

ケーブルの電圧降下を補償する USB 5V/2.5A 出力、42V 入力 の同期整流式降圧レギュレータ

特長

- 広い入力電圧範囲: 5V ~ 42V
- すべての条件で低ドロップアウト: 450mV (2.1A 時)
- 高精度 5V 出力: $\pm 1.3\%$ (全動作温度範囲)
- プログラム可能なケーブル電圧降下補償
- プログラム可能な出力電流制限
- 出力電流モニタ
- 二重の入力帰還経路により USB スイッチの出力でレギュレーション可能
- 強制連続モードによる高速負荷ステップ応答
 - 効率 93% (2.1A/5V 出力、12V 入力時)
 - 効率 95% (0.9A/5V 出力、12V 入力時)
- 短い最小スイッチ・オン時間: 45ns
- 可変出力電圧: 5.0V ~ 5.25V
- 調整可能および同期可能な周波数: 300kHz ~ 2.2MHz
- 熱特性が改善された 3mm×5mm の小型 24 ピン QFN パッケージ

アプリケーション

- 自動車用および産業用 USB
- 高精度 5V 電源

概要

LT[®]8697 は、5V の USB アプリケーションに電力を供給する目的で設計された、小型、高効率、高速の同期整流式モノリシック降圧スイッチング・レギュレータです。高精度の出力電圧とプログラム可能なケーブル電圧降下補償機能により、長いケーブルの端に接続された USB ソケットで高精度の 5V レギュレーションが維持されます。強制連続動作では、LT8697 が電流を吸い込むことができるので、負荷トランジェント時の 5V レギュレーション精度がさらに向上します。

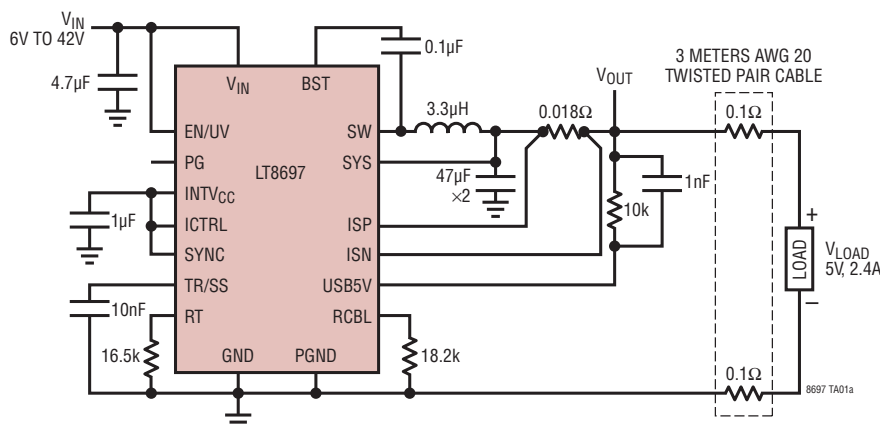
高精度でプログラム可能な出力電流制限、パワーグッド・インジケータ・ピン、および出力電流モニタ・ピンによってシステムの信頼性と安全性が向上するので、ユーザがラッチオフ機能や自動再試行機能を実装して、USB スイッチ IC を不要にすることができます。二重の帰還経路により、USB スイッチの出力でレギュレーションが可能であり、ケーブルの電圧降下補償を最大 5.8V 出力までに制限して、フォルト状態時に USB デバイスを保護します。サーマル・シャットダウン回路は、過熱フォルト時にデバイス内部での電力損失を制限することにより、さらなる保護を実現します。

LT8697 は、熱抵抗を低く抑えるための露出パッドを備えた 3mm×5mm の 24 ピン小型 QFN パッケージで供給されます。

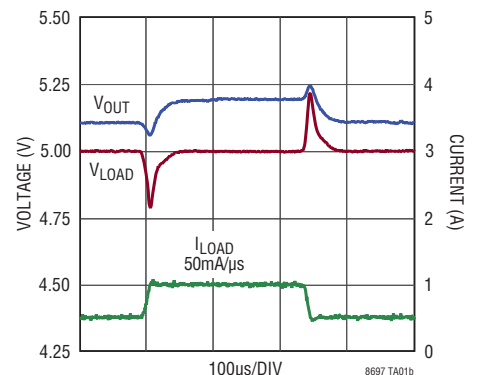
LT、LT、LTC、LTM、Linear Technology、Linear のロゴおよび Burst Mode はリアテクノロジ社の登録商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

標準的応用例

ケーブルの電圧降下を補償する 2MHz、5V 降圧コンバータ



3m の AWG 20 より対線ケーブル接続時のトランジェント応答



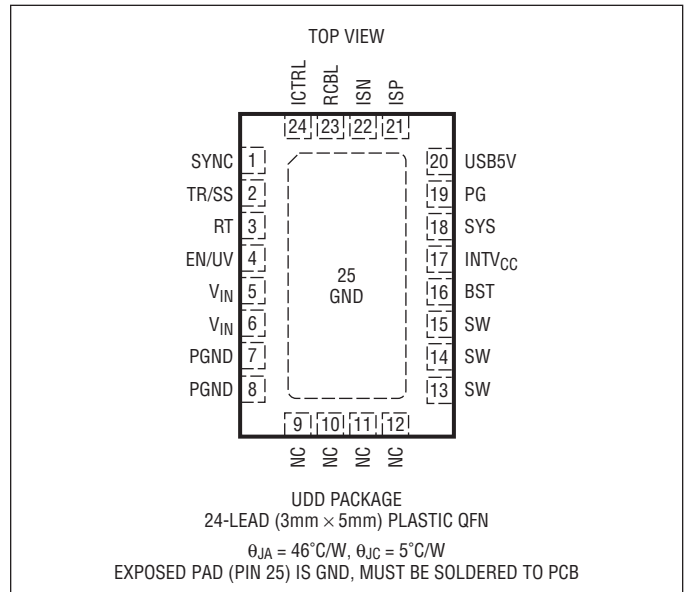
LT8697

絶対最大定格

(Note 1)

