

Silent Switcherを採用した 36V、4A同期整流式降圧LEDドライバ

特長

- LED電流レギュレーション: $\pm 1.5\%$
- 出力電圧レギュレーション: $\pm 1.2\%$
- スペクトラム拡散周波数変調
- Silent Switcher® (サイレント・スイッチャ)アーキテクチャにより低EMIに対応
- 入力電圧範囲: 3.6V ~ 36V
- LED列の電圧: 0V ~ 36V
- 周波数範囲: 200kHz ~ 2MHz (同期機能あり)
- 20:1のアナログ電圧またはデューティ・サイクルによるLED電流制御
- LEDの断線/短絡フォルト表示
- モニタ出力による正確なLED電流検出
- プログラマブルUVLO
- 熱特性を改善した28ピン(5mm × 4mm) LQFN

アプリケーション

- オートモティブ照明
- 産業用および汎用照明

概要

LT®3935は、モノリシックの同期整流式降圧DC/DCコンバータで、固定周波数のピーク電流制御を使用してひとつながりのLEDに対してPWM調光を実行します。LED電流は、CTRLピンにおけるアナログ電圧によって、もしくはパルスのデューティ・サイクルによって設定します。出力電圧の制限値はFBピンに接続する抵抗分圧器によって設定します。

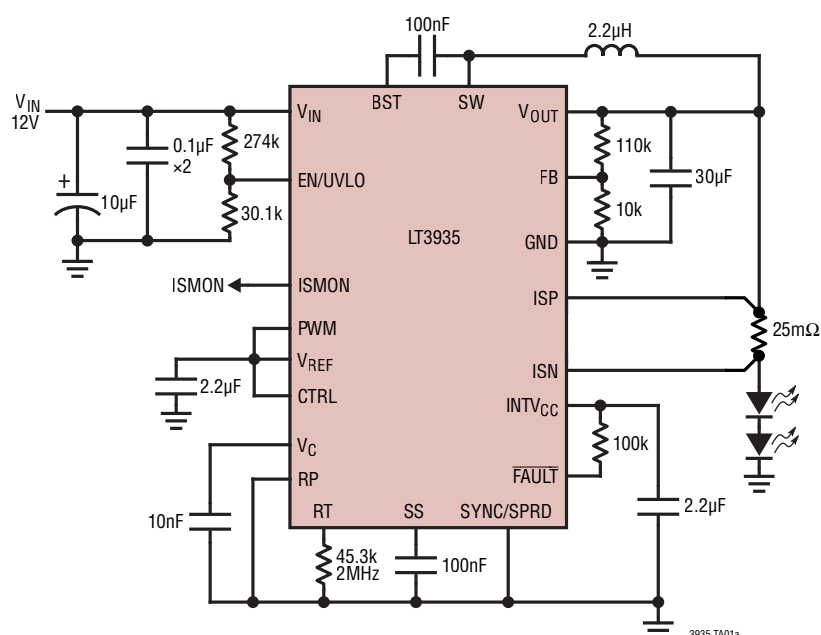
スイッチング周波数は、RTピンの外付け抵抗またはSYNC/SPRDピンの外部クロックによって200kHz ~ 2MHzの範囲で設定できます。オプションのスペクトラム拡散周波数変調を有効にすると、周波数が100% ~ 125%で変化し、EMIが減少します。

その他の機能としては、LED電流モニタ、高精度EN/UVLOピン閾値、断線および短絡の負荷状態に対応したオープン・フォルト通知、サーマル・シャットダウンがあります。LT3935は、独自のSilent Switcher® (サイレント・スイッチャ)技術を採用し超低EMIを実現します。

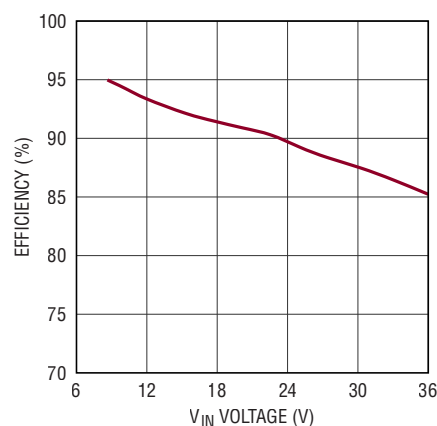
全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。7199560、7321203、9596728、9642200、およびその他申請中の特許を含む米国特許より保護されています。

標準的応用例

フォルト・インジケータ付き4A LED用ドライバ



効率とVINの関係



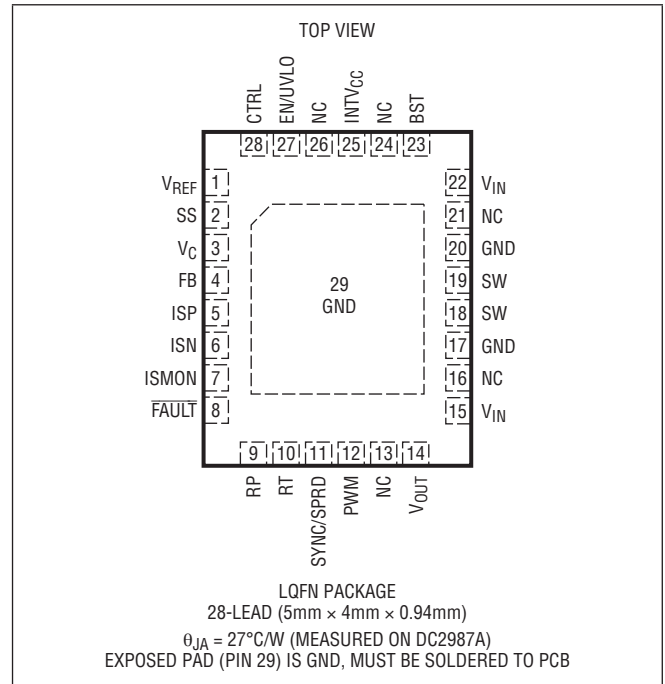
LT3935

絶対最大定格

(Note 1)

V_{IN} , EN/UVLO.....	-0.3V~40V
ISP, ISN, V_{OUT}	-0.3V~40V
ISP – ISN.....	$\pm 0.3V$
CTRL および FB	-0.3V ~ 3.3V
PWM, SYNC/SPRD, \overline{FAULT}	-0.3V~6V
SS および V_C	-0.3V ~ 3.3V
SW, BST, INTV $_{CC}$, V_{REF} , ISMON, RT, RP.....	(Note 2)
動作ジャンクション温度範囲 (Note 3, 4)	
LT3935R.....	-40°C~150°C
保管温度範囲	-65°C~150°C
最大リフロー (パッケージ・ボディ) 温度.....	260°C

ピン配置



発注情報

製品番号	製品マーキング	仕上げコード	パッド仕上げ	パッケージ・タイプ*	MSL レーティング	温度範囲
LT3935RV#PBF	3935V	e4	Au(RoHS)	LQFN (QFN フットプリントの積層パッケージ)	3	-40°C~150°C

- より幅広い動作温度範囲が仕様規定された部品については製造元までお問い合わせください。
- パッドの仕上げコードは IPC/JEDEC J-STD-609 に依ります。
- 製品番号末尾が PBF となっている製品は RoHS および WEEE に準拠しています。

- [推奨される LGA および BGA の PCB アセンブリおよび製造手順](#)
- [LGA および BGA のパッケージ図面とトレイ図面](#)
- * LT3935 パッケージのフットプリントは標準の 4mm × 5mm QFN パッケージと同じです。

電気的特性

●は、全動作温度範囲に適用される仕様であることを示します。それ以外は、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ での仕様です。また、特に指定のない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $EN/UVLO = 5\text{V}$ です。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Voltage Range		3.6		36	V
V_{IN} Pin Quiescent Current	EN/UVLO = 2V, Not Switching EN/UVLO = 300mV, Shutdown	●	2.7	3.3 16	mA μA
EN/UVLO Threshold (Falling)		1.09	1.16	1.23	V
EN/UVLO Rising Hysteresis			20		mV
EN/UVLO Pin Hysteresis Current			4		μA

Reference

V_{REF} Voltage	$I_{VREF} = 0\mu\text{A}$ $I_{VREF} = 500\mu\text{A}$	●	1.975 1.980	2 1.998	2.020 2.016	V V
V_{REF} Pin Current Limit	$V_{REF} = 1.9\text{V}$, Current Out of Pin			2		mA

LED Current Regulation

CTRL-Off Threshold (Falling)		●	200	218	233	mV
CTRL-Off Rising Hysteresis				20		mV
CTRL Pin Current	$V_{CTRL} = 2\text{V}$		-100		100	nA
Sense Voltage ($V_{ISP}-V_{ISN}$) (Analog Input)	$V_{CTRL} = 2\text{V}$ (100%), $V_{IN} = 36\text{V}$, $V_{ISP} = 24\text{V}$ $V_{CTRL} = 750\text{mV}$ (50%), $V_{IN} = 36\text{V}$, $V_{ISP} = 24\text{V}$ $V_{CTRL} = 300\text{mV}$ (5%), $V_{IN} = 36\text{V}$, $V_{ISP} = 24\text{V}$	● ● ●	98.5 48.5 4	100 50 5	101.5 51.5 6	mV mV mV
ISP Pin Current	$V_{IN} = 36\text{V}$, $V_{ISP} = 24\text{V}$, $V_{CTRL} = 2\text{V}$, Current Into Pin			50		μA
ISN Pin Current	$V_{IN} = 36\text{V}$, $V_{ISN} = 24\text{V}$, $V_{CTRL} = 2\text{V}$, Current Into Pin			50		μA
ISP/ISN Common Mode Range	$V_{IN} = 36\text{V}$ (Note 5)		0		36	V
Current Error Amplifier Transconductance	$V_{IN} = 36\text{V}$, $V_{ISP} = 24\text{V}$			200		$\mu\text{A/V}$

Duty Cycle Control of LED Current

Sense Voltage ($V_{ISP}-V_{ISN}$) (Duty Cycle Input)	CTRL Duty = 75% (100%), $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{ISP} = 10\text{V}$ CTRL Duty = 37.5% (50%), $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{ISP} = 10\text{V}$ CTRL Duty = 15% (5%), $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{ISP} = 10\text{V}$		99 49 4	100 50 5	101 51 6	mV mV mV
CTRL Pulse Input High (V_{IH})			1.6			V
CTRL Pulse Input Low (V_{IL})					0.4	V
CTRL Pulse Input Frequency Range			100		1000	kHz

Voltage Regulation

FB Regulation Voltage	$V_{ISP} = V_{ISN} = 6\text{V}$, $V_{CTRL} = 2\text{V}$	●	0.988	1.000	1.012	V
FB Pin Current	$V_{FB} = 1\text{V}$		-100		100	nA
Voltage Error Amplifier Transconductance				480		$\mu\text{A/V}$

Power Stage

Peak Current Limit			5.6	6.8	7.9	A
Minimum Off-Time	(Note 6)			55		ns
Minimum On-Time	(Note 6)			55		ns
Bottom Switch On-Resistance				40		$\text{m}\Omega$
Top Switch On-Resistance				40		$\text{m}\Omega$

Oscillator

Programmed Switching Frequency (f_{SW})	$R_T = 45.3\text{k}$, $V_{SYNC/SPRD} = 0\text{V}$ $R_T = 523\text{k}$, $V_{SYNC/SPRD} = 0\text{V}$	● ●	1890 180	2000 200	2150 230	kHz kHz
Spread Spectrum Frequency Range	$R_T = 45.3\text{k}$, $V_{SYNC/SPRD} = 3.3\text{V}$ $R_T = 523\text{k}$, $V_{SYNC/SPRD} = 3.3\text{V}$		1890 180		2700 290	kHz kHz

