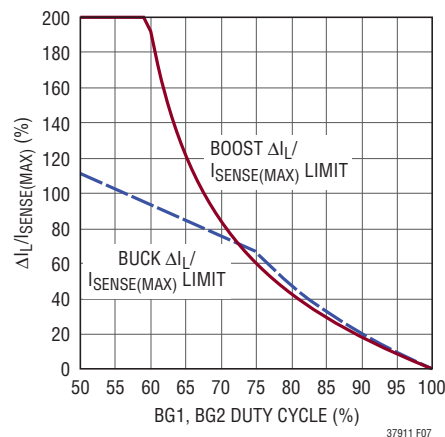


図7. 最大ピーク・トゥ・ピーク・リップルとデューティ・サイクル

認できます。これは、低調波発振を防ぎ、同時に負荷ゼロでレギュレーションを行うための最大リップルです。あらゆる負荷電流に対して適切な動作を実現するには、リップルをこれよりも小さくします。与えられたリップルに対して連続モードのインダクタンスの条件は以下のようになります。

$$L_{\text{BUCK}} > \frac{V_{\text{OUT}} \cdot (V_{\text{IN(MAX)}} - V_{\text{OUT}}) \cdot 100}{f \cdot I_{\text{OUT(MAX)}} \cdot \% \text{Ripple} \cdot V_{\text{IN(MAX)}}$$

$$L_{\text{BOOST}} > \frac{V_{\text{IN(MIN)}}^2 \cdot (V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN(MIN)}}) \cdot 100}{f \cdot I_{\text{OUT(MAX)}} \cdot \% \text{Ripple} \cdot V_{\text{OUT}}^2}$$

ここで、

fは動作周波数

%Rippleは許容インダクタ電流リップル

V_{IN(MIN)}は最小入力電圧

V_{IN(MAX)}は最大入力電圧

V_{OUT}は出力電圧

I_{OUT(MAX)}は最大出力負荷電流です。

高効率を実現するには、コア損失の小さなインダクタを選択します。また、I²R損失を減らすため、インダクタはDC抵抗が低く、飽和せずにピーク・インダクタ電流を扱えるものにします。放射ノイズを抑えるには、シールドされたインダクタを使用します。

R_{SENSE}の選択と最大出力電流

R_{SENSE}は必要な出力電流に基づいて選択します。電流コンパレータのしきい値により、昇圧動作時のインダクタのピーク電

アプリケーション情報

流と、降圧動作時のインダクタの最大谷電流が設定されます。昇圧動作では、 $V_{IN(MIN)}$ における最大平均負荷電流は次のとおりです。

$$I_{OUT(MAX_BOOST)} = \left(\frac{51mV}{R_{SENSE}} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \cdot \frac{V_{IN(MIN)}}{V_{OUT}}$$

ここで、 ΔI_L はピーク・トゥ・ピーク・インダクタ・リップル電流です。降圧動作での最大平均負荷電流は次のとおりです。

$$I_{OUT(MAX_BUCK)} = \left(\frac{47.5mV}{R_{SENSE}} + \frac{\Delta I_L}{2} \right)$$

昇圧動作時の電流検出抵抗 R_{SENSE} の最大値は次のとおりです。

$$R_{SENSE(MAX)} = \frac{2 \cdot 51mV \cdot V_{IN(MIN)}}{2 \cdot I_{LED} \cdot V_{OUT} + \Delta I_L(BOOST) \cdot V_{IN(MIN)}}$$

降圧動作時の電流検出抵抗 R_{SENSE} の最大値は次のとおりです。

$$R_{SENSE(MAX)} = \frac{2 \cdot 47.5mV}{2 \cdot I_{LED} - \Delta I_L(BUCK)}$$

昇圧と降圧のどちらの動作でも、最終的な R_{SENSE} の値は、算出される $R_{SENSE(MAX)}$ よりも小さくする必要があります。通常は20%～30%のマージンを推奨します。

C_{IN} と C_{OUT} の選択

昇圧動作時の入力電流は連続です。降圧動作時の入力電流は不連続です。降圧動作では、入力コンデンサ C_{IN} は入力の矩形波電流をフィルタ処理する必要性に基づいて選択されます。最大RMS電流に対応できるサイズの低ESRコンデンサを使います。降圧動作では、入力RMS電流は次式で与えられます。

$$I_{RMS} = \sqrt{I_{LED}^2 \cdot D + \frac{\Delta I_L^2}{12} \cdot D}$$

この式は $V_{IN} = 2V_{OUT}$ で最大値を取ります。コンデンサのメーカーの規定するリップル電流定格は多くの場合2000時間だけの寿命試験に基づいているので、コンデンサをさらにデレーティングすることを推奨します。

昇圧動作時は、この不連続電流は入力から出力にシフトするので、 C_{OUT} は出力電圧リップルを減少させることができなければなりません。与えられた出力リップル電圧に対する適切なコンデンサを選択するには、ESR(等価直列抵抗)とバルク容量の影響について検討する必要があります。バルク容量の充放電による定常リップルは次式で与えられます。

$$\Delta V_{RIPPLE(BOOST_CAP)} = \frac{I_{LED} \cdot (V_{OUT} - V_{IN(MIN)})}{C_{OUT} \cdot V_{OUT} \cdot f}$$

$$\Delta V_{RIPPLE(BUCK_CAP)} \approx \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f \cdot C_{OUT}}$$