V_{IN} 、EN/UV、PG、ISP、ISN ピンの電圧	42V
SYS ピンの電圧	30V
USB5V ピンの電圧	3mA
BST ピンと SW ピンの電圧差	4V
TR/SS、ICTRL ピンの電圧	4V
RT、RCBL ピンの電圧	2V
SYNC ピンの電圧	6V
動作接合部温度範囲 (Note 2, 3)	
LT8697E	-40°C ~ 125°C
LT8697I	-40°C ~ 125°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
LT8697EUDD#PBF	LT8697EUDD#TRPBF	LGGW	24-Lead (3mm × 5mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C
LT8697IUDD#PBF	LT8697IUDD#TRPBF	LGGW	24-Lead (3mm × 5mm) Plastic QFN	-40°C to 125°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、4)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
V_{IN} Undervoltage Lockout		●	2.9	3.4	V	
V_{IN} Shutdown Current	$V_{EN/UV} = 0.3\text{V}$	●	1	3	μA	
V_{IN} Current in Regulation	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 100\mu\text{A}$, $R_T = 56.2\text{k}$	●	9	12	mA	
V_{IN} to Disable Forced Continuous Mode	V_{IN} Rising	●	27	29	31	V
Output Sink Current in Forced Continuous Mode	$V_{USB5V} = 5.5\text{V}$, $L = 6.8\mu\text{H}$, $R_T = 56.2\text{k}$		0.6	1	1.7	A
USB5V Voltage	$V_{IN} = 12\text{V}$	●	4.96	4.99	5.02	V
USB5V Voltage Line Regulation	$V_{IN} = 6\text{V}$ to 42V	●	4.91	4.99	5.04	V
Regulated Load Voltage Through 0.3Ω	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 2.1\text{A}$, Voltage at Point of Load (End of Cable), $R_{CBL} = 13.7\text{k}$, $R_{CDC} = 10\text{k}$, $R_{SENSE} = 20\text{m}\Omega$	●	6	25	mV	
USB5V Clamp Voltage	$I_{USB5V} = 3\text{mA}$		9		V	

8697f

電気的特性 ●は全動作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、4)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
USB5V Current	$V_{ISN} = 5\text{V}, V_{ISP} - V_{ISN} = 40\text{mV}, R_{CBL} = 13.7\text{k}$	●	58	60	62	μA
	$V_{ISN} = 5\text{V}, V_{ISP} - V_{ISN} = 10\text{mV}, R_{CBL} = 13.7\text{k}$	●	12	15	23	μA
	$V_{ISN} = 5\text{V}, V_{ISP} - V_{ISN} = 0\text{V}, R_{CBL} = 13.7\text{k}$	●	0	2	8	μA
	$R_{CBL} = \text{Open}$	●	0	1	2	μA
Current Sense Voltage ($V_{ISP} - V_{ISN}$)	$V_{CTRL} = 1.5\text{V}, V_{ISN} = 5\text{V}$	●	45.5	48	50	mV
	$V_{CTRL} = 1.5\text{V}, V_{ISN} = 0\text{V}$	●	44.5	48.5	53	mV
	$V_{CTRL} = 800\text{mV}, V_{ISN} = 5\text{V}$	●	37.5	39.5	42	mV
	$V_{CTRL} = 800\text{mV}, V_{ISN} = 0\text{V}$	●	36	40	44.5	mV
	$V_{CTRL} = 200\text{mV}, V_{ISN} = 5\text{V}$	●	6	9.5	13	mV
	$V_{CTRL} = 200\text{mV}, V_{ISN} = 0\text{V}$	●	5	10	15	mV
RCBL Monitor Voltage	$V_{ISP} - V_{ISN} = 40\text{mV}, R_{CBL} = 13.7\text{k}$	●	720	800	880	mV
	$V_{ISP} - V_{ISN} = 10\text{mV}, R_{CBL} = 13.7\text{k}$	●	130	205	280	mV
RCBL Output Current Limit	$V_{ISP} - V_{ISN} = 50\text{mV}, V_{RCBL} = 0\text{V}$		-2	-3	-4	mA
ISP, ISN Bias Current	$V_{ISP} = V_{ISN} = 0\text{V}, 5\text{V}$		-20		20	μA
ICTRL Current	$V_{ICTRL} = 1.5\text{V}$		-0.5	-2	-3	μA
INTV _{CC} Voltage	$V_{SYS} = 0\text{V}, 5\text{V}$			3.4		V
INTV _{CC} Undervoltage Lockout			2.6	2.9	3.15	V
SYS Voltage in SYS Regulation	$V_{IN} = 12\text{V}$	●	5.63	5.8	5.92	V
SYS Voltage to Disable Forced Continuous Mode				7.5		V
SYS Current in Regulation	$V_{SYS} = 5\text{V}, R_T = 56.2\text{k}$	●	3	4	5	mA
Dropout Voltage ($V_{IN} - V_{SYS}$)	$V_{SYS} = 5\text{V}, I_{LOAD} = 2.1\text{A}$			450		mV
Maximum Duty Cycle in Dropout			96	97.5	99	%
Minimum On-Time	$I_{LOAD} = 1\text{A}$	●	30	45	70	ns
Minimum Off-Time	$I_{LOAD} = 0.5\text{A}$		50	80	110	ns
Minimum V_{IN} for SYS Regulation at Full Frequency	$R_T = 16.5\text{k}, V_{USB5V} = 0\text{V}, I_{LOAD} = 0.5\text{A}$		6.2	7	7.9	V
Oscillator Frequency	$R_T = 140\text{k}$	●	250	300	340	kHz
	$R_T = 56.2\text{k}$	●	620	700	750	kHz
	$R_T = 16.5\text{k}$	●	1.93	2.00	2.05	MHz
Top Power NMOS On-Resistance	$I_{SW} = 1\text{A}$			120		$\text{m}\Omega$
Top Power NMOS Current Limit		●	3.2	4.8	6	A
Bottom Power NMOS On-Resistance	$V_{INTVCC} = 3.4\text{V}, I_{SW} = 1\text{A}$			65		$\text{m}\Omega$
Bottom Power NMOS Current Limit	$V_{INTVCC} = 3.4\text{V}$		3.5	4.5	5.8	A
SW Leakage Current	$V_{IN} = 42\text{V}, V_{SW} = 0\text{V}, 42\text{V}$			0.1	5	μA
EN/UV Threshold	$V_{EN/UV}$ Rising	●	0.94	1.0	1.06	V
EN/UV Hysteresis				40		mV
EN/UV Bias Current	$V_{EN/UV} = 2\text{V}$		-20		20	nA
PG Upper Threshold Offset from V_{USB5V}	V_{USB5V} Falling	●	6	9	12	%
PG Lower Threshold Offset from V_{USB5V}	V_{USB5V} Rising	●	-6	-9	-12	%
PG Hysteresis				1.3		%
PG Pull-Down Resistance	$V_{PG} = 0.1\text{V}$	●		680	2000	Ω
PG Transition Delay	V_{USB5V} from 5V to 4V			40		μs
SYNC Threshold	V_{SYNC} Falling		0.8	1.1	1.4	V
	V_{SYNC} Rising		1.6	2.0	2.4	V
SYNC Current	$V_{SYNC} = 2\text{V}$		-40		40	nA
TR/SS Current	$V_{TR/SS} = 0\text{V}$		-1.2	-2.2	-3.2	μA
TR/SS Pull-Down Resistance	Fault Condition, $V_{TR/SS} = 0.1\text{V}$			230		Ω