電氣的特性

●は、全動作温度範囲に適用される仕様であることを示します。それ以外は、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ での仕様です。また、特に指定のない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $EN/UVLO = 5\text{V}$ です。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RT Pin Current Limit	$V_{RT} = 0\text{V}$, Current Out of Pin			34		μA
SYNC/SPRD Threshold			1		2	V
SYNC/SPRD Pin Current	$V_{\text{SYNC/SPRD}} = 3.3\text{V}$		-100		100	nA
Soft-Start						
SS Pin Charging Current	$V_{SS} = 0\text{V}$			20		μA
SS Pin Discharging Current	$V_{SS} = 2\text{V}$			1.25		μA
SS Lower Threshold (Falling)				200		mV
SS Higher Threshold (Rising)				1.7		V
Fault Detection						
Open-Circuit Threshold (FB Rising)		●	930	950	975	mV
Open-Circuit Falling Hysteresis				55		mV
Short-Circuit Threshold (FB Falling)		●	180	200	220	mV
Short-Circuit Rising Hysteresis				50		mV
FAULT Pull-Down Current	$V_{\text{FAULT}} = 200\text{mV}$, $V_{\text{FB}} = 0\text{V}$		100			μA
FAULT Leakage Current	$V_{\text{FAULT}} = 3.3\text{V}$, $V_{\text{FB}} = 700\text{mV}$		-100		100	nA
Overvoltage Protection						
FB Overvoltage Threshold (FB Rising)				1.050		V
FB Overvoltage Falling Hysteresis				48		mV
LED Current Monitor						
ISMON Voltage	$V_{\text{ISP}} - V_{\text{ISN}} = 100\text{mV}$ (100%), $V_{\text{ISP}} = 12\text{V}$ $V_{\text{ISP}} - V_{\text{ISN}} = 10\text{mV}$ (10%), $V_{\text{ISP}} = 12\text{V}$		0.950 80	1.000 100	1.030 120	V mV
PWM Driver						
PWM Threshold (Rising)	$V_{\text{OUT}} = 12\text{V}$			1.7		V
PWM Pin Current	$V_{\text{PWM}} = 2\text{V}$		-100		100	nA
RP Pin Current Limit	$R_P = 0\text{V}$, Current Out of Pin			60		μA

Note 1: 上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えるとデバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くと、デバイスの信頼性と寿命に影響を与えることがあります。

Note 2: これらのピンには正または負の電圧源を接続しないでください。接続すると、デバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。

Note 3: -40°C ~ 125°C の動作ジャンクション温度範囲における仕様は、設計、特性評価、および統計のプロセス制御との相関付けによって確認されています。LT3935Rは -40°C ~ 150°C の動作ジャンクション温度範囲での動作が確保されています。ジャンクション温度が 125°C を超えると、動作寿命が定格値より短くなります。

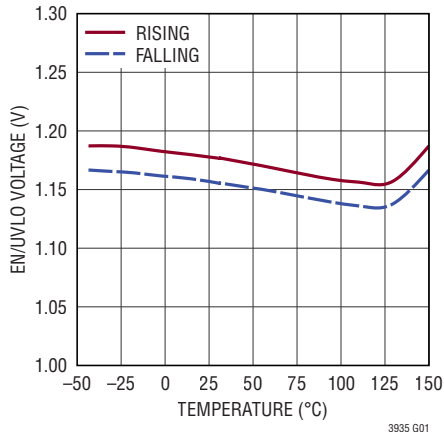
Note 4: このICには一時的な過負荷からデバイスを保護するための過熱保護機能が搭載されています。この保護機能が動作するときは、ジャンクション温度が最大定格を超えています。仕様に規定された絶対最大動作ジャンクション温度を超える温度での連続動作は、デバイスの信頼性を損なったり、デバイスに恒久的な損傷を生じさせたりする可能性があります。

Note 5: 電流検出エラー・アンプは $V_{\text{ISP}} = 36\text{V}$ および $V_{\text{ISN}} = 0\text{V}$ で独立にテストされています。

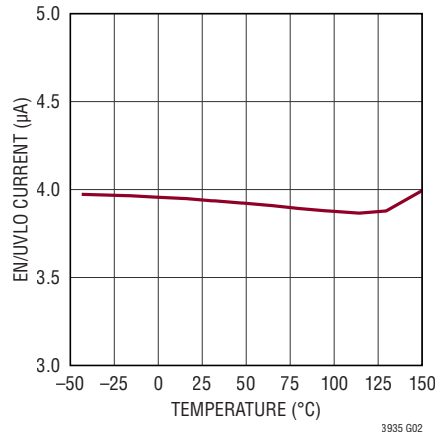
Note 6: 最少のオン時間とオフ時間は設計により確保されていますが、テストは行っておりません。