ここで、 C_{OUT} は出力フィルタ・コンデンサです。

ESR両端の電圧降下による定常リップルは次式で与えられます。

$$\Delta V_{BOOST(ESR)} = I_{LED} \cdot ESR$$

$$\Delta V_{BUCK(ESR)} = I_{LED} \cdot ESR$$

ESRおよびRMS電流処理の要件を満たすには、複数のコンデンサを並列に配置することが必要な場合があります。LT3791-1を安定させるために出力コンデンサも使われます。標準的応用例の回路には、出力コンデンサの初期値として妥当な例が示されています。セラミック・コンデンサは優れた低ESR特性を備えていますが、電圧係数が高いことがあるので、100W以下のアプリケーションに使用することを推奨します。100Wを超えるアプリケーションでは、OS-CONやPOSCAPなどのように、低ESRで高いリップル電流定格を持つコンデンサが必要になることがあります。

V_{IN} のUVLOとOVLOの設定

下降時のUVLOの値は、抵抗分割器の $R1$ と $R2$ によって正確に設定することができます。EN/UVLOがしきい値未満の時は、小さい $3\mu A$ のプルダウン電流がアクティブになります。この電流の目的はユーザーが上昇方向ヒステリシスをプログラムできるようにすることです。抵抗値は、以下の式を使用して決定します。

$$V_{IN(UVLO-)} = 1.2 \cdot \frac{R1+R2}{R2}$$

$$V_{IN(UVLO+)} = 3\mu A \cdot R1 + 1.215 \cdot \frac{R1+R2}{R2}$$

アプリケーション情報

上昇時のOVLOの値は、抵抗分割器のR3とR4によって正確に設定できます。抵抗値は、以下の式を使用して決定します。

$$V_{IN(OVLO+)} = 3 \cdot \frac{R3+R4}{R4}$$

$$V_{IN(OVLO-)} = 2.925 \cdot \frac{R3+R4}{R4}$$

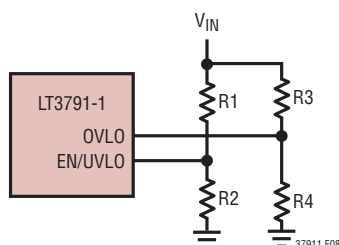


図8. V_{IN} のUVLOおよびOVLOしきい値を設定するための抵抗接続

出力電流の設定

出力電流は、適切な値の電流検出抵抗 R_{OUT} を出力負荷と直列に配置することによって設定します。 R_{OUT} による電圧降下は、ISPピンとISNピンによって(ケルビン)検出します。検出抵抗の両端で100mV(標準)のフルスケールしきい値を得るため、CTRLピンは1.2Vより高い電圧に接続する必要があります。CTRLピンは出力電流を調整するために使用することもできますが、検出しきい値の低下に伴って相対精度も低下します。CTRLピンの電圧が1Vより低くなると、出力電流は次のようになります。

$$I_{OUT} = \frac{V_{CTRL} - 200mV}{R_{OUT} \cdot 10}$$

CTRLピンの電圧が1.1V～1.3Vの間にある場合、出力電流は V_{CTRL} とともに変化しますが、上の式から離れて、 V_{CTRL} 電圧の増加とともにその値を増していきます。最終的には、 $V_{CTRL} > 1.3V$ になると出力電流はそれ以上変化しなくなります。標準的な $V_{(ISP-ISN)}$ しきい値と V_{CTRL} の関係を表2に示します。

表2. $V_{(ISP-ISN)}$ のしきい値とCTRLピンの電圧

V_{CTRL} (V)	$V_{(ISP-ISN)}$ (mV)
1.1	90
1.15	94.5
1.2	98
1.25	99.5
1.3	100

V_{CTRL} が1.3Vより高い場合、出力電流は次式の値に安定化されます。

$$I_{OUT} = \frac{100mV}{R_{OUT}}$$

CTRLピンは開放のままにしないでください(使用しない場合は V_{REF} に接続してください)。CTRLピンはサーミスタと組み合わせて出力負荷の過熱保護を実現したり、 V_{IN} との間に抵抗分割器を接続して、 V_{IN} の電圧が低いときに出力電力およびスイッチング電流を減らすことができます。ISPピンとISNピンの間に、スイッチング周波数で時間と共に変化する差動電圧信号(リップル)が存在することが予想されます。この信号の振幅は、出力負荷電流が大きいか、スイッチング周波数が低い、あるいは出力フィルタ・コンデンサの値が小さいと大きくなります。ある程度のリップル信号は許容できます。 V_C ピンの補償コンデンサが信号のフィルタリングを行うので、ISPとISNの間の平均差はユーザー設定値に保たれます。リップル電圧振幅(ピーク・トゥ・ピーク)が20mVを超えても誤動作は起こりませんが、平均値とユーザー設定値間のオフセットが大きくなる可能性があります。

ISMON

ISMONピンは、出力を流れる電流を線形に保ちます。 V_{ISMON} は $V_{(ISP-ISN)} \cdot 10$ で表されます。このピンはADC入力ドライバに適していますが、出力インピーダンスが12.5kΩなので、このピンには負荷をかけないように注意する必要があります。

入力電流制限の設定

LT3791-1は独立型の電流検出アンプを内蔵しています。このアンプは入力電流を制限するのに使用できます。入力電流の制限値は次式を使って計算します。

アプリケーション情報

$$I_{IN} = \frac{50\text{mV}}{R_{IN}}$$

ループを安定させるには、ローパスRCフィルタが必要です。ほとんどのアプリケーションでは、50Ωの抵抗と470nFのコンデンサで十分です。

表3

R _{IN} (mΩ)	I _{LIMIT} (A)
20	2.5
15	3.3
12	4.2
10	5.0
6	8.3
5	10.0
4	12.5
3	16.7
2	25

IVINMON

IVINMONピンは、入力電流を線形に保ちます。V_{IVINMON}はV_(IVINP-IVINN)・20で表されます。このピンはADC入力のドライブに適していますが、出力インピーダンスが12.5kΩなので、このピンには負荷をかけないよう注意する必要があります。