電気的特性

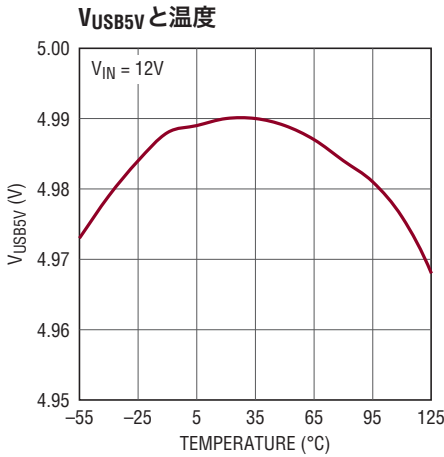
Note 1: 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性があります。長期にわたって絶対最大定格条件に曝すと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与える恐れがあります。

Note 2: LT8697Eは、0°C～125°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°C～125°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・コントロールとの相関で確認されている。LT8697Iは-40°C～125°Cの全動作接合部温度範囲で動作することが保証されている。接合部温度が高いと動作寿命は短くなる。

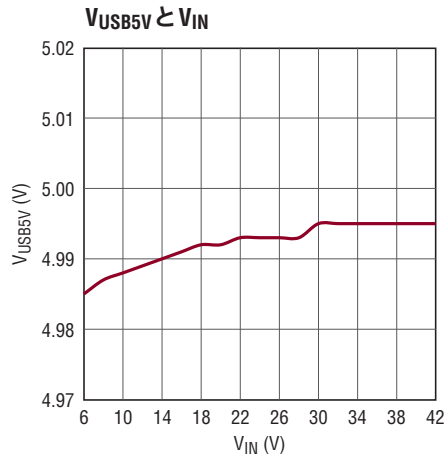
Note 3: このデバイスには過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能が備わっている。過熱保護機能が動作しているとき接合部温度は150°Cを超える。規定されている最大動作接合部温度を超えた状態で動作が継続すると、寿命が短くなる。

Note 4: ピンに流れ込む電流の極性を正、ピンから流れ出す電流の極性を負と規定している。注記がない限り、すべての電圧はGND基準。最大値と最小値は絶対値を意味する。

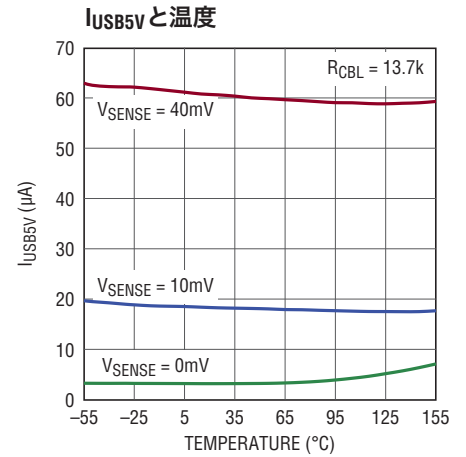
標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。



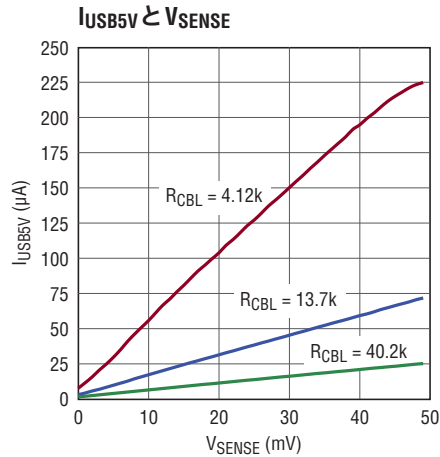
8697 G01



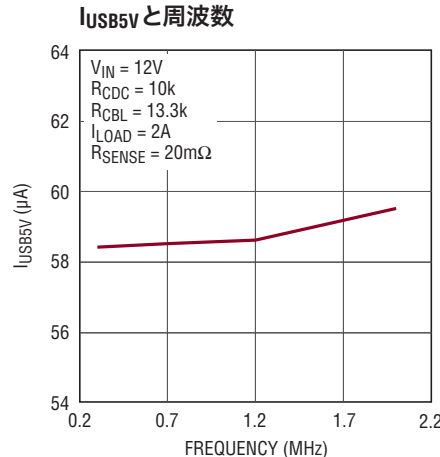
8697 G02



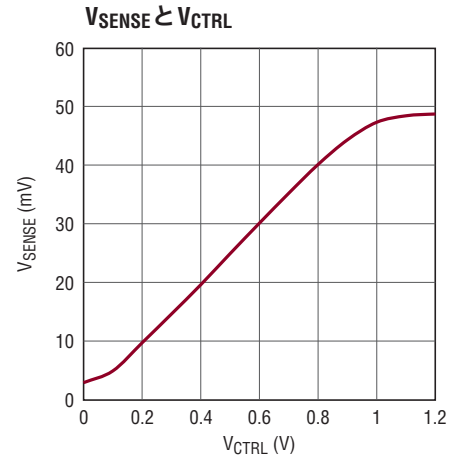
8697 G03



8697 G04



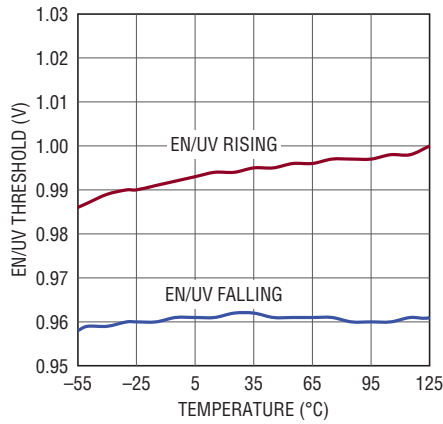
8697 G05



8697 G06

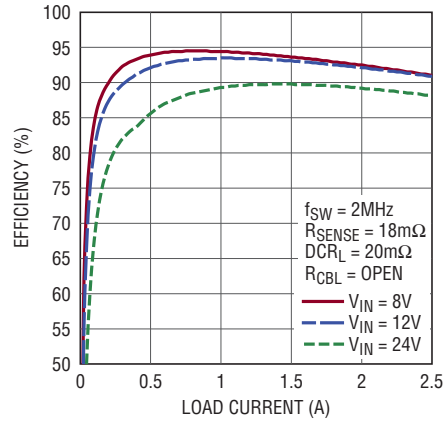
標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