代表的な性能特性

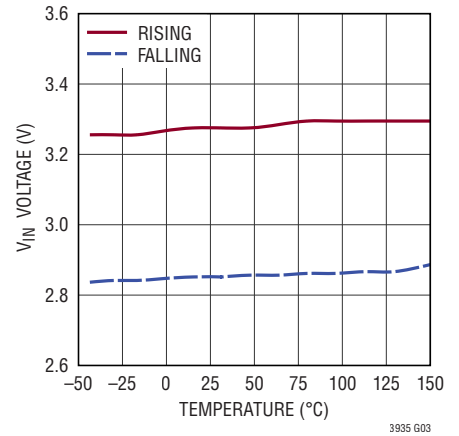
EN/UVLO 閾値



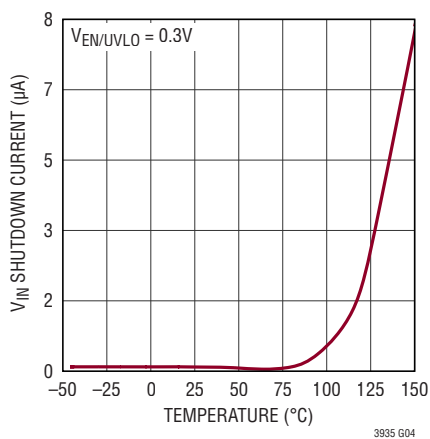
EN/UVLO ピン電流



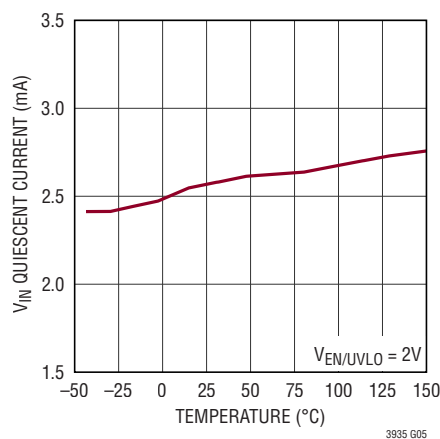
V_{IN} の UVLO 閾値



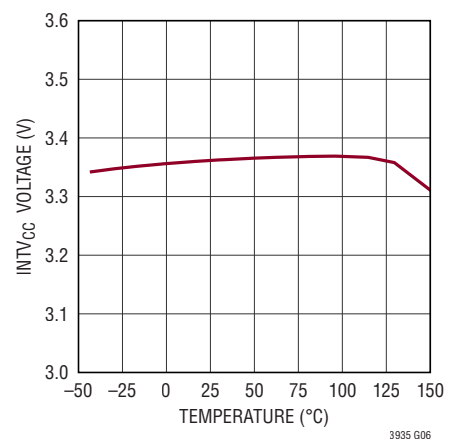
V_{IN} シャットダウン電流



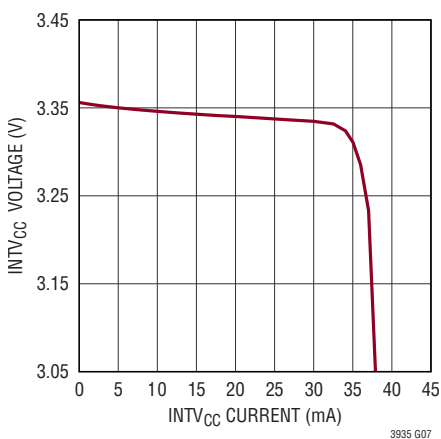
V_{IN} 静止電流



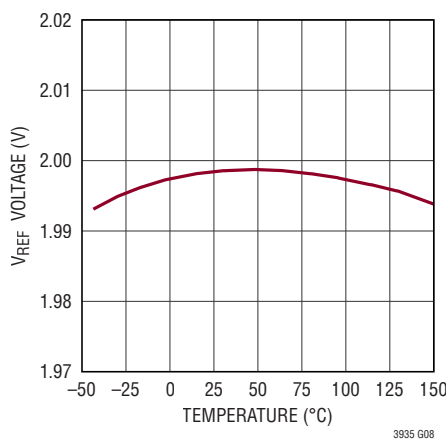
INTV_{CC} 電圧



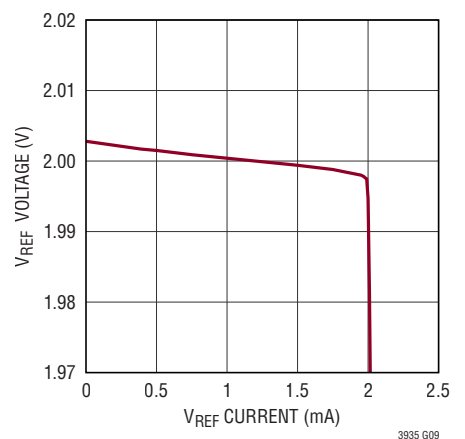
INTV_{CC} 負荷レギュレーション



V_{REF} 電圧

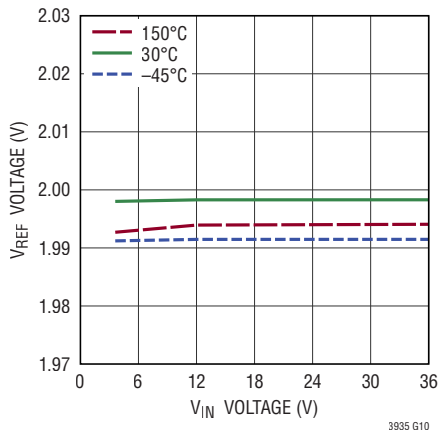


V_{REF} 負荷レギュレーション



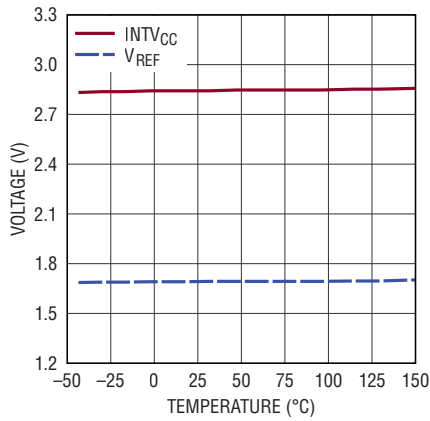
代表的な性能特性

V_{REF} ライン・レギュレーション



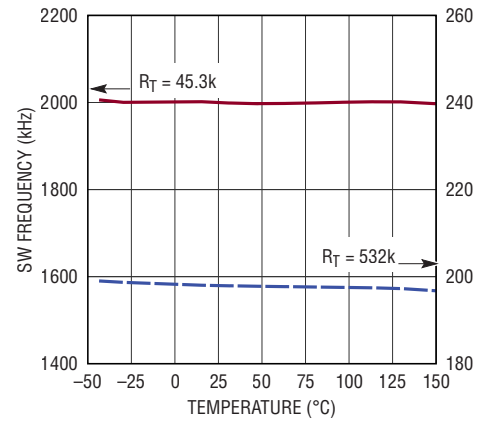
3935 G10

INTV_{CC} および V_{REF} の
UVLO 立下がり閾値



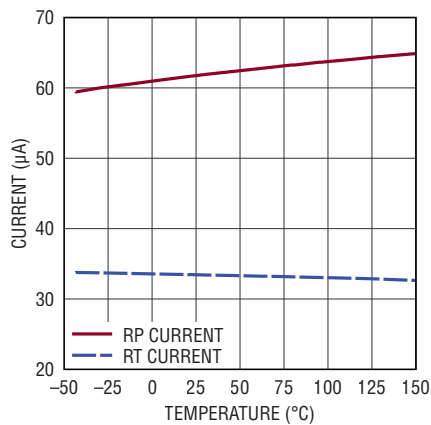
3935 G11

SW 周波数



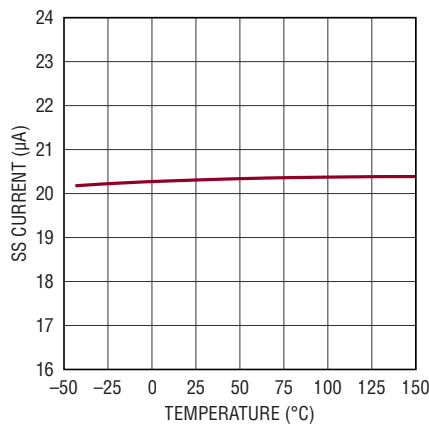
3935 G12

RP ピンと RT ピンの電流制限値



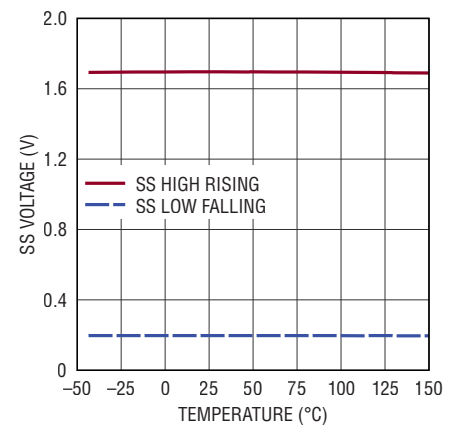
3935 G13

SS ピンのプルアップ電流



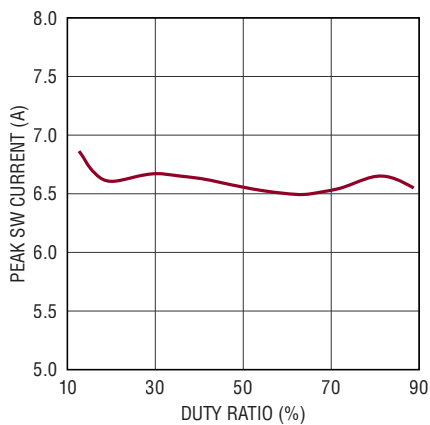
3935 G14

SS 閾値



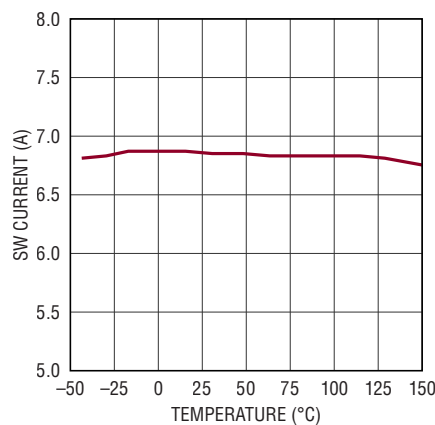
3935 G15

ピーク SW 電流制限値



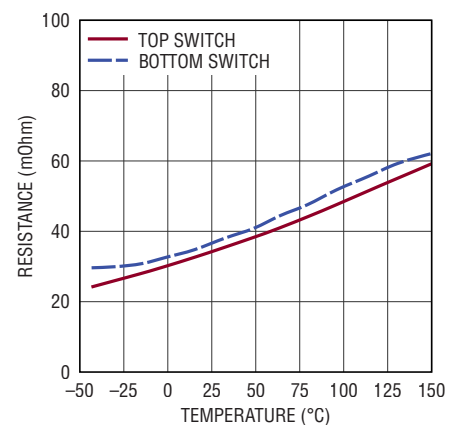
3935 G16

ピーク電流と温度の関係



3935 G17

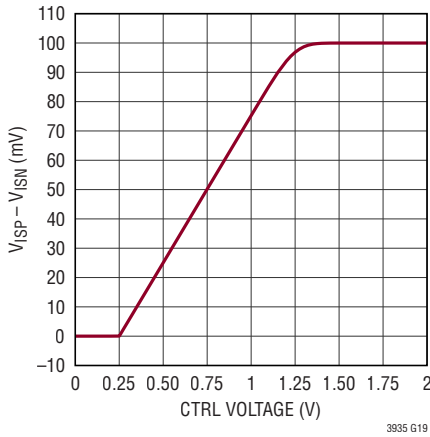
パワー・スイッチのオン抵抗



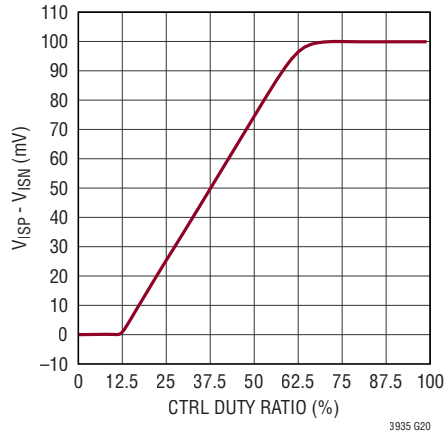
3935 G18

代表的な性能特性

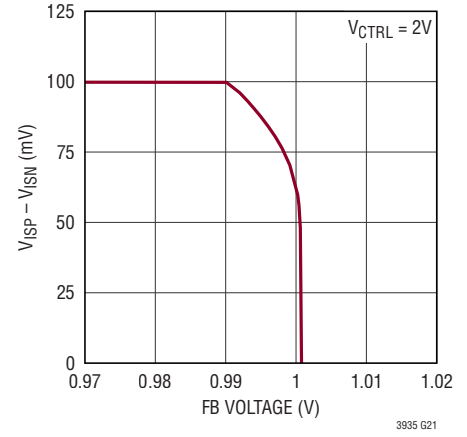
LED 電流 (アナログ CTRL)



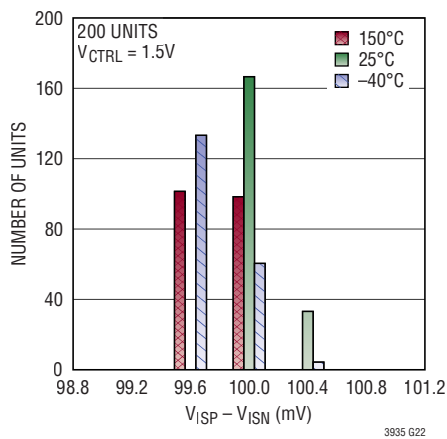
LED 電流 (デジタル CTRL)



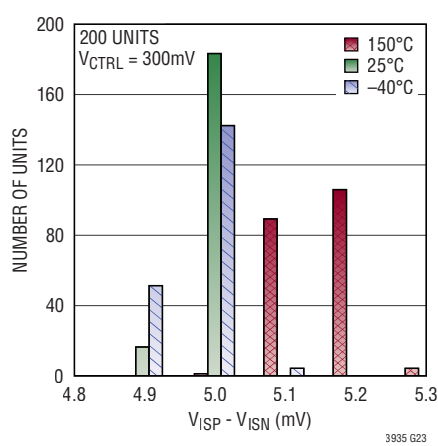
LED 電圧制限値



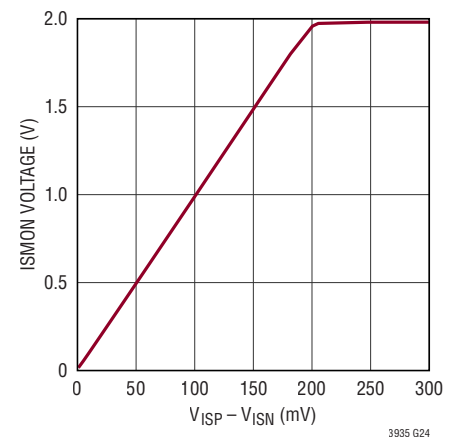
LED 電流 (100% レギュレーション)



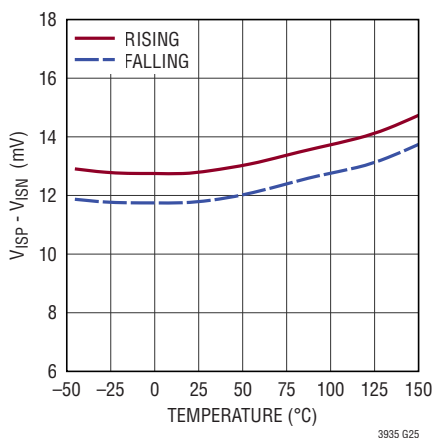
LED 電流 (5% レギュレーション)