出力電圧の設定(定電圧レギュレーション)

電圧レギュレータでは、以下の式に従ってR5とR6(図9を参照)の値を選択することにより、出力電圧を設定することができます。

$$V_{OUT} = 1.2 \cdot \frac{R5 + R6}{R6}$$

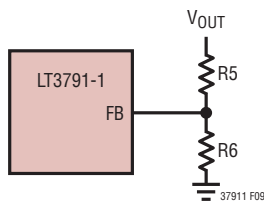


図9. 定出力電圧レギュレーションのための抵抗接続

調光制御

LT3791-1を使った調光では、電流源を制御する方法が2つあります。1つ目の方法では、出力で安定化されている電流をCTRLピンを使用して調整します。2つ目の方法は、平均電流を正確に設定するために、PWMピンを使用して電流源をゼロと最大電流の間で調整します。PWM調光の精度を上げるために、PWMが“L”の静的フェーズの間に、スイッチに必要な電流がV_Cノードに保存されます。この機能により、PWMピンの信号が“H”になると回復時間は最小になります。回復時間をさらに短縮するために、出力電流経路内に切断スイッチを使用して、PWM信号が“L”の間にISPノードが放電しないようにすることができます。PWMの最小オン時間または最小オフ時間は、動作周波数と外付け部品の選択に影響されます。PWM調光機能とアナログ調光機能の最高の組み合わせは、最小PWMパルスが少なくとも6つのスイッチング・サイクルであり、そのPWMパルスがSYNC信号に同期している場合に実現できます。

SHORTピン

LT3791-1はオープンドレインのステータス・ピンSHORTを備えています。このピンは、FBピンの電圧が400mVを下回ると“L”になります。FBピンが400mVを下回るのは、起動時または出力が短絡した時に限られます。起動時のLT3791-1は、ソフトスタート・コンデンサの電圧が1.75Vに達するまで、FBピンの電圧を無視します。起動後の誤ったトリップを防ぐために、最終的な値の約40%～50%まで出力を上昇させることができるよう、十分な容量を持ったソフトスタート・コンデンサを使う必要があります。

C/I0ピン

LT3791-1はオープンドレインのステータス・ピンC/I0を備えています。このピンは、FBピンの電圧が1.15Vより高く、V_(ISP-ISN)両端の電圧が10mVより低いと“L”になります。ISPピンとISNピンの両方を出力に接続する(つまり、出力電流の検出と制限がない)電圧レギュレータ・アプリケーションでは、C/I0ピンはパワーグッド・フラグを提供します。出力電流の検出と制限を行うバッテリー・チャージャ・アプリケーションでは、C/I0はC/I0充電終了フラグを提供します。

アプリケーション情報

ソフトスタート

ソフトスタートは、コントローラの電流制限 (V_C を内部的にバッファしてクランプした等価値に比例) を徐々に増加させることによって、入力電源のサージ電流を低減します。ソフトスタート時間は、次式に従ってソフトスタート・コンデンサを選択して設定します。

$$t_{SS} = \frac{1.2V}{14\mu A} \cdot C_{SS}$$

LT3791-1 では、SS と V_{REF} の間に 100k の抵抗を接続する必要があります。この 100k 抵抗は、SS への充電電流を追加させる効果もあります。起動時に負荷がかかる場合は、 C_{SS} が十分に大きな値であることを確認してください。

ループ補償

LT3791-1 は、内部トランスコンダクタンス・エラーアンプを使用しており、その V_C 出力が制御ループを補償します。外部インダクタ、出力コンデンサ、および補償抵抗とコンデンサにより、ループの安定性が決まります。

インダクタと出力コンデンサは、性能、サイズおよびコストに基づいて選択します。 V_C の補償抵抗とコンデンサは、制御ループの応答性と安定性を最適化するように設定されます。標準的なアプリケーションでは、 V_C に 10nF の補償コンデンサを使用すれば十分で、 V_C ピンのスルーレートを大きくして、コンバータの入力電源の高速トランジェント時に出力電流のレギュレーションをより正確に行うために、常に直列抵抗を使用します。

パワー MOSFET の選択と効率の検討

LT3791-1 には、外部 N チャネル・パワー MOSFET が 4 個必要です。トップ・スイッチに 2 個 (図 1 に示されているスイッチ M1 とスイッチ M4)、ボトム・スイッチに 2 個 (図 1 に示されているスイッチ M2 とスイッチ M3) です。パワー MOSFET の重要なパラメータは、ブレイクダウン電圧 $V_{BR}(DSS)$ 、しきい値電圧 $V_{GS}(TH)$ 、オン抵抗 $R_{DS}(ON)$ 、逆伝達容量 C_{RSS} 、および最大電流 $I_{DS}(MAX)$ です。

ドライブ電圧は 5V の $INTV_{CC}$ 電源によって設定されます。したがって、LT3791-1 のアプリケーションでは、ロジック・レベルのしきい値の MOSFET を使用する必要があります。入力電圧