VENと温度



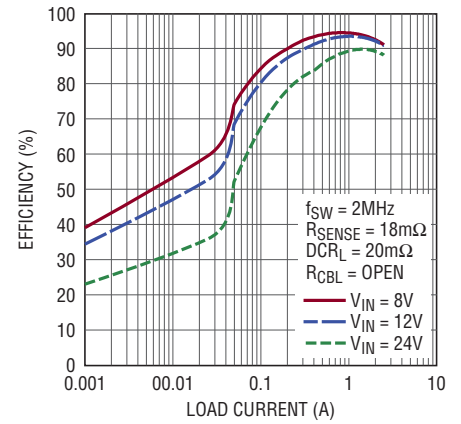
8697 G07

効率とILOAD



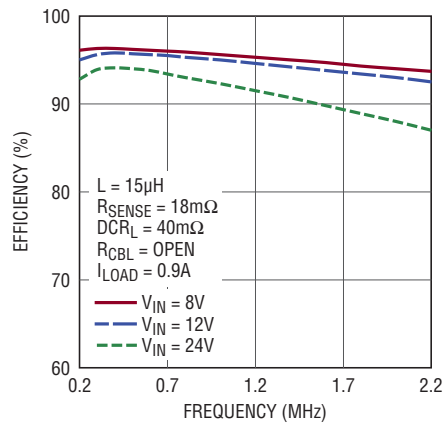
8697 G08

効率とILOAD



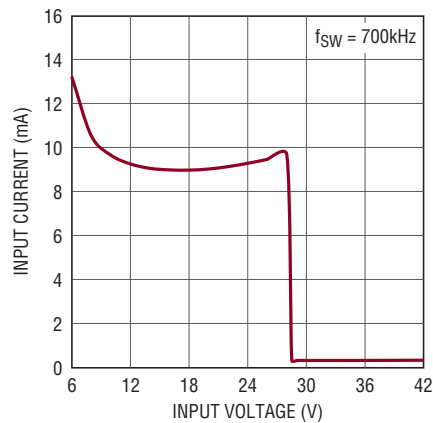
8697 G09

効率と周波数



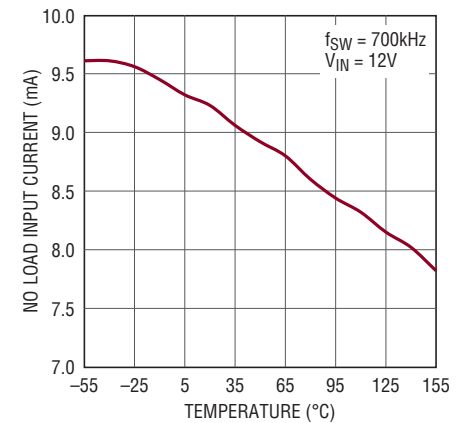
8697 G10

無負荷時電源電流とVIN



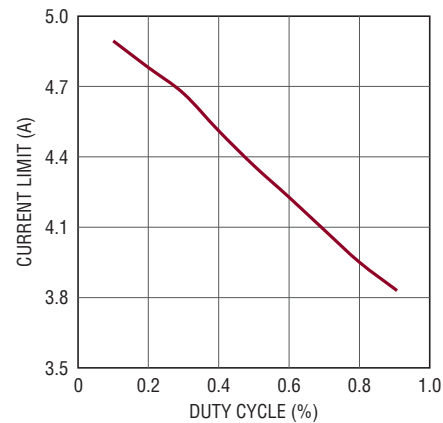
8697 G11

無負荷時電源電流と温度



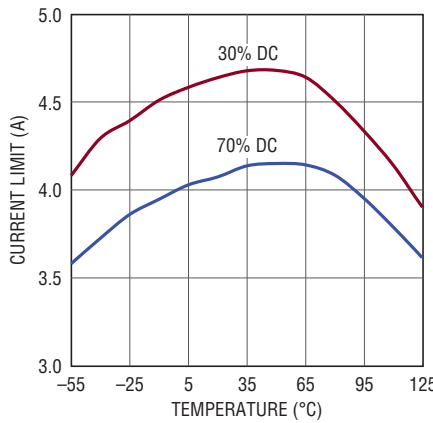
8697 G12

上側FETの電流制限と
デューティ・サイクル



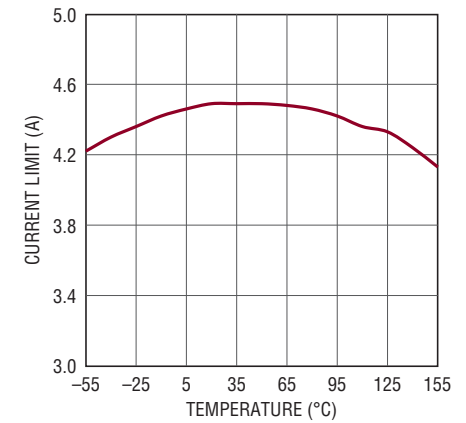
8697 G13

上側FETの電流制限と温度



8697 G14

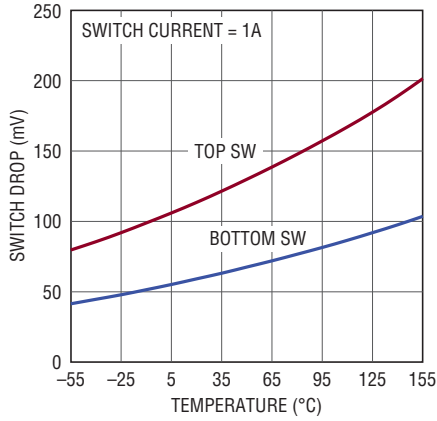
下側FETの電流制限と温度



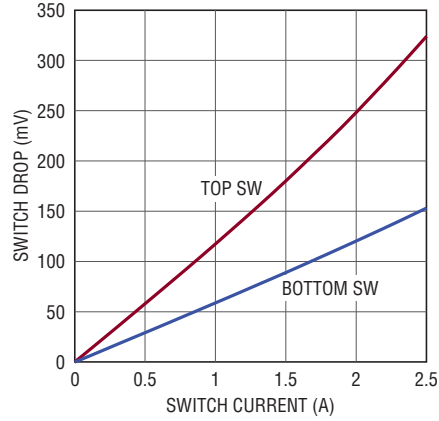
8697 G15

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