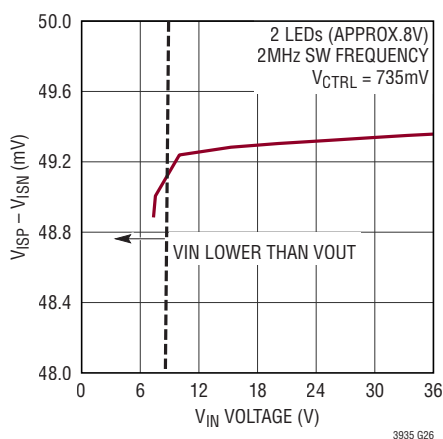
ISMON 電圧



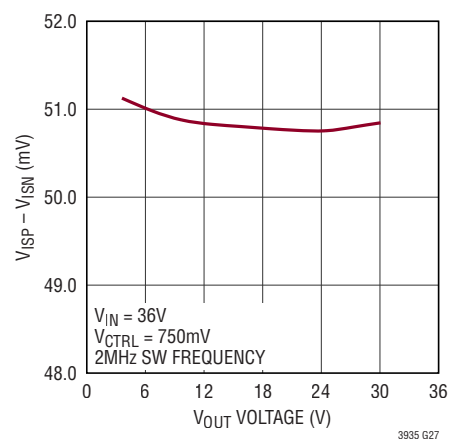
C/10 閾値



LED 電流と V_IN の関係

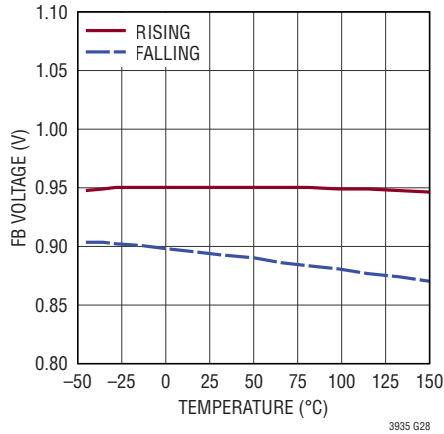


LED 電流と V_OUT の関係

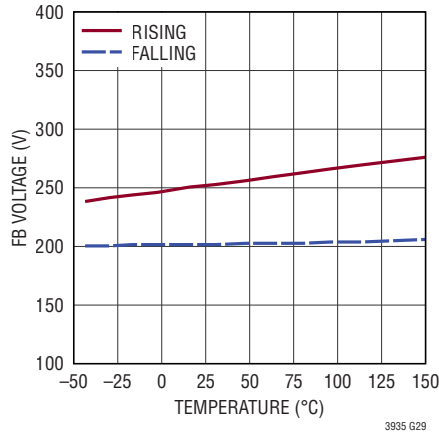


代表的な性能特性

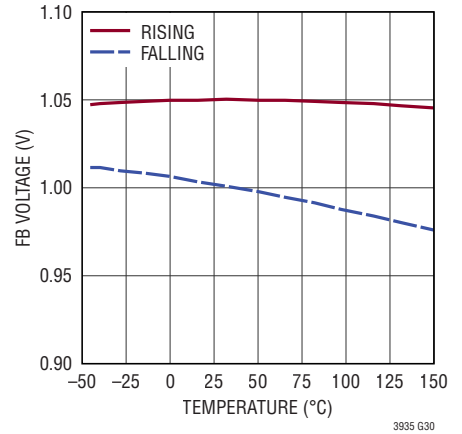
FB OPENLED 閾値



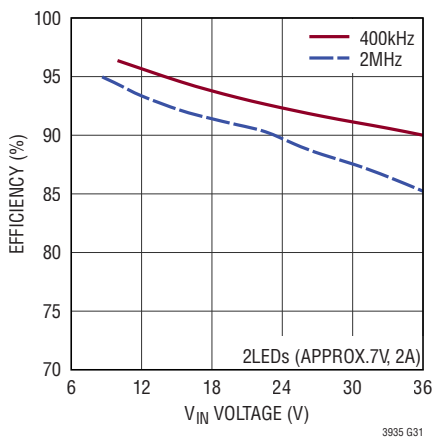
FB SHORTLED 閾値



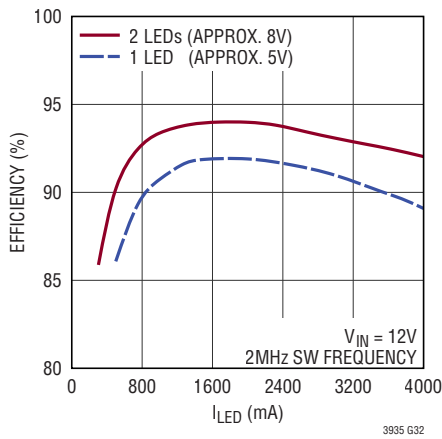
FB の OVLO 閾値



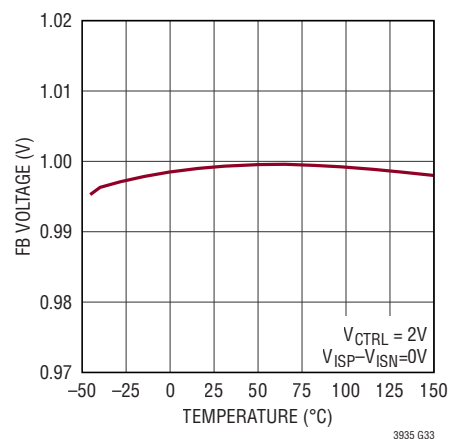
効率と V_{IN} の関係



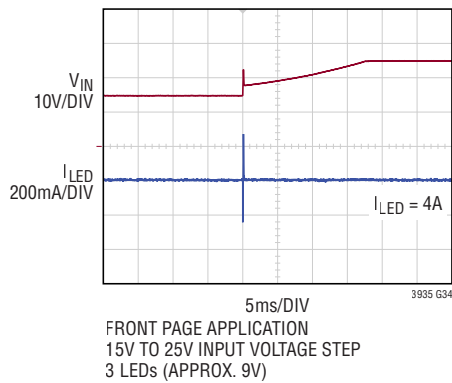
効率と I_{LED} の関係



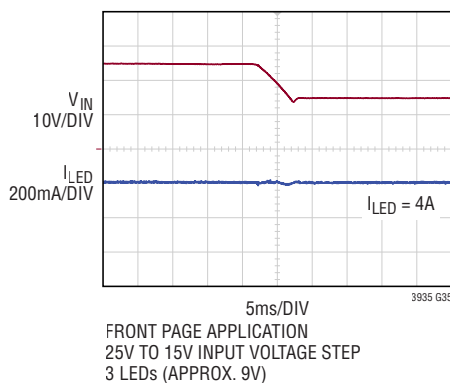
レギュレーション FB 電圧



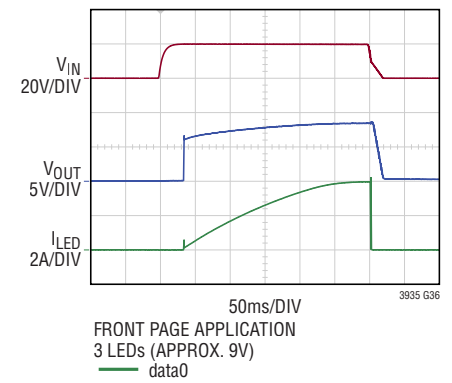
入力電圧過渡応答



入力電圧過渡応答



ターンオンとターンオフ



ピン機能

V_{IN}: 入力電圧ピン。これらのピンは内蔵の高性能アナログ回路に電力を供給し、内部のハイ・サイド・パワー・スイッチがオンの場合はインダクタ電流を供給します。これらのピンとGNDの間にはコンデンサを接続してください。配置に関しては[アプリケーション情報](#)の入力コンデンサの選択と配置のセクションを参照してください。

EN/UVLO: イネーブルおよび低電圧ロックアウト・ピン。このピンの電圧が1.16Vを超えるとスイッチングがイネーブルされ、電圧が300mV未満になると内部電流バイアスとサブレギュレータがシャットダウンされます。このピンとGNDの間に抵抗ネットワークを接続してピン電圧を設定すると、V_{IN}が特定のレベルを下回ったときにデバイスを自動的にロックアウトすることができます。内部コンポーネントがこのピンをプルアップやプルダウンすることはないため、正常動作のためには外部電圧バイアスが必要です。このピンはV_{IN}に直接接続することもできます。

INTV_{CC}: 内部でレギュレーションされた低電圧の電源ピン。このピンは、コンバータ・スイッチのゲート・ドライバに電力を供給します。これらのピンには電圧をかけずに、2.2μFのコンデンサを使用してGNDにバイパスしてください。

ISP: 正電流検出ピン。このピンは、内部電流検出エラー・アンプへの入力1つです。外付け検出抵抗の正側に接続する必要があります。

ISN: 負電流検出ピン。このピンは、内部電流検出エラー・アンプへの入力1つです。外付け検出抵抗の負側に接続する必要があります。

ISMON: 出力電流モニタリング・ピン。このピンは、ISPとISNの間で1mVごとに10mVに等しいバッファ付き電圧出力を供給します。

CTRL: 制御ピン。このピンへの250mV～1.25Vのアナログ電圧により、ISPとISNの間のレギュレーション電圧（したがって、負荷に供給されるレギュレーション電流）を設定します。または、このピンにデューティ・サイクルが12.5%～62.5%のデジタル・パルスを与えることにより、レギュレーション電圧を設定することもできます。200mVまたは10%デューティ・サイクルを下回ると、CTRLピンの電圧によってスイッチングがディスエーブルされます。詳細については、代表的な性能曲線のレギュレーションLED電流、および[アプリケーション情報](#)のCTRLピンを使用したLED電流の設定のセクションを参照してください。

V_{REF}: リファレンス電圧ピン。このピンは、2mA駆動が可能なバッファ付きの2Vリファレンスを提供します。CTRLピンとPWMピンの電圧を設定するための抵抗ネットワークを接続するのに使用できます。2.2μFのコンデンサでGNDにバイパスしてください。

FB: 帰還ピン。このピンの電圧が1Vに近づくと、レギュレーション電流は設定値から自動的に減少します。このピンとV_{OUT}の間に抵抗ネットワークを接続して、出力電圧の制限値を設定できます。FBピンの電圧が1.05Vに達すると、過電圧ロックアウト・コンパレータがスイッチングをディスエーブルします。

FAULT: フォルト・ピン。100kの抵抗を介してINTV_{CC}に接続します。FBピンの電圧が200mV未満の場合は、内部スイッチがこのピンをローにプルダウンして回路が短絡していることを示します。FBピンの電圧が950mVを超え、同時に、ISPとISNの間の電圧が10mV未満になると、スイッチがこのピンをローにプルダウンして回路が断線していることを示します。

SS: ソフトスタート・ピン。スタートアップ時およびフォルト状態からの回復時に、コンデンサが20μAの電流で充電されます。負荷電流が設定されたレベルに達するまで、FB電圧がこのピンの上昇電圧を追跡します。コンデンサの代表値は10nF～100nFです。SSとINTV_{CC}の間に抵抗を使用すると複数のフォルト・モードの1つを選択できます。詳細は[アプリケーション情報](#)のソフトスタート・モードとフォルト・モードのセクションを参照してください。

V_C: 補償ピン。このピンとGNDの間にコンデンサを接続すると、電流と電圧のレギュレーションが安定します。詳細については、[アプリケーション情報](#)のレギュレーション・ループの安定化のセクションを参照してください。

SW: スイッチ・ピン。これら2つのピンは、パワー・デバイスおよびドライバに内部接続されています。これらは常に一緒に接続する必要があります。通常動作では、これらのピンの電圧は、入力電圧とゼロの間を設定された周波数で切り替わります。これらのピンには電圧をかけないでください。

RT: タイミング抵抗ピン。このピンとGNDの間の抵抗により、200kHz～2MHzのスイッチング周波数を設定します。このピンはオープンのままにしないでください。

ピン機能

SYNC/SPRD : 同期ピン。設定されたスイッチング周波数をオーバーライドするには、このピンを200kHz～2MHzの周波数の外部クロックで駆動します。外部クロックを使用する場合でも、目的のスイッチング周波数に対応する R_T 抵抗を選択します。このピンをINTV_{CC}に接続すると、スペクトラム拡散周波数変調が有効になります。このピンを使用しない場合にはGNDに接続する必要があります。

BST : 昇圧ピン。このピンはハイ・サイド・パワー・スイッチ・ドライバに電力を供給します。このピンとSWの間には100nFのコンデンサを接続してください。SWピンがローの場合は、INTV_{CC}からBSTへの内部チャージ・ポンプがコンデンサを充電します。

PWM : PWM入力ピン。PWMによる調光が不要の場合は、RPピンをGNDに接続した状態でこのピンをV_{REF}ピンまたはINTV_{CC}ピンに接続します。

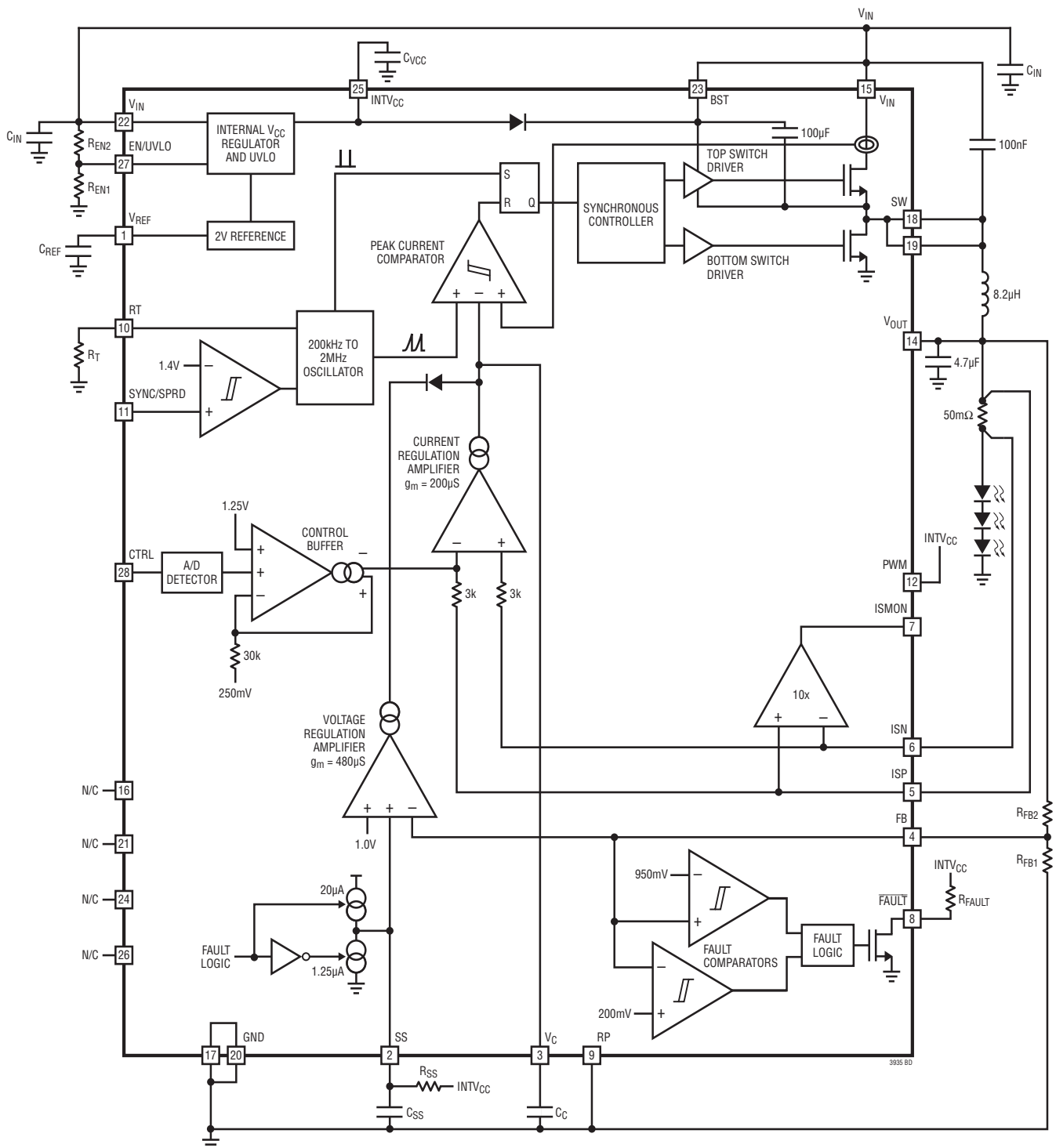
RP : PWM抵抗ピン。このピンはGNDに接続します。

V_{OUT} : 調光が不要な場合でもこのピンは出力電圧に接続してください。

GND : グラウンド・ピン。これらのピンは回路基板のグラウンド・プレーンにハンダ付けする必要があります。

NC : 無接続ピン。

ブロック図



動作

LT3935は降圧LEDドライバで、ひとつながりのLEDを流れる電流を正確にレギュレーションするために固定周波数のピーク電流制御を使用しています。2つのパワー・スイッチ、それらのドライバ、およびトップ・スイッチのドライバに電力を供給するためのチャージ・ポンプが内蔵されています。このスイッチは、SWピンの外部インダクタを入力電源とグラウンドに交互に接続します。インダクタ電流はそれに応じて増減し、他の回路ブロックの効果を組み合わせることでパワー・スイッチのデューティ比を調整することにより、ピーク電流を調整できます。