が 5V よりも低くなることが予想される場合は、サブロジック・レベルのしきい値を持つ MOSFET を使用します。

パワー MOSFET を選択するには、デバイスによって消費される電力を知る必要があります。スイッチ M1 の場合、最大電力損失は (スイッチ M1 が常にオン状態に留まる) 昇圧動作で生じます。最大出力電流での最大電力損失は次式で与えられます。

$$P_{M1(BOOST)} = \left(\frac{I_{LED} \cdot V_{OUT}}{V_{IN}} \right)^2 \cdot \rho_T \cdot R_{DS}(ON)$$

ρ_T は正規化係数 (25°C で 1) で、温度によるオン抵抗の大きな変化を表し、図 10 に示されているように標準で 0.4%/°C です。125°C の最大接合部温度の場合は、 $\rho_T = 1.5$ の値を使うのが妥当です。

スイッチ M2 は降圧動作時に同期整流器として動作します。最大出力電流での電力損失は次式で与えられます。

$$P_{M2(BUCK)} = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{IN}} \cdot I_{LED}^2 \cdot \rho_T \cdot R_{DS}(ON)$$

スイッチ M3 は昇圧動作時に制御スイッチとして動作します。最大電流での電力損失は次式で与えられます。

$$P_{M3(BOOST)} = \frac{(V_{OUT} - V_{IN}) \cdot V_{OUT}}{V_{IN}^2} \cdot I_{LED}^2 \cdot \rho_T \cdot R_{DS}(ON) + k \cdot V_{OUT}^3 \cdot \frac{I_{LED}}{V_{IN}} \cdot C_{RSS} \cdot f$$

ここで、 C_{RSS} は通常 MOSFET の製造メーカーにより規定されています。逆回復電流によって生じる損失を反映する定数 k は、ゲート・ドライブ電流に反比例し、その経験値は 1.7 です。

スイッチ M4 の場合、最大電力損失は昇圧動作時に生じ、そのときのデューティ・サイクルは 50% を超えます。最大出力電流での最大電力損失は次式で与えられます。

$$P_{M4(BOOST)} = \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} \cdot \left(\frac{I_{LED} \cdot V_{OUT}}{V_{IN}} \right)^2 \cdot \rho_T \cdot R_{DS}(ON)$$

同じ出力電圧と出力電流では、出力に短絡が生じない限り、スイッチ M1 の電力損失が最大になり、スイッチ M2 の電力損失が最小になります。

アプリケーション情報

パワー MOSFET の消費する既知の電力から、次式を使って接合部温度を求めることができます。

$$T_J = T_A + P \cdot R_{TH(JA)}$$

この式で使われている $R_{TH(JA)}$ にはデバイスの $R_{TH(JC)}$ およびケースから周囲温度までの熱抵抗 ($R_{TH(JC)}$) が通常含まれます。次に T_J のこの値を反復計算に使用された元の仮定値と比べることができます。

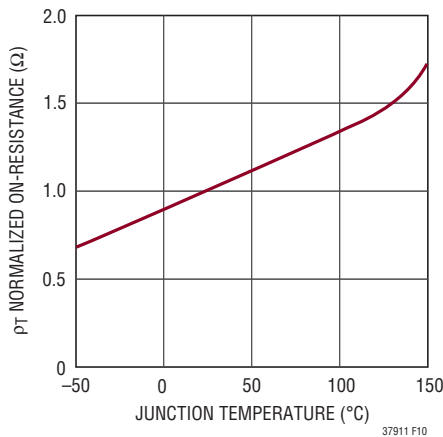


図 10. 正規化された $R_{DS(ON)}$ と温度

オプションのショットキ・ダイオード (D3、D4) の選択

標準的応用例のセクションに示すショットキ・ダイオード D3 と D4 は、パワー MOSFET スイッチの導通期間の間隙に生じるデッドタイムに導通します。これらは、デッドタイム中に同期スイッチ M2 と M4 のボディ・ダイオードがオンして電荷を蓄積するのを防ぐためのものです。特に、D4 はスイッチ M4 がオフしてからスイッチ M3 がオンするまでの間の逆回復電流を大きく減らすので、コンバータの効率が改善され、スイッチ M3 の電圧ストレスが減少します。このダイオードが効果を発揮するには、このダイオードと同期スイッチの間のインダクタンスをできるだけ小さくする必要がありますので、これらの部品は必ず隣接させて配置します。

INTV_{CC} レギュレータ

内部 P チャネル低損失レギュレータは、 V_{IN} 電源ピンから INTV_{CC} ピンに 5V を発生します。INTV_{CC} は、LTC3791-1 のドライバと内部回路に電力を供給します。INTV_{CC} ピンのレ

ギュレータは 67mA のピーク電流を供給することができ、最小 4.7μF のセラミック・コンデンサまたは低 ESR 電解コンデンサでグラウンドにバイパスする必要があります。さらに、INTV_{CC} ピンと PGND IC ピンのすぐ近くに 0.1μF のセラミック・コンデンサを置くことを強く推奨します。MOSFET ゲート・ドライバが必要とする大きなトランジェント電流を供給するには、十分なバイパスが必要です。

大きな MOSFET が高い周波数でドライブされる高入力電圧アプリケーションでは、LT3791-1 の最大接合部温度定格を超える恐れがあります。システムの電源電流は、通常、ゲート充電電流によって支配されます。電力損失を計算する際には、INTV_{CC} の追加的な外付け負荷も考慮に入れる必要があります。この場合のデバイスの電力損失は $V_{IN} \cdot I_{INTVCC}$ で、全体的な効率は低下します。接合部温度は次の式を使って推算することができます。

$$T_J = T_A + (P_D \cdot \theta_{JA})$$

ここで、 θ_{JA} (°C/W) はパッケージの熱インピーダンスです。

たとえば、連続電流モードで動作する標準的なアプリケーションでは、24V 電源から 24mA の電流が流れます。

$$T_J = 70^\circ\text{C} + 24\text{mA} \cdot 24\text{V} \cdot 28^\circ\text{C/W} = 86^\circ\text{C}$$