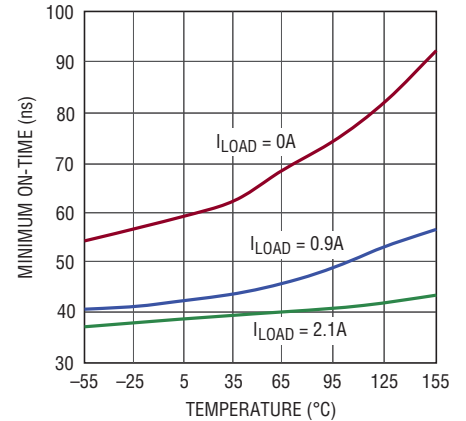
スイッチの電圧降下と温度



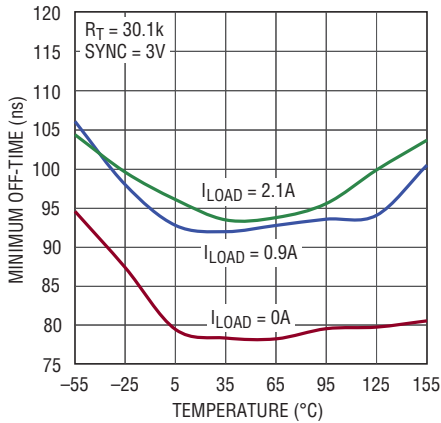
スイッチの電圧降下と I_{SW}



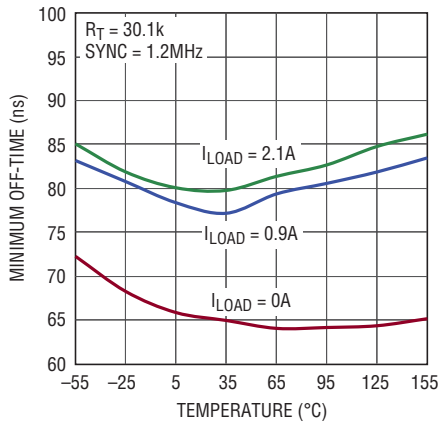
最小オン時間と温度



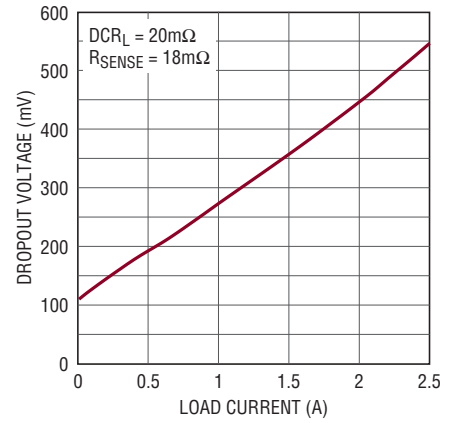
最小オフ時間と温度



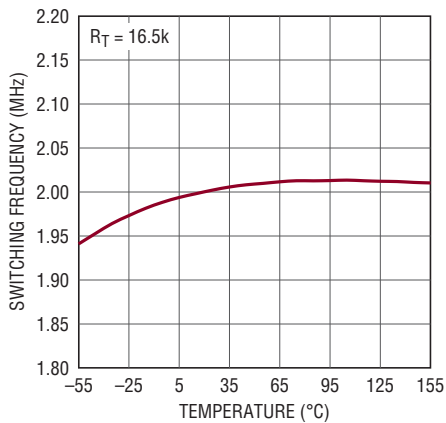
最小オフ時間と温度



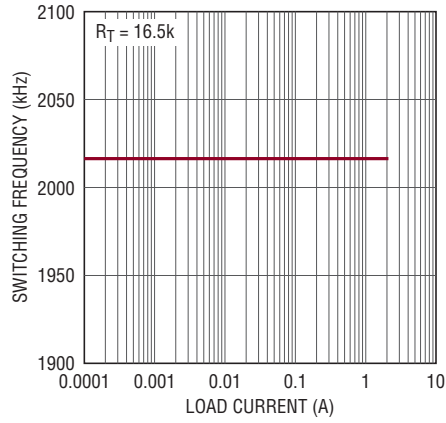
ドロップアウト電圧と I_{LOAD}



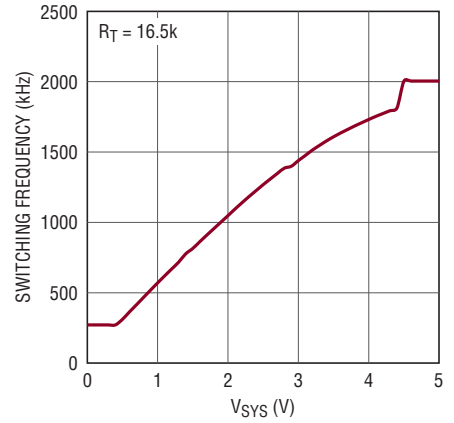
スイッチング周波数と温度



スイッチング周波数と I_{LOAD}

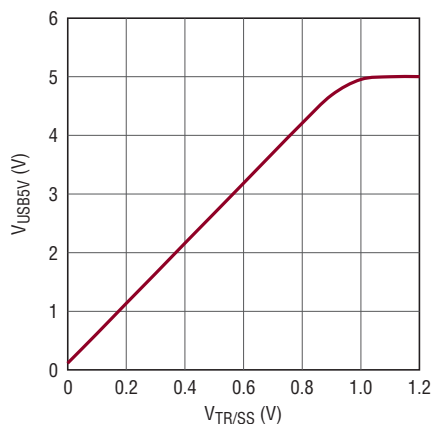


スイッチング周波数と V_{SYS}

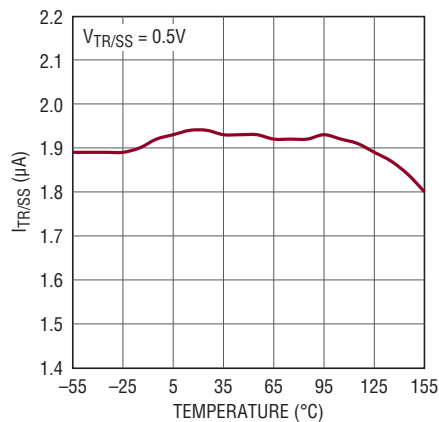


標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

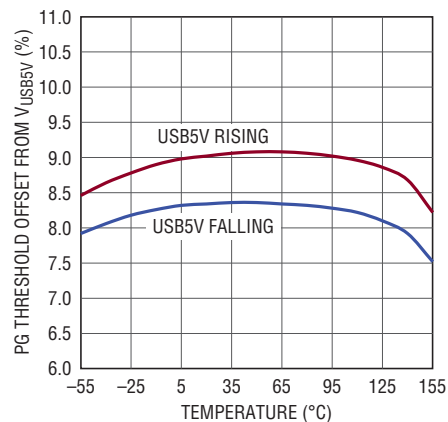
V_{USB5V} と $V_{\text{TR/SS}}$