同期コントローラはパワー・スイッチが同時に導通することのないようにし、プログラマブル発振器は各スイッチング・サイクルの開始時に上側スイッチをオンにします。この発振器の周波数はRTピンの外付け抵抗によって設定され、SYNC/SPRDピンの外部パルスによってオーバーライドできます。SYNC/SPRDピンは、スペクトラム拡散周波数変調(SSFM)を指定して放射性および伝導性の電磁干渉(EMI)を低減するためにも使用できます。

上側スイッチは、ピーク電流コンパレータによってオフにされます。このコンパレータは、オン時間中、増加するインダクタ電流が V_C ピンの電圧によって設定された目標値を超えるのを待ちます。この目標値は、インダクタ電流を安定させる発振器からの信号によって変化します。このレギュレーション・ループを安定させるには、 V_C ピンにコンデンサが必要です。

インダクタ電流の目標値は、CTRLピンの電圧によって設定される目標LED電流から求められます。A/D検出器と制御バッファは、CTRLピンのDC電圧またはデジタル・パルスを電流レギュレーション・アンプの入力に変換します。このアンプへのその他の入力、ISPピンおよびISNピンの電圧から供給されます。これらのピン間の外付け電流検出抵抗は、LED列と直列に配置して、その両端の電圧がLED電流を調整するためのフィードバックを提供するようにする必要があります。次に、電流レギュレーション・アンプは実際のLED電流と設定されたLED電流を比較し、必要に応じて V_C を調整します。

FBピンの電圧が内部の1Vリファレンスに近づくと、電圧レギュレーション・アンプが電流レギュレーション・アンプをオーバーライドします。LED列からFBピンへの外付け抵抗ネットワークによりLED列の電圧が示されるため、電圧アンプはLED列の過電圧を防止できます。

FBピンの電圧もモニタされ、断線や短絡などのフォルト状態が検出されます。これらの状態は、FAULTピンをローにすることによって通知されます。フォルトへの応答は、SSピンに接続した外付け抵抗を選択することにより、ヒカップ再起動を試みるかラッチオフするかを選択できます。フォルト応答の詳細は、[アプリケーション情報](#)を参照してください。

アプリケーション情報

アプリケーション条件に応じてLT3935を構成したり、適切な外部コンポーネントを選択したりするには、以降のガイドラインを参照してください。

CTRL ピンを使用したLED 電流の設定

LT3935の主な機能は、LED列の電流を調整することです。この電流は、LED列の任意の場所に配置できる直列の電流検出抵抗を流れる必要があります。それにより、ISPピンとISNピンを介してこの抵抗両端の電圧が電流レギュレーション・アンプによって検出され、CTRLピンで設定されたレベルにレギュレーションされます。設定可能な最大抵抗電圧は100mVで、25mΩの電流検出抵抗を使用した場合、LED列に流れる電流は4Aに相当します。

この最大電流を可能にするために、CTRLピンを正確な2Vリファレンスを供給するVREFピンに直接接続することもできます。より低い電流レベルは、図1に示すように、250mV～1.25VのDC CTRL電圧で設定できます。

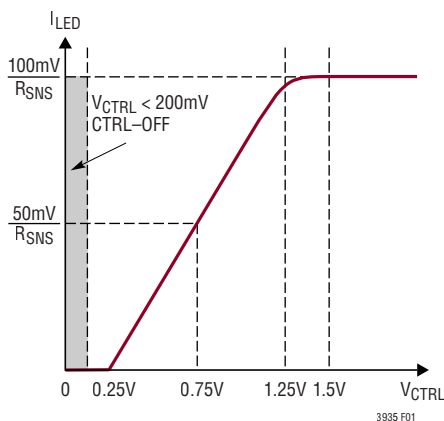


図1. アナログ CTRL 範囲

250mV未満では、CTRLピンによりLED電流がゼロになり、1.25Vを超えると最大になります。独立した電圧源が利用できない場合、VREFピンから流れる合計電流が1mA未満である限り、抵抗ネットワークまたはポテンショメータを用いて、VREFピンの2Vリファレンスから中間のCTRL電圧を得ることができます。

更に、LT3935はCTRLピンでパルスを解釈できます。パルスのハイ・レベルは1.6Vより高く、ロー・レベルは400mVより低い必要があります。周波数は100kHzより高く1MHzより低い必要があります。それにより、ISPとISNの間のレギュレーション電圧は、図2に示すようにパルスのデューティ・サイクルによって変化します。

この図の場合、LED電流は、デューティ比が12.5%未満の場合ゼロで、62.5%を超えると最大に達しています。LT3935は、CTRLピンのパルスのデューティ比が10%未満の場合、またDC CTRLピン電圧が200mV未満の場合、スイッチングを停止します。

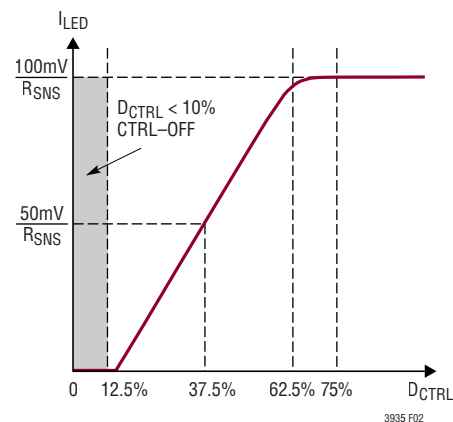


図2. デューティ比CTRL範囲

LEDの温度が上昇した際にLED電流を減らすには、図3に示すように、VREFからCTRLへのネットワークで負の温度係数(NTC)を持つ抵抗を使用します。

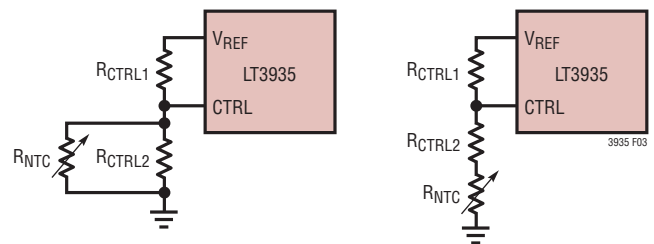


図3. NTC 抵抗を使用した CTRL の設定

アプリケーション情報

RTピンによるスイッチング周波数の設定

LT3935のスイッチング周波数は、RTピンとGNDの間に抵抗を接続することによって設定します。表1に示すように、45.3k～523kのRT抵抗の値により、2MHz～200kHzの周波数が設定されます。周波数を高くすると、外付け部品を小さくすることができますが、スイッチングの電力損失と放射EMIが増加します。

表1. RT抵抗の範囲

SWITCHING FREQUENCY	RT
2.0MHz	45.3k
1.6MHz	59.0k
1.2MHz	80.6k
1.0MHz	97.6k
750kHz	133k
500kHz	205k
400kHz	255k
300kHz	348k
200kHz	523k

スイッチング周波数の同期

スイッチング周波数は、SYNC/SPRDピンに接続された外部クロックに同期させることもできます。外部クロックのハイ・レベルは1.4V以上の必要があり、周波数は200kHz～2MHzであることが必要です。この場合もRT抵抗は必要で、その値は外部クロックの周波数に対応させる必要があります。外部クロックが停止してしまった場合、LT3935はRT抵抗を使って周波数を設定します。

スペクトラム拡散周波数変調のイネーブル

SYNC/SPRDをINTV_{CC}に接続すると、スペクトラム拡散周波数変調(SSFM)がイネーブルになります。スイッチング周波数は、RT抵抗で設定された周波数からその周波数の125%まで変化します。同期もSSFMも必要ない場合は、SYNC/SPRDをGNDに接続します。

図4に示すように、SSFMをイネーブルすると、すべてのスイッチング・レギュレータと同様、LT3935はスイッチング周波数およびその高調波で放射する電磁干渉を大幅に減衰させることができます。この機能は、LT3935などのデバイスに対し、干渉に関連する様々な標準的産業用テストでの成績が向上するように設計されています。

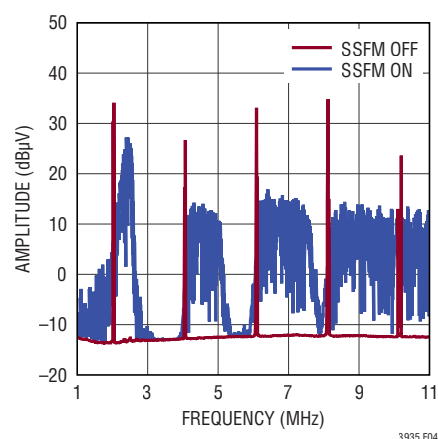


図4. 代表的な平均伝導エミッション

減衰は、選択したスイッチング周波数、干渉が測定される周波数の範囲、およびテストがピーク、準ピーク、または平均化放射のいずれを測定するかによって異なります。その他いくつかの放射測定の結果を選択して、代表的なアプリケーションのセクションに示します。

電流制限について

スイッチング周波数の選択は、CTRLピンで設定できる最大LED電流が4Aでありながら、周波数が高く出力電圧が短絡時のように低い場合には、インダクタ電流が4Aを超える可能性があることを知ったうえで行う必要があります。これは、各スイッチング時間にSWピンがハイに駆動されるために必要な最小オン時間があるためです。インダクタ電流はこの時間に増加しますが、周波数が高く出力電圧が低い場合には、各スイッチング時間に十分なオフ時間が残っておらず、インダクタ電流が最初のレベルに減少することができない可能性があります。この場合、正味のインダクタ電流は、CTRLピンの状態にかかわらず、各スイッチング時間内に増加します。

LT3935に損傷を与える可能性のある大きなインダクタ電流を防ぐために、インダクタ電流がインダクタの「谷」制限値(DA制限値と呼ばれ、この場合約6.4A)未満に減少するまでハイサイド・スイッチはオンになりません。ピーク・インダクタ電流は6.8Aまで増加する可能性があります。オフ時間とスイッチング時間は、インダクタ電流が図5に示す平衡状態に達するまで延長されます。

アプリケーション情報

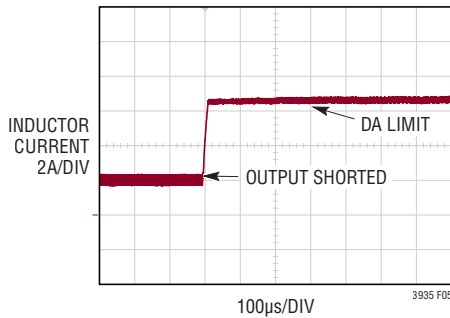


図5. 電流制限時の延長されたオフ時間

DA制限値は出力がGNDに短絡している場合のみ意味を持ちます。LED列がGNDに短絡している場合、両端の電圧は、必要なオン時間が最小オン時間より長くなるのに十分な高さとなります。つまり、LED列が短絡しているにもかかわらず、インダクタ電流は、スイッチング周波数が最大の場合でもレギュレーション状態を維持します。