最大接合部温度を超えないようにするには、連続モード動作時の入力電源電流を最大 V_{IN} で検査する必要があります。

トップ・ゲート (TG) MOSFET ドライバ電源 (C1、D1、C2、D2)

BST1 ピンと BST2 ピンに接続された外付けのブートストラップ・コンデンサ C1 と C2 は、トップサイド MOSFET スイッチ M1 と M4 のゲートドライブ電圧を供給します。トップ MOSFET スイッチ M1 がオンすると、スイッチ・ノード SW1 の電圧は V_{IN} まで上昇し、BST1 ピンの電圧はおおよそ $V_{IN} + INTV_{CC}$ まで上昇します。ボトム MOSFET スイッチ M2 がオンすると、スイッチ・ノード SW1 は“L”に低下し、ブートストラップ・コンデンサ C1 は INTV_{CC} から D1 を通して充電されます。ボトム MOSFET スイッチ M3 がオンすると、スイッチ・ノード SW2 は“L”に低下し、ブートストラップ・コンデンサ C2 は INTV_{CC} から D2 を通して充電されます。ブートストラップ・コンデンサ C1 と C2 は、トップ MOSFET スイッチ M1 と M4 が必要とするゲート電荷の約 100 倍の電荷を保存する必要があります。大半のアプリケーションでは、0.1μF ~ 0.47μF の X5R または X7R セラミック・コンデンサが適切です。

アプリケーション情報

効率に関する検討事項

スイッチング・レギュレータの電力効率は、出力電力を入力電力で割って100%を掛けた値に等しくなります。個々の損失を解析して、効率を制限する要素がどれであり、また何が変化すれば効率が最も改善されるかを判断できる場合がよくあります。回路内のすべての電力消費要素で損失が生じますが、LT3791-1の回路の損失の大部分は次の4つの主な損失要因によって生じます。

1. DCの I^2R 損失。これは、MOSFET、センス抵抗、インダクタおよびPC基板のトレースの各抵抗成分から生じ、大きな出力電流で効率を低下させます。
2. 遷移損失。この損失は、スイッチ・ノードが遷移するとき、スイッチM1またはスイッチM3が短時間飽和領域に留まることから生じます。これは、入力電圧、負荷電流、ドライバ強度、MOSFET容量などの要因に依存します。20Vを超える入力電圧ではこの損失が大きくなり、次式を使って推算できます。

$$\text{遷移損失} \approx 2.7 \cdot V_{IN}^2 \cdot I_{OUT} \cdot C_{RSS} \cdot f$$

ここで、 C_{RSS} は逆伝達容量です。

3. I_{NTVCC} 電流。これはMOSFETドライバ電流と制御電流の和です。
4. C_{IN} と C_{OUT} の損失。入力コンデンサは降圧動作時にレギュレータに流れる大きなRMS入力電流をフィルタリングするという困難な役目を担っています。出力コンデンサも、昇圧動作時に大きなRMS出力電流をフィルタリングするという困難な役目を担っています。 C_{IN} と C_{OUT} の両方とも、ACの I^2R 損失を最小にするためにESRが非常に小さくしなければならず、RMS電流が上流でヒューズやバッテリー内の追加損失を生じないように容量が十分大きくなければなりません。
5. 他の損失。ショットキ・ダイオードD3とD4により、デッドタイムと軽負荷導通期間に導通損失が生じます。インダクタのコア損失は主に軽負荷で生じます。スイッチM3は昇圧動作時に逆回復電流損失を生じます。

効率を改善するための調整を行う場合、入力電流は効率の変化を示す最良の指標です。変更を加えて入力電流が減少すれば、効率は向上しています。入力電流に変化がなければ効率にも変化はありません。