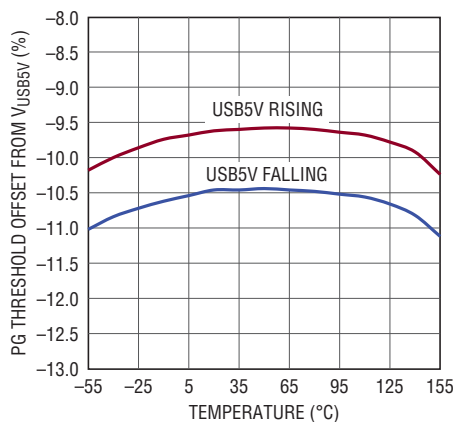
$I_{\text{TR/SS}}$ と温度



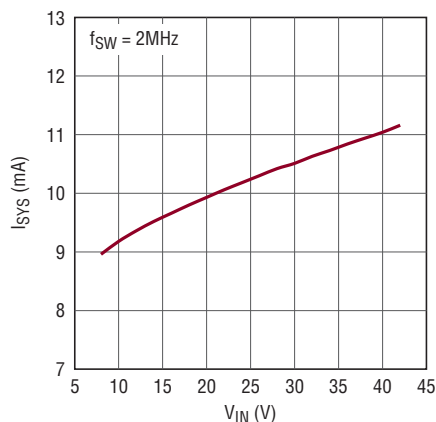
PGピンの“H”しきい値



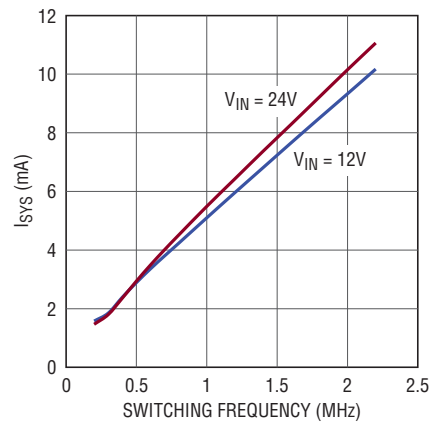
PGピンの“L”しきい値



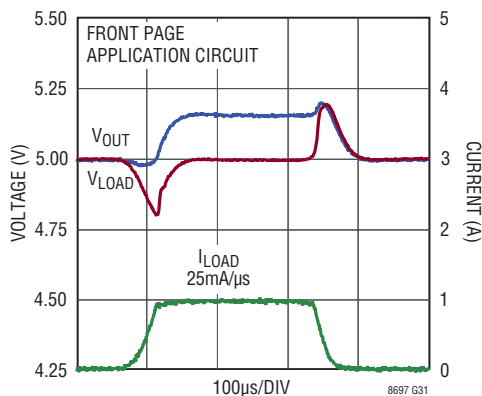
I_{SYS} と V_{IN}



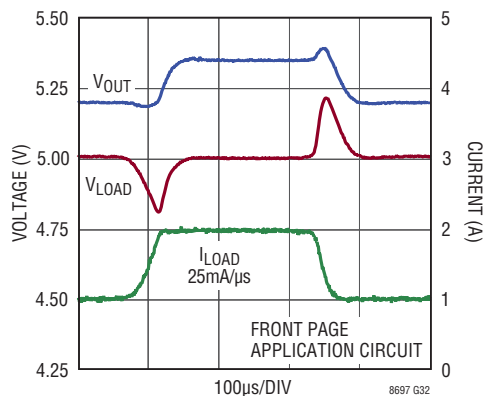
I_{SYS} とスイッチング周波数



トランジェント応答
0Aから1Aまでの負荷ステップ

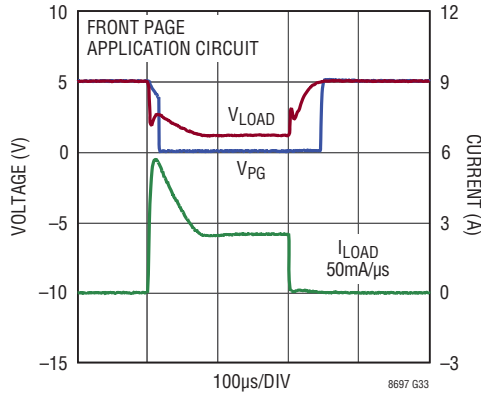


トランジェント応答
1Aから2Aまでの負荷ステップ

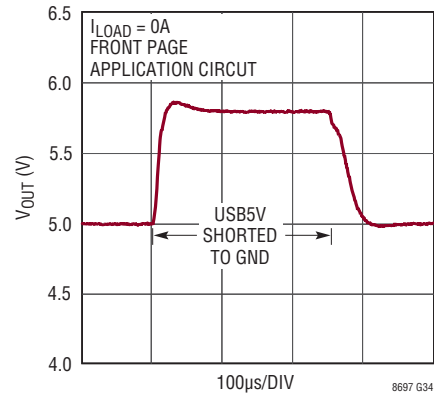


標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

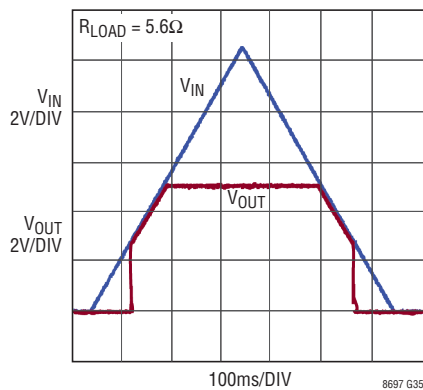
トランジェント応答
(出力電流制限状態)



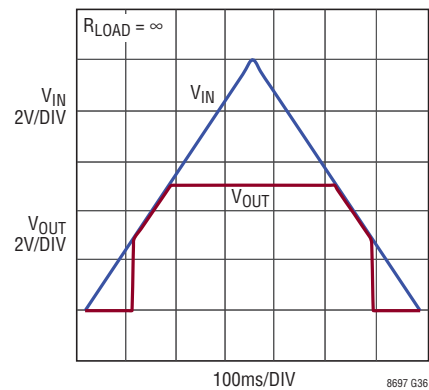
トランジェント応答
(USB5VピンをGNDに短絡)