インダクタの選択

インダクタは目的のアプリケーションによらず、電流制限を行うための定格が必要です。ほとんどのアプリケーションでは、インダクタ電流のリップルが最大出力電流の25%を超えないようにその値を選択する必要があります。例えば電流が4Aの場合、最小のインダクタンスは次式で計算できます。

$$L = 1\mu\text{H} \cdot \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN(MAX)}}} \cdot \frac{V_{\text{IN(MAX)}} - V_{\text{OUT}}}{1\text{V}} \cdot \frac{1\text{MHz}}{f_{\text{SW}}}$$

ただし、高出力電圧の場合、上記の式が示すインダクタンス値でも小さすぎます。安定性を確保するため、LT3935には、次式を超えるインダクタンスが必要です。

$$L = \frac{1\mu\text{H}}{3} \cdot \frac{V_{\text{OUT}}}{1\text{V}} \cdot \frac{1\text{MHz}}{f_{\text{SW}}}$$

これらの式で求められる値より大きな値を選択してください。表2に、インダクタの推奨供給元を示します。

表2. インダクタ・メーカー

MANUFACTURER	WEBSITE
Würth Elektronik	www.we-online.com
Coilcraft	www.coilcraft.com

出力コンデンサの選択

アプリケーションによっては、LED列がリップル電流の影響を受けやすい場合があります。そのような場合、出力に配置されたコンデンサがインダクタ電流の一部を吸収し、LED電流リップルを減少させます。通常、このコンデンサの値は、次式で示すように、スイッチング周波数と出力電圧に反比例します。

$$C_{\text{OUT}} = 100\mu\text{F} \cdot \frac{1\text{V}}{V_{\text{OUT}}} \cdot \frac{1\text{MHz}}{f_{\text{SW}}}$$

ただし、アプリケーションによってはこれより大きいあるいは小さい容量でも安定であり、また、容量を大きくすることでLED電流波形が改善することもあります。

X7RまたはX5Rセラミック・コンデンサを使用してください。これは、他の種類のコンデンサよりも広い電圧範囲および温度範囲にわたって静電容量を保持します。高品質のセラミックおよび電解コンデンサの供給元を、表3に記載します。

表3. コンデンサのメーカー

MANUFACTURER	WEBSITE
Murata Manufacturing	www.murata.com
Garrett Electronics	www.garrettelec.com
AVX	www.avx.com
Nippon Chemi-Con	www.chemi-con.co.jp

レギュレーション・ループの安定化

レギュレーション・ループを安定化するには、通常、 V_C ピンとGNDの間にコンデンサ C_C を接続するだけで済みます。ほとんどの設計には、1nF～10nFの値が適しています。使用する出力コンデンサ C_{OUT} が10μFを超える場合、 C_C と直列に抵抗 R_C を配置する必要もあります。 C_{OUT} の値が大きくなると R_C の値も大きくする必要があります。いくつかの例について標準的応用例を参照してください。

入力コンデンサの選択と配置

安定性には影響しないものの、入力電源電圧を適切にバイパスするために、 V_{IN} とGNDの間にはいくつかのコンデンサが必要です。すべてが V_{IN} ピンに非常に近接して配置されたセラミック・コンデンサである必要はありませんが、少なくとも

アプリケーション情報

も合計で10μFが必要です。ただし、図6に示すように、V_{IN}ピン（ピン15および22）とその隣接GNDピンの各ペアのできるだけ近くにはセラミック・コンデンサを配置する必要があります。これら2つのコンデンサは、可能であれば0.1μF以上とする必要があります。両V_{IN}ピンは、回路基板の第2層のパターンを利用して互いに接続することができます。

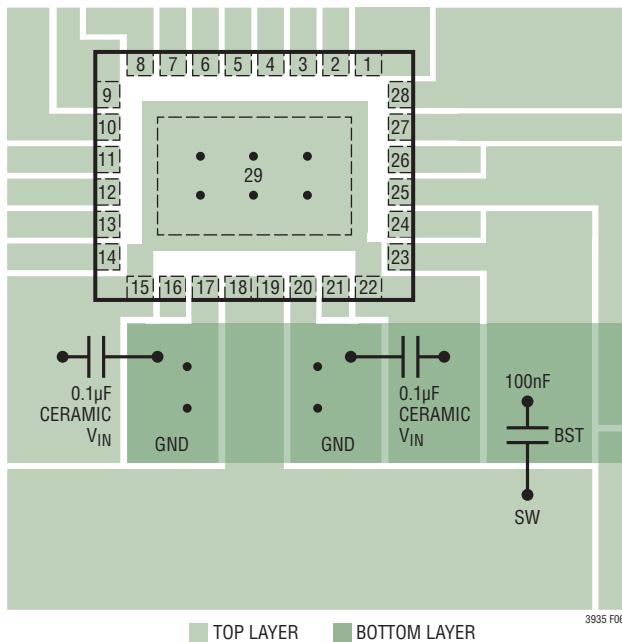


図6. 入力コンデンサの配置

LED 電流のモニタリング

ISMONピンでは、ISPピンとISNピンの間の電圧を増幅しバッファリングしたモニタが可能です。内部アンプのゲインは10で、速度はパルス幅変調されたLED電流を追跡するのに十分な速さです。ただし、図7に示すように、ISMON電圧を抵抗-コンデンサ・ネットワークでフィルタ処理することで平均化LED電流をモニタすることもできます。

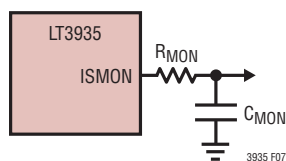


図7. ISMONのフィルタ構成

抵抗は1MΩとしてください。容量は、内部アンプの安定性に影響を与えることなく、必要に応じて大きくしたり小さくしたりできます。例えば、PWM周波数が200Hzの場合、100nFのコンデンサと1MΩの抵抗を組み合わせると、ISMONのリプルは1%に制限されます。

FB抵抗の選択

図8に示すように、2つの抵抗を選択して、出力電圧とFBピンの間にネットワークを形成する必要があります。

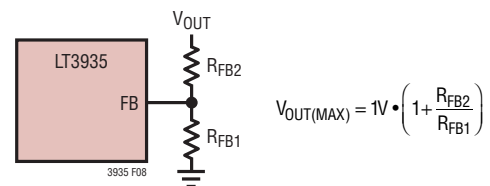


図8. FBの抵抗の構成

このネットワークは、FBが1Vに近い場合、電圧レギュレーション・ループの一部を形成します。その場合、LT3935は設定されたLED電流をオーバーライドし、出力電圧を下げ、FBを1Vに制限します。したがって、この抵抗構成が最大出力電圧を決定します。

この電圧制限値は、代表的な出力電圧に近すぎるように設定された場合や、出力コンデンサが小さすぎる場合、偶発的に達してしまうことがあるので注意してください。電流レギュレーションとの干渉を避けるために、LEDの導通時にFBが約700mVになるように帰還抵抗を選択する必要があります。

12VのLED列の場合、最大出力電圧が約17Vとなるよう設計します。まず、R_{FB1}に10kを設定します。R_{FB2}の値を計算するには、FB(1V)と最大出力電圧との差1Vごとに10kを追加します。この場合、R_{FB2}に最も近い1%標準抵抗の値は162kとなります。

このようにして、LT3935はLEDドライバの代わりに電圧レギュレータとして構成することもできます。負荷電流がCTRLによって設定された電流よりも小さい限り、設定された最大値付近で出力電圧をレギュレーションします。

アプリケーション情報

FB過電圧ロックアウトについて

FB電圧が1Vの制限値を超える場合もあります。出力電圧が最大値に近い場合にLED列が断線すると、帰還ループがインダクタ電流を調整して出力の過充電を回避するのに時間がかかりすぎる場合があります。しかし、FBの電圧が1.05Vの過電圧ロックアウト閾値を超えた場合、LT3935は直ちにスイッチングを停止し、FBが1Vに低下した場合にのみ再開します。

LT3935が電圧レギュレータとして動作していて、負荷電流が急激に減少するような場合、この閾値を定常的に超える可能性があります。この場合、スイッチングの一時停止により出力オーバーシュートを制限し、電圧が可能な限り速くレギュレーションに戻るようにします。安全に動作させるためには、FB電圧が1.05Vのときに出力電圧が V_{IN} を超えないように R_{FB2} と R_{FB1} の値を選択します。

LED断線および短絡フォルトの検出と応答

R_{FB1} と R_{FB2} で形成された抵抗ネットワークは、LED列の短絡と断線の2つのフォルト状態の基準も定義します。LT3935の場合、短絡はFBが200mV未満となる場合です。断線は、FBが950mVを超え、同時にISPとISNの差が10mV (C/10 閾値) 未満となる場合です。後者の条件は、LEDに大電流が流れている場合などにも見られるように単に出力電圧が高いだけでなく、出力電流が低い(断線状態に相当)ことを確認するためのものです。

どちらの場合も、フォルトは、内部デバイスが $\overline{\text{FAULT}}$ ピンの電圧をローにプルダウンすることによって通知されます。内部にはこの電圧をハイにプルアップするものはないので、[図9](#)に示すようにINTV_{CC}と $\overline{\text{FAULT}}$ の間に外付け抵抗が必要です。この構成により、複数の $\overline{\text{FAULT}}$ ピンや他のデバイスの同様のピンを接続して、単一の抵抗を共有できます。

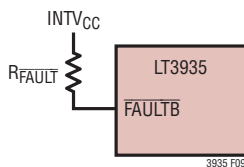


図9. FAULT抵抗の構成

ソフトスタート・モードとフォルト・モード

SSピンには2つの機能があります。まず、ユーザが出力電圧の立上がりの上昇率を設定できることです。SSピンは、20 μ Aの内部電流によってINTV_{CC}にプルアップされます。[図10](#)に示すように、外付けコンデンサ C_{SS} をSSピンとGNDの間に接続すると、線形のランプ電圧が生成されます。LT3935はFBピン電圧をレギュレーションして、 V_{OUT} が所定の電流レベルでLEDを駆動するのに十分な高さになるまでSSピン電圧を追跡します。

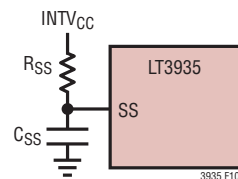


図10. SSのコンデンサと抵抗の構成

SSピンはフォルト・タイマーとしても使用できます。フォルトが検出されると、1.25 μ Aの内部電流シンクによりソフトスタート・コンデンサの放電が開始され、SSピンの電圧が低下します。電圧が3.3Vから1.7Vに低下するとすべてのスイッチングが停止しますが、SSピンは引き続き放電を続けます。SSが200mVに達するまでスイッチングは再開しません。200mVに達すると、20 μ Aの電流によりソフトスタート・コンデンサが再充電され、LT3935は再びスイッチングを試みます。SSが1.7Vに戻ってもフォルトが継続する場合、[図11](#)に示すようにこのプロセスが繰り返されます。

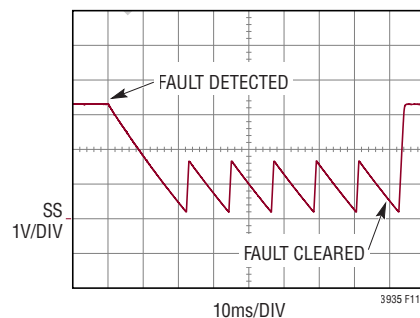


図11. フォルトに対するヒカップ応答

アプリケーション情報

ソフトスタート・コンデンサの充電レートは、放電レートよりはるかに速いため、フォルトが継続する間、LT3935がスイッチングを試みるのは、中断するまでのサイクルのうち比較的短い部分だけです。LT3935は継続的にスイッチングを行う間、短絡に対し安全な耐性を保持していますが、このヒカップ動作を行うことで電力が節減できます。ヒカップの繰り返し頻度は C_{SS} に反比例し、100nFの場合、約8Hzとなります。