PC基板レイアウトのチェックリスト

基本的なPC基板のレイアウトには専用のグラウンド・プレーン層が必要です。また、高電流では、多層基板によりパワー部品のヒートシンクが与えられます。

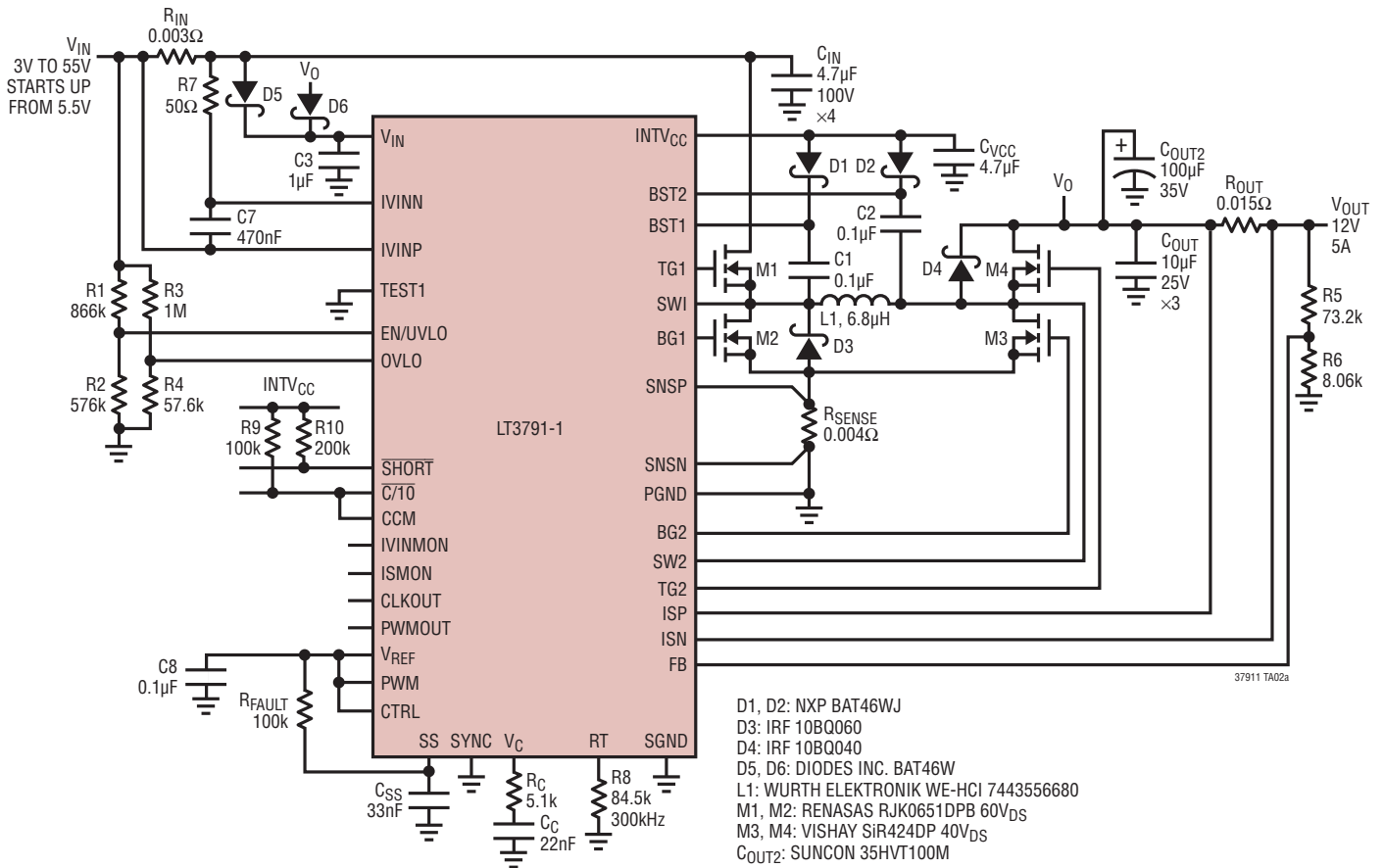
- PGNDグラウンド・プレーン層にはトレースがあってはならず、パワーMOSFETの置かれている層にできるだけ近くします。
- C_{IN} 、スイッチM1、スイッチM2、およびD1を一箇所に密集させて配置します。 C_{OUT} 、スイッチM3、スイッチM4、およびD2も一箇所に密集させて配置します。
- 近接するビアを使って(LTC3791-1のSGNDピンとPGNDピンを含む)部品をグラウンド・プレーンに接続します。各パワー部品には大きなビアを複数使います。
- 十分な電圧フィルタリングを維持し、電力損失を低く抑えるため、 V_{IN} と V_{OUT} にはプレーンを使用します。
- すべての層のすべての未使用領域を銅で覆います。銅で覆うことにより、パワー部品の温度上昇を抑えることができます。これらの銅領域はDCネットのどれか(V_{IN} またはPGND)に接続します。
- 信号グラウンドと電源グラウンドを分離します。全ての小信号部品は一点でSGNDピンに戻します。この一点はスイッチM2とスイッチM3のソースに近づけてPGNDピンに接続します。
- スwitch M2とスイッチM3はできるだけコントローラに近づけて配置し、PGND、BG、およびSWのトレースを短くします。
- dV/dT の高いSW1、SW2、BST1、BST2、TG1、およびTG2の各ノードは敏感な小信号ノードから離します。

アプリケーション情報

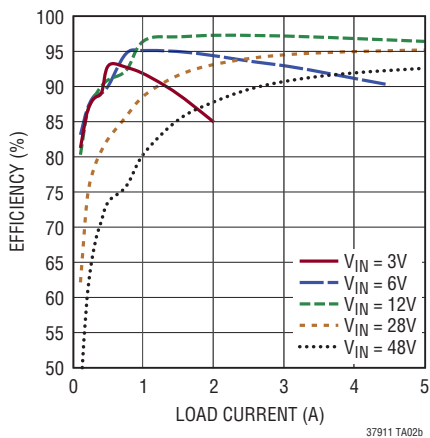
- スイッチ M1、スイッチ M2、D1、および C_{IN} コンデンサで形成される経路はリードと PC トレースを短くします。スイッチ M3、スイッチ M4、D2、および C_{OUT} コンデンサで形成される経路も、リードと PC トレースを短くします。
- 出力コンデンサの (-) 端子は入力コンデンサの (-) 端子にできるだけ近づけて接続します。
- トップ・ドライバのブートストラップ・コンデンサ C1 は、BST1 ピンと SW1 ピンに近づけて接続します。トップ・ドライバのブートストラップ・コンデンサ C2 は、BST2 ピンと SW2 ピンに近づけて接続します。
- 入力コンデンサ C_{IN} と出力コンデンサ C_{OUT} はパワー MOSFET に近づけて接続します。これらのコンデンサは昇降圧動作時に MOSFET の AC 電流を供給します。
- SNSN と SNSP のリードは PC の最小トレース間隔で一緒に配線します。検出ラインが、スイッチ・ノードなどのノイズの大きい領域を通過しないようにしてください。SENSE 抵抗にはケルビン接続を使って精密な電流検出を確実にを行います。
- V_C ピンの補償ネットワークはデバイスに近づけて、 V_C ピンと信号グランド・ピンの間に接続します。コンデンサは PCB ノイズと出力電圧リップルの影響を補償ループから除去するのに役立ちます。
- $INTV_{CC}$ のバイパス・コンデンサ (C_{VCC}) はデバイスの近くで $INTV_{CC}$ ピンと電源グランド・ピンの間に接続します。このコンデンサは MOSFET ドライバのピーク電流を供給します。0.1 μ F セラミック・コンデンサを 1 個 $INTV_{CC}$ ピンと PGND ピンに隣接して追加すると、ノイズ性能を大幅に改善できます。