起動時のドロップアウト性能



起動時のドロップアウト性能



ピン機能

SYNC (ピン1) : 外部クロックの同期入力。外部クロックの周波数に同期させ、強制連続モードにするには、クロック信号源に接続します。使用しない場合は、INTV_{CC}に接続します。フロート状態にしないでください。

TR/SS (ピン2) : 出力トラッキングおよびソフトスタート・ピン。このピンを使用すると、起動時に出力電圧のランプレートを制御できます。TR/SSピンの電圧が0.97Vより低くなると、LT8697はV_{USB5V}をTR/SSピンの電圧の5倍の電圧に安定化します。TR/SSピンの電圧が0.97Vより高くなると、トラッキング機能がディスエーブルされ、内部リファレンスによってエラーアンプの制御が再開されます。このピンにはINTV_{CC}から2.2μAの内部プルアップ電流が流れるので、コンデンサを接続して出力電圧のスルーレートを設定できます。このピンの電圧は、EN/UVピ

ンが“L”のとき、サーマル・シャットダウン時、およびV_{IN}がその低電圧ロックアウトしきい値より低いときにグラウンド電位まで低下します。したがって、低インピーダンス出力で駆動する場合は10k以上の直列抵抗を接続してください。

RT (ピン3) : RTピンとグラウンドの間に抵抗を接続して、スイッチング周波数を設定します。

EN/UV (ピン4) : LT8697は、このピンが“L”のときシャットダウン状態になり、このピンが“H”のときアクティブになります。ヒステリシスのあるしきい値電圧は上昇時が1.00Vで、下降時が0.96Vです。シャットダウン機能を使用しない場合は、V_{IN}に接続してください。V_{IN}ピンから外付け抵抗分割器を接続することにより、特定の値より低くなるとLT8697がシャットダウンするV_{IN}しきい値を設定できます。

ピン機能

V_{IN} (ピン5、6) : V_{IN}ピンからはLT8697の内部回路と内蔵の上側パワー・スイッチに電流が供給されます。これらのピンは互いに接続し、短い距離でバイパスする必要があります。入力コンデンサの正端子はV_{IN}ピンのできるだけ近くに配置し、負端子はPGNDピンのできるだけ近くに配置してください。

PGND (ピン7、ピン8) : パワー・スイッチのグラウンド。これらのピンは内蔵の下側パワー・スイッチの帰路であり、互いに接続する必要があります。入力コンデンサの負端子はPGNDピンのできるだけ近くに配置してください。

NC (ピン9～12) : 接続なし。これらのピンはフロート状態であり、LT8697には接続されていません。これらのピンは露出パッドと同じ銅領域に接続してください。図8を参照してください。

SW (ピン13、14、15) : SWピンは内部パワー・スイッチの出力です。これらのピンは互いに接続し、インダクタおよび昇圧コンデンサに接続します。優れた性能を得るため、プリント回路基板上でのこのノードの面積は小さくなるようにしてください。これらのピンはV_{IN}より高い電圧にしないでください。

BST (ピン16) : このピンは、入力電圧より高い駆動電圧を上側のパワー・スイッチに供給するために使用します。このピンとSWピンの間に0.1μFの昇圧コンデンサを接続し、デバイスにできるだけ近づけて配置してください。

INTV_{CC} (ピン17) : 内蔵の3.4Vレギュレータのバイパス・ピン。内部パワー・ドライバおよび制御回路はこの電圧から電力を供給されます。INTV_{CC}の最大出力電流は20mAです。INTV_{CC}の電流は、V_{SYS} > 3.1Vの場合はSYSピンから供給され、そうでない場合はV_{IN}ピンから供給されます。このピンは、1μF以上の低ESRセラミック・コンデンサで電源グラウンドから分離してください。INTV_{CC}ピンには外部回路による負荷をかけないでください。

SYS (ピン18) : SYSピンを3.3Vより高い電圧に接続すると、内部レギュレータにはSYSピンから電流が流れ、V_{IN}ピンからは流れません。SYSピンはSWピンと反対側のインダクタ端に接続する必要があります。出力コンデンサでバイパスする必要があります。SYSピンはエラーアンプの2次側入力にもなっており、最大で5.8Vに安定化されます。

PG (ピン19) : PGピンは内部ウィンドウ・コンパレータのオープンドレイン出力です。PGピンはUSB5Vピンの電圧が最終レギュレーション電圧の±9%以内に入るまで“L”のままであり、フォルト状態は存在しません。PGピンの遷移遅延時間は約40μsです。PGピンのレベルは、EN/UVピンの状態に関係なく、V_{IN}ピンの電圧が3.4Vより高い場合に有効です。

USB5V (ピン20) : LT8697はUSB5Vピンを5Vに安定化します。ケーブルの電圧降下を補償するため、USB5Vピンの入力電流は検出した出力電流に比例します。USB5VピンのESDセルは9Vにクランプされます。LT8697の出力を30Vに短絡しても耐えられるようにするには、USB5Vピンと出力の間に10kのR_{CDC}抵抗を取り付けて、このピンに流れ込む電流を制限する必要があります。