軽負荷に電源供給する電圧レギュレータの動作点は、しばしば断線の基準を満たすため、ヒカップ動作は非常に問題となります。そのため、LT3935では、電圧レギュレータとして構成されている場合、図10に示すように、抵抗 R_{SS} をINTV_{CC}とSSの間に接続する必要があります。

フォルトの間にSSピンをプルダウンする電流は非常に小さいため、 R_{SS} が1M Ω の場合SSピンの電圧が1.7Vに達することはありません。そのため、LT3935はスイッチングを停止することもヒカップを開始することはありません。この抵抗を使用することで、LT3935はスイッチングを続け、過電圧および低電圧保護に依存して断線や短絡が生じた場合の安全動作を確保します。

抵抗を2M Ω に変更すると、SSピンは1.7V未満まで放電が可能となりますが、図12に示すように200mVを下回ることはありません。その結果、LT3935はEN/UVLOピンまたは電源オフによってリセットされるまで、常時スイッチングを停止します。アプリケーションによっては、通常動作を再開する前に手動で短絡や断線を検査できるよう、この動作を必要とする場合があります。

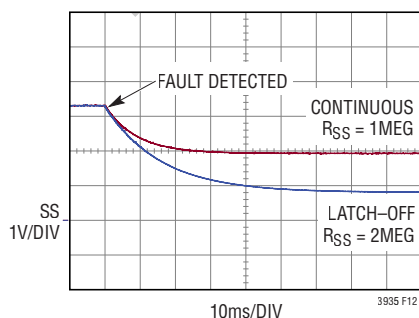


図12. フォルトに対するラッチオフ応答

このラッチオフ動作は、フォルトに対応するためにLT3935に設定できる3つの方法の3番目です。他の2つは、連続動作でありデフォルトのヒカップ動作を行います。

VEN/UVLO 閾値の設定

外部電圧源を用いて、LT3935をイネーブルまたはディスエーブルするよう、このEN/UVLOピンの電圧を設定できます。EN/UVLOの電圧が1.16V未満になると、LT3935はスイッチングを停止しSSピンをリセットしますが、内部回路の電流は流れ続けます。EN/UVLOが300mV未満になると完全にシャットダウンします。この場合、LT3935の消費電流は16 μ A未満です。EN/UVLOを駆動する電源のレベルが緩やかに変化するようなアプリケーションのために、1.16Vのイネーブル閾値には20mVのヒステリシスが加えられています。

また、図13に示すように、抵抗ネットワークをV_{IN}とEN/UVLOの間に配置することができます。この場合、V_{IN}が、抵抗 R_{EN1} および R_{EN2} で定義された低電圧ロックアウト (UVLO) と呼ばれる特定のレベルを下回ると、EN/UVLOが自動的に1.16V未満になり、スイッチングをディスエーブルします。更に、EN/UVLOのピン電圧が閾値を下回った場合にはこのピンに4 μ Aの電流が流れるよう、設計されています。この電流によりヒステリシスが更に追加されます。ヒステリシス(V_{HYST})およびUVLO閾値(V_{UVLO})を定義するには、次式に従って R_{EN1} と R_{EN2} を選択します。

$$R_{EN2} = \frac{V_{HYST}}{4\mu A} - \frac{V_{UVLO}}{480\mu A}$$

$$R_{EN1} = \frac{1.16 \cdot R_{EN2}}{V_{UVLO} - 1.16}$$

例えば、1Vのヒステリシスを持つ10Vの閾値を設定するには、 R_{EN2} に226k、 R_{EN1} に29.4kを使用します。

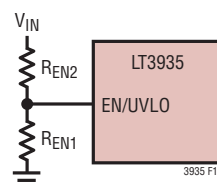


図13. EN/UVLOの抵抗の構成

アプリケーション情報

サーマル・シャットダウンの策定

LT3935は、内部温度が高くなりすぎると自動的にスイッチングを停止します。この温度制限値は、デバイスの動作温度よりも高い値となるよう確実に設計されています。サーマル・シャットダウン中は、すべてのスイッチングが終了し、SSが強制的にローになります。また、LEDはオフになります。

パッケージ底面にある露出パッドは、グラウンド・プレーンにハンダ付けする必要があります。熱を放散するために、パッケージの直下にビアを配置することが必要です。

公式の4層デモ基板であるDC2987Aは、これらのガイドラインに沿っており、熱抵抗 θ_{JA} を $27^{\circ}\text{C}/\text{W}$ に低減します。基板設計が不完全な場合、 θ_{JA} は $40^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 以上になってしまう可能性があります。

プリント回路基板の設計

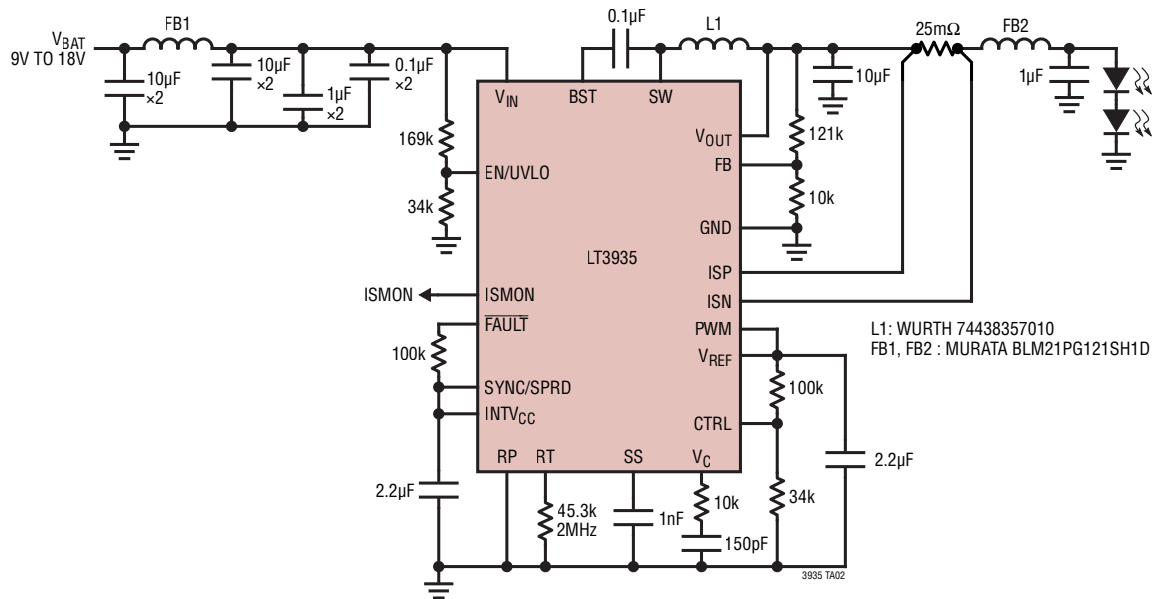
大きなスイッチング電流が局所的な入力コンデンサや V_{IN} ピンおよびGNDピンを流れる点に注意してください。これらの電流が流れるループは、コンデンサをこれらのピンのできるだけ近くに配置することで可能な限り小さくしてください。これらのコンデンサやインダクタは、基板上のLT3935と同じ側に配置し、同じ層で接続する必要があります。その他の大きなバルク入力コンデンサは、チップから離して配置したり、基板の反対側に配置したりしても安全を確保できます。

他のすべてのコンポーネントのグラウンド接続を分離して、ケルビン・グラウンド・ネットワークを形成してください。入力コンデンサおよび出力コンデンサのグラウンドとLED電流のリターン・パスは、露出パッドでのみ接続する必要があります。

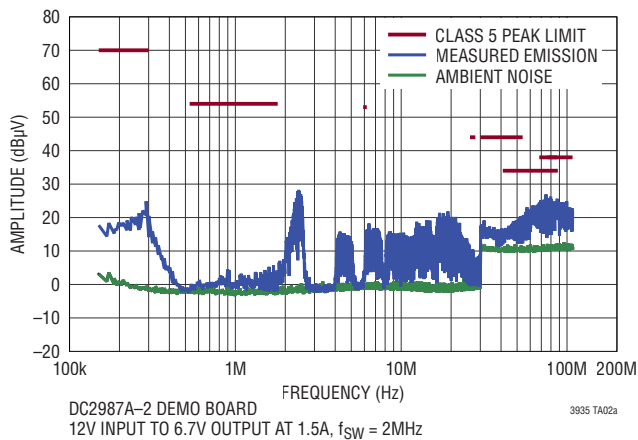
ボード設計には、この他にいくつか、性能を向上させるための観点があります。2層目の切れ目のないグラウンド・プレーンは熱を放散し、ノイズも低減します。同様に、SWノードとBSTノードの領域を最小化するとノイズが減少します。これらのハイ・インピーダンス・ノードのノイズからの影響を受けにくくするために、FBと V_C のパターンは短くする必要があります。外部電流検出抵抗 R_S からISPおよびISNピンへ整合したケルビン接続を行うことは、電流レギュレーションの精度に不可欠です。 $2.2\mu\text{F}$ のINTV_{CC}コンデンサおよび V_{REF} コンデンサと 100nF のBSTコンデンサは、それぞれのピンのできるだけ近くに配置する必要があります。CTRLピンのコンデンサは、アナログ調光用ピンの近くに配置してください。PWMピンは V_{REF} またはINTV_{CC}に接続することができます。これらの推奨事項の実行例については、LT3935のデモ基板のレイアウトを参照してください。