標準的応用例

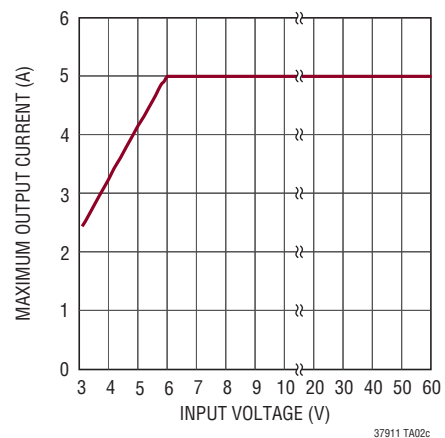
最小3Vの入力電圧で動作する効率98%の60W(12V 5A)電圧レギュレータ



効率と負荷電流



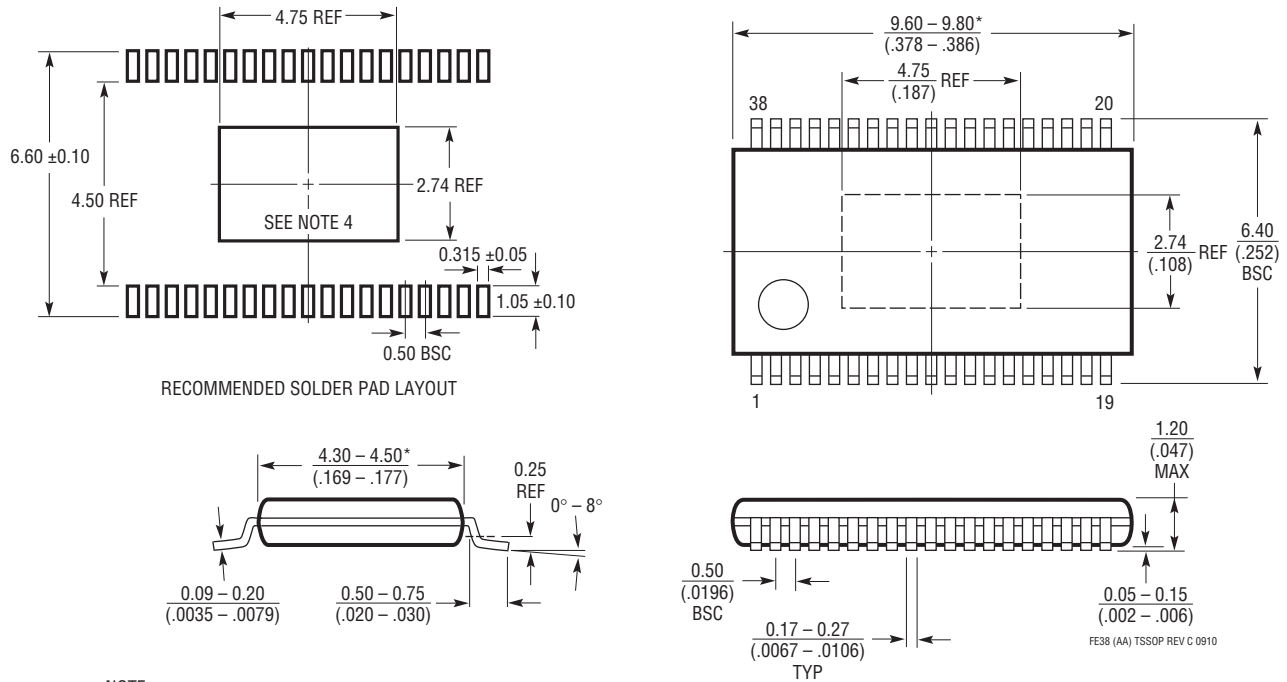
最大出力電流とVIN



パッケージ

最新のパッケージ図面については、<http://www.linear-tech.co.jp/designtools/packaging/> を参照してください。

FE Package
38-Lead Plastic TSSOP (4.4mm)
 (Reference LTC DWG # 05-08-1772 Rev C)
Exposed Pad Variation AA



NOTE:

1. 標準寸法：ミリメートル
2. 寸法はミリメートル/インチ
3. 図は実寸とは異なる

4. 露出パッド装着のための推奨最小 PCB メタルサイズ

* 寸法にはモールドのバリを含まない
 モールドのバリは各サイドで 0.150mm (0.006") を超えないこと

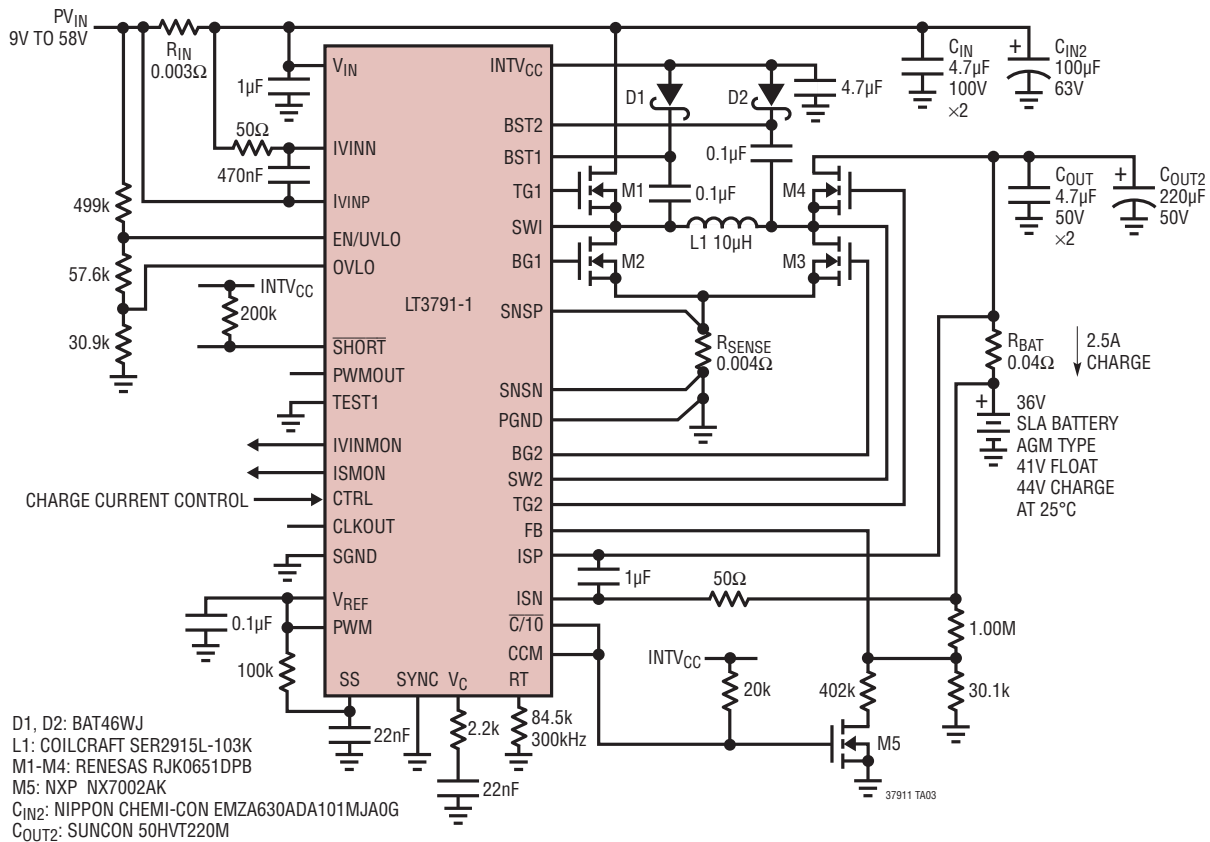
改訂履歴

REV	日付	概要	ページ番号
A	12/13	TG1、TG2、 $t_{OFF(MIN)}$ パラメータの明確化 「標準的応用例」の回路図を明確化	4 23、26

LT3791-1

標準的応用例

2.5A/36Vの昇降圧SLAバッテリー・チャージャ



関連製品

製品番号	説明	注釈
LT3791	60V、4スイッチ同期整流式昇降圧LEDドライバ・コントローラ	V_{IN} : 4.7V ~ 60V, V_{OUT} : 1.2V ~ 60V, True Color PWM™ 調光、アナログ調光、 $I_{SD} < 1\mu A$, TSSOP-38Eパッケージ
LTC®3780	高効率、同期整流式4スイッチ昇降圧コントローラ	V_{IN} : 4V ~ 36V, V_{OUT} : 0.8V ~ 30V, $I_{SD} < 55\mu A$, SSOP-24, QFN-32パッケージ
LTC3789	高効率、同期整流式4スイッチ昇降圧コントローラ	V_{IN} : 4V ~ 38V, V_{OUT} : 0.8V ~ 38V, $I_{SD} < 40\mu A$, 4mm×5mm QFN-28およびSSOP-28パッケージ
LT3755/LT3755-1 LT3755-2	ハイサイド60V、1MHz LEDコントローラ、3000:1のTrue Color PWM調光付き	V_{IN} : 4.5V ~ 40V, V_{OUT} : 5V ~ 60V, 3000:1のTrue Color PWM調光、アナログ調光、 $I_{SD} < 1\mu A$, 3mm×3mm QFN-16およびMSOP-16Eパッケージ
LT3756/LT3756-1 LT3756-2	ハイサイド100V、1MHz LEDコントローラ、3000:1のTrue Color PWM調光付き	V_{IN} : 6V ~ 100V, V_{OUT} : 5V ~ 100V, 3000:1のTrue Color PWM調光、アナログ調光、 $I_{SD} < 1\mu A$, 3mm×3mm QFN-16およびMSOP-16Eパッケージ
LT3596	60V、300mA 降圧LEDドライバ	V_{IN} : 6V ~ 60V, V_{OUT} : 5V ~ 55V, 10000:1のTrue Color PWM調光、アナログ調光、 $I_{SD} < 1\mu A$, 5mm×8mm QFN-52パッケージ
LT3743	20Aの同期整流式降圧LEDドライバ、スリーステートLED電流制御付き	V_{IN} : 5.5V ~ 36V, V_{OUT} : 5.5V ~ 35V, 3000:1のTrue Color PWM調光、アナログ調光、 $I_{SD} < 1\mu A$, 4mm×5mm QFN-28およびTSSOP-28Eパッケージ

37911fa