標準的応用例

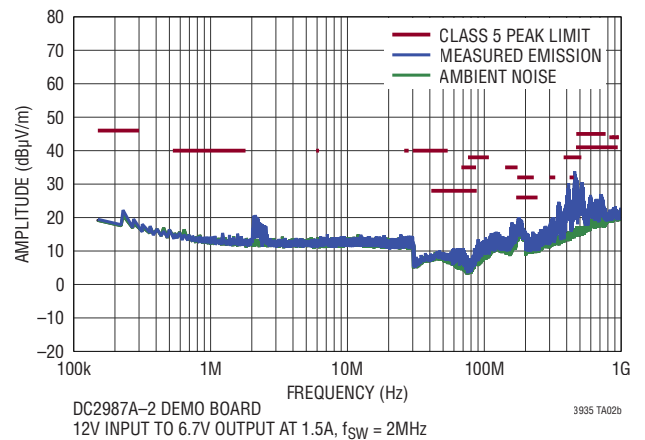
アナログ CTRL 電流を使用する 4A の LED ドライバ



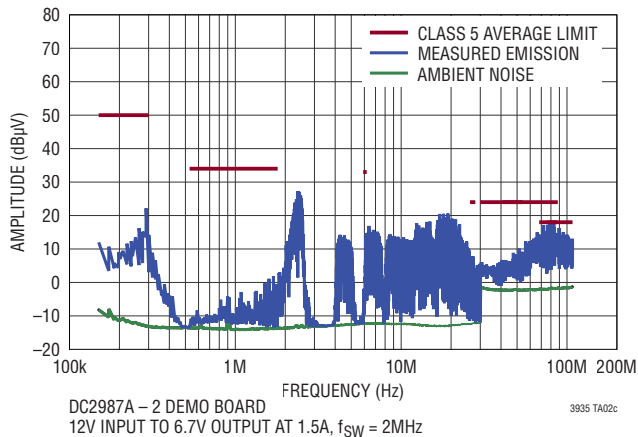
CISPR25 ピーク伝導 EMI 性能



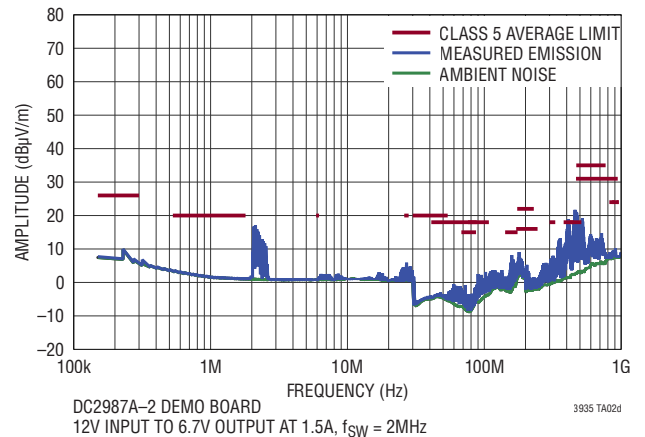
CISPR25 ピーク放射 EMI 性能



CISPR25 平均伝導 EMI 性能

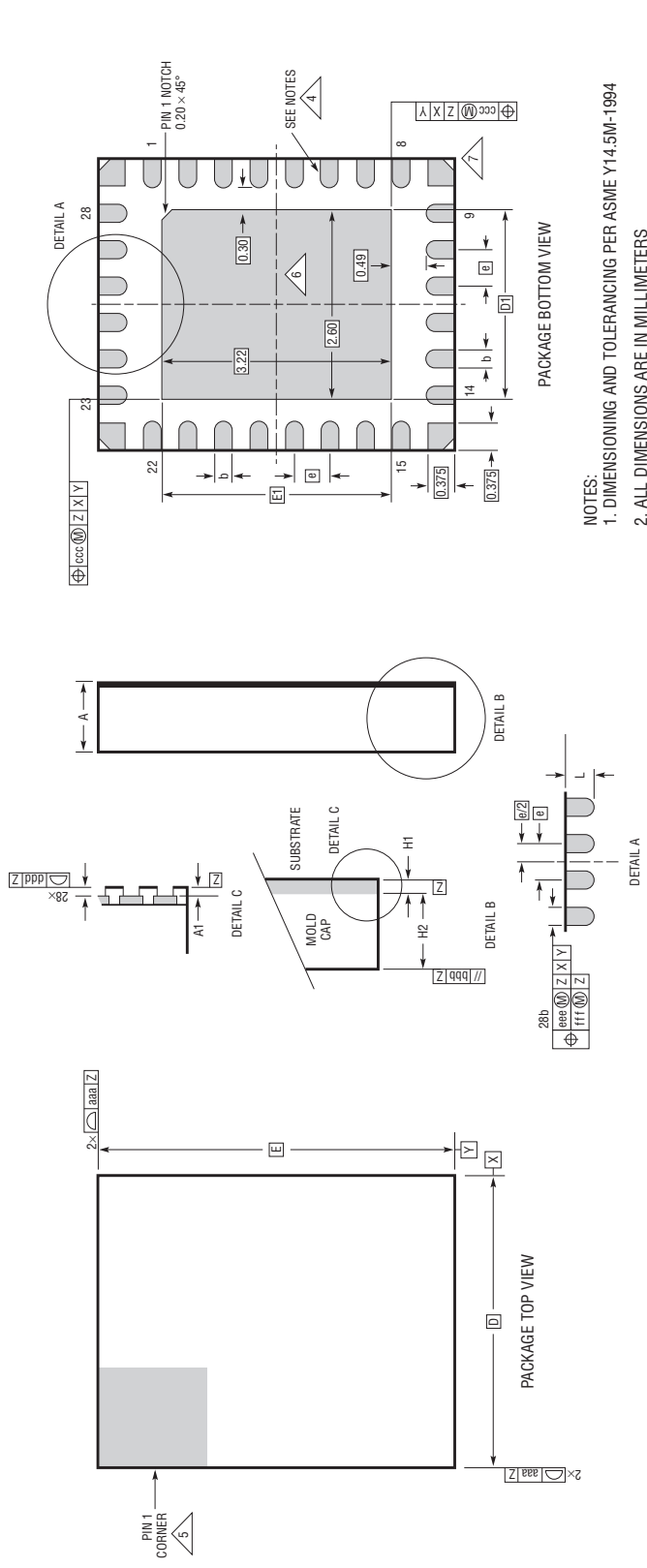


CISPR25 平均放射 EMI 性能

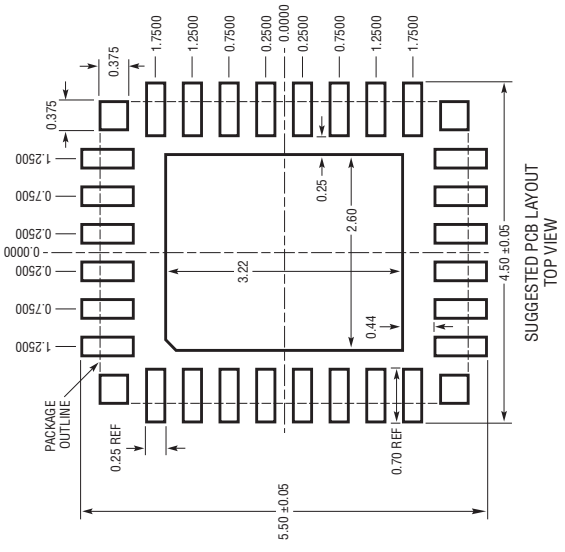


パッケージの説明

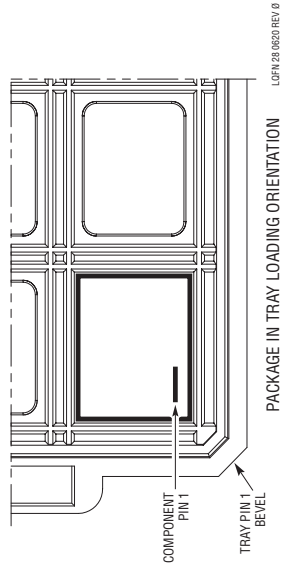
LQFN Package
28-Lead (4mm × 5mm × 0.95mm)
(Reference LTC DWG # 05-08-7050 Rev 0)



DIMENSIONS				NOTES
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	
A	0.85	0.95	1.05	
A1			0.03	
L	0.30	0.40	0.50	
b	0.22	0.25	0.28	
D		4.00		
E		5.00		
D1		2.60		
E1		3.22		
e		0.50		
H1		0.25 REF		SUBSTRATE THK
H2		0.70 REF		MOLD CAP HT
aaa			0.10	
bbb			0.10	
ccc			0.10	
ddd			0.10	
eee			0.15	
fff			0.08	

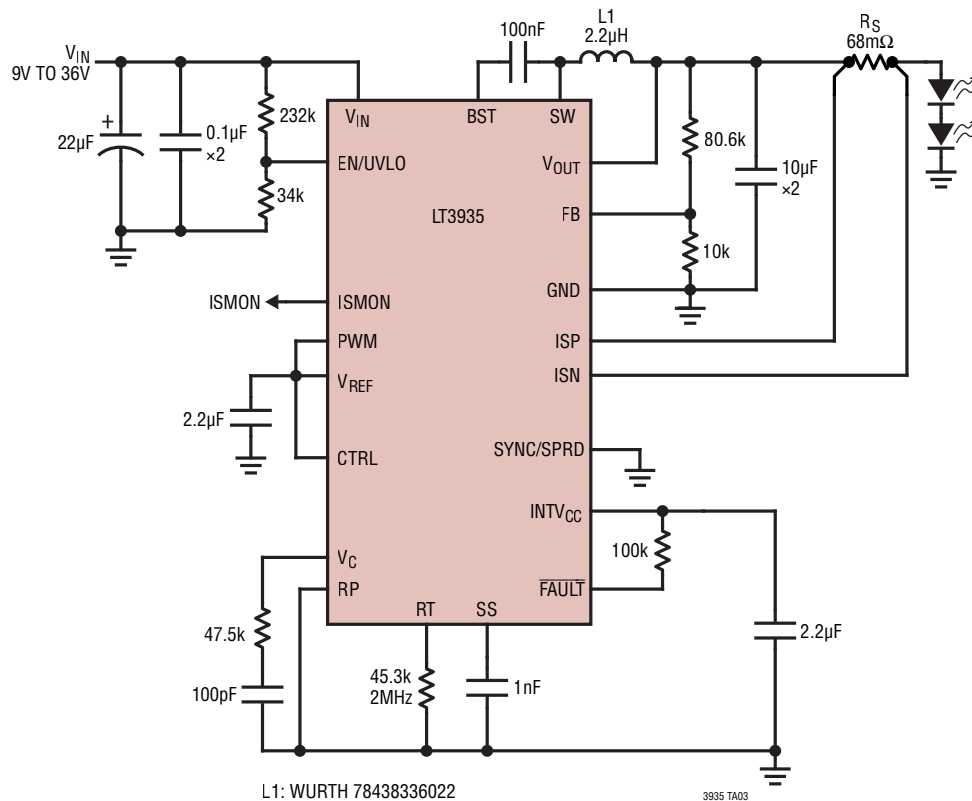


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M-1994
 2. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 3. PRIMARY DATUM - Z - IS SEATING PLANE
 4. METAL FEATURES UNDER THE SOLDER MASK OPENING NOT SHOWN SO AS NOT TO OBSCURE THESE TERMINALS AND HEAT FEATURES
 5. DETAILS OF PIN 1 IDENTIFIER ARE OPTIONAL, BUT MUST BE LOCATED WITHIN THE ZONE INDICATED. THE PIN 1 IDENTIFIER MAY BE EITHER A MOLD OR MARKED FEATURE
 6. THE EXPOSED HEAT FEATURE MAY HAVE OPTIONAL CORNER RADII
 7. CORNER SUPPORT PAD CHAMFER IS OPTIONAL



標準的応用例

フォルト・インジケータ付き 1.5A LEDドライバ



関連製品

製品番号	概要	注釈
LT3932/ LT3932-1	36V、2A、2MHzの降圧LEDドライバ	V_{IN} : 3.6V~36V、 $V_{OUT(MAX)}$ = 36V、5000:1のトゥルー・カラー PWM 調光、4mm × 5mm QFN
LT3934S	36V、4A、2MHzの降圧LEDドライバ	V_{IN} : 3.6V~36V、 $V_{OUT(MAX)}$ = 36V、5000:1のトゥルー・カラー PWM 調光、4mm × 5mm QFN
LT8376	60V、2A、2MHzの降圧LEDドライバ	V_{IN} : 3.6V~60V、 $V_{OUT(MAX)}$ = 60V、5000:1のトゥルー・カラー PWM 調光、4mm × 5mm QFN
LT3922/ LT3922-1	36V、2A 同期整流式昇圧LEDドライバ／ 25,000:1のPWM調光を備えた36V、2.3A同期整流式 昇圧LEDドライバ	V_{IN} : 2.8V~36V、 $V_{OUT(MAX)}$ = 40V、5000:1のトゥルー・カラー PWM TM 調光、4mm × 5mm QFN
LT3965	8スイッチのマトリックスLED調光器	V_{IN} : 8V~60V、デジタル的にプログラマブルな256:1のPWM調光、 I ² Cマルチドロップ・シリアル・インターフェース TSSOP-28E パッケージ
LT3956	80V、3.3A、1MHzの昇降圧LEDドライバ	V_{IN} : 4.5V~80V、 $V_{OUT(MAX)}$ = 80V、3000:1のトゥルー・カラー PWM 調光、5mm × 6mm QFN
LT3477	42V、3A、3.5MHzの昇降圧LEDドライバ	V_{IN} : 2.5V~25V、 $V_{OUT(MAX)}$ = 40V、4mm × 4mm QFNおよびTSSOP-20E
LT3478	42V、4.5A、2.5MHzの昇降圧LEDドライバ	V_{IN} : 2.5V~26V、 $V_{OUT(MAX)}$ = 42V、3000:1のトゥルー・カラー PWM 調光、TSSOP-16E
LTM8040	36V、1A、µModuleの降圧LEDドライバ	V_{IN} : 4V~36V、 $V_{OUT(MAX)}$ = 13V、250:1のトゥルー・カラー PWM 調光、9mm×15mm × 4.32mm LGA
LTM8042	36V、1A、µModuleの昇降圧LEDドライバ	V_{IN} : 3V~30V、 $V_{OUT(MAX)}$ = 36V、3000:1のトゥルー・カラー PWM 調光、9mm×15mm × 2.82mm LGA
LT3757	40V、1MHzの昇圧コントローラ	V_{IN} : 2.9V~40V、正および負の出力電圧、3mm × 3mm DFNおよびMSOP-10E