ISP (ピン21) : 電流検出(+)ピン。これは電流検出アンプの非反転入力です。

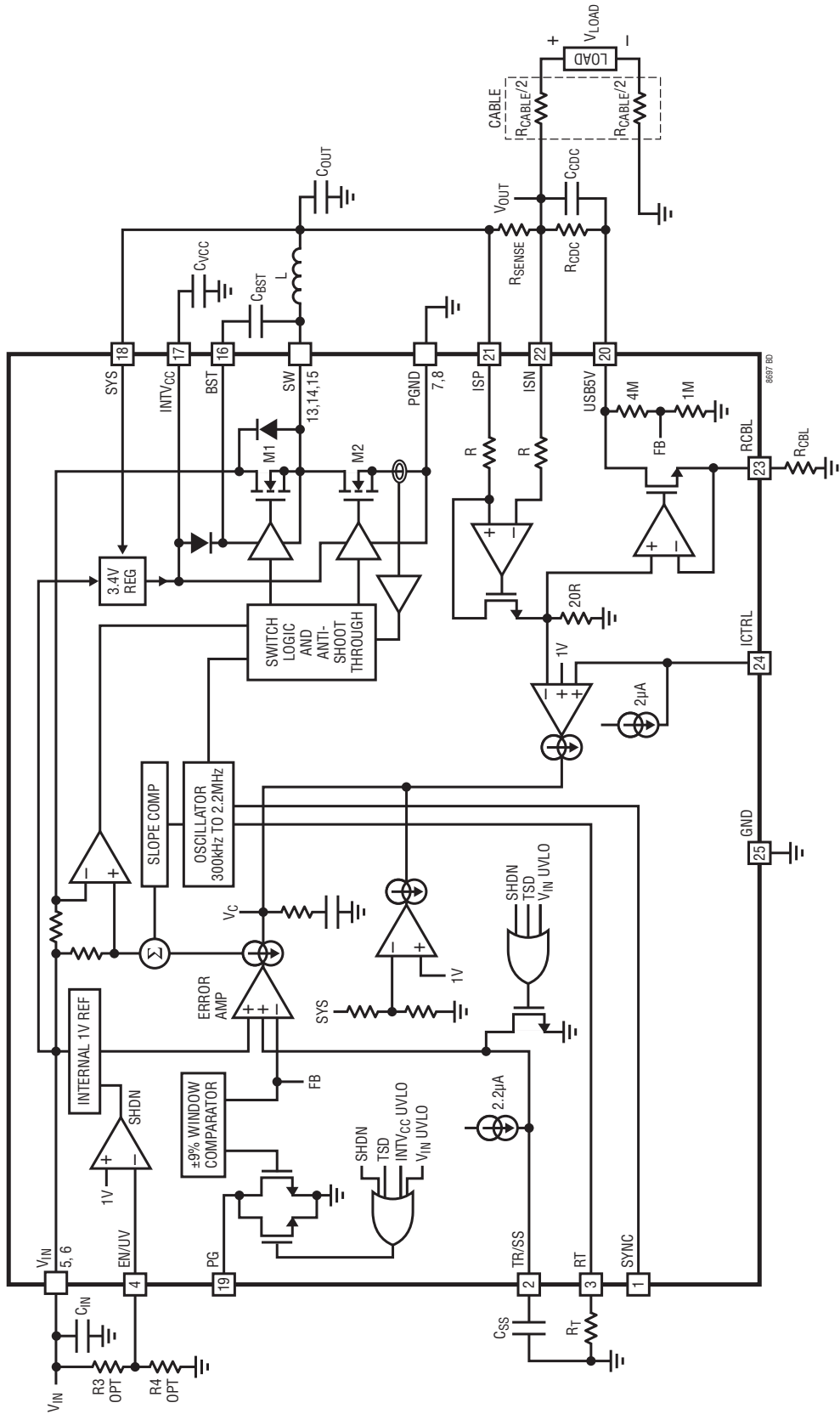
ISN (ピン22) : 電流検出(-)ピン。これは電流検出アンプの反転入力です。

RCBL (ピン23) : ケーブル電圧降下補償のプログラム・ピン。抵抗R_{CBL}をRCBLピンとグラウンドの間に接続してUSB5Vピンの入力電流を設定することにより、ケーブル電圧降下補償量がプログラムされます。RCBLピンからは1mAの電流を流し出すことができます。RCBLピンに過剰な容量性負荷が加わると、負荷トランジェント応答の性能が低下します。100kの抵抗をRCBLピンと容量性負荷の間に接続することにより、このピンの負荷容量を切り離します。RCBLピンの負荷モニタ出力は、LT8697がイネーブルされているときは有効ですが、それ以外の場合、出力は0です。電流モニタ機能とケーブル電圧降下補償機能のどちらも必要でない場合、RCBLピンはフロート状態にしてください。

ICTRL (ピン24) : 電流調整ピン。ICTRLピンは、LT8697が出力電流を制限する前に、V_{ISP} - V_{ISN}間電圧降下の最大値を調整します。INTV_{CC}に直接接続するか、フロート状態にしてフルスケールのV_{ISP} - V_{ISN}間しきい値である48mVにするか、またはグラウンド電位～1Vの範囲の電圧を印加して出力電流制限値を調整します。このピンには内部から2μAのプルアップ電流が流れます。使用しない場合は、フロート状態にするか、INTV_{CC}に接続してください。

GND (露出パッドのピン25) : グラウンド。適切な動作を確保して熱抵抗を小さくするため、露出パッドは入力コンデンサの負端子に接続し、プリント回路基板上に半田付けする必要があります。

ブロック図



動作

LT8697はモノリシック、固定周波数、電流モードの降圧DC/DCコンバータです。RTピンに接続する抵抗を使用して周波数を設定する発振器により、各クロック・サイクルの開始時に内蔵の上側パワー・スイッチがオンします。次に、インダクタを流れる電流が増加して上側スイッチの電流コンパレータが作動し、上側スイッチがオフします。ピーク・インダクタ電流はVCノードの電圧によって制御されます。上側パワー・スイッチがオフすると、同期パワー・スイッチがオンし、次のクロック・サイクルが始まるか、インダクタ電流が0に減少するまでオンのままになります。過負荷状態によって4.2Aを超える電流が下側スイッチに流れると、スイッチ電流が安全なレベルに戻るまで次のクロック・サイクルは遅延します。

出力電圧を制御するため、LT8697のエラーアンプは、USB5Vピンの電圧を約5:1に分割した値と0.97Vの内部リファレンスとを比較してVCノードの電圧をサーボ制御します。負荷電流が増加すると、リファレンスに比べて帰還電圧が減少します。この差動誤差により、エラーアンプがVCノードの電圧を上昇させ、それによって上側スイッチのピーク電流制限値が高くなります。この帰還処理は、平均インダクタ電流が新しい負荷電流と一致して出力電圧がレギュレーション状態になるまで続きます。

ケーブルの電圧降下補償を実現するため、LT8697はRCBLピンの電圧を20 ($V_{ISP} - V_{ISN}$)まで駆動します。RCBLピンから流れ出す電流はUSB5Vピンから得られるので、 R_{CDC} を電流が流れることによって出力オフセットが発生し、5V (USB5Vピンの電圧)に上乘せされます。このオフセットは、負荷電流と抵抗比 R_{CDC}/R_{CBL} に比例します。したがって、出力電圧は負荷電流が増加するにつれて大きくなります。この負の出力インピーダンスにより、遠隔負荷への配線で生じる抵抗性の電圧降下が補償されます。

LT8697のエラーアンプには、VCノードのUSB5Vピンによる制御を無効にすることができる2つの追加帰還経路があります。出力電流制限のため、出力電流検出抵抗両端の電圧 $V_{ISP} - V_{ISN}$ は、48mVと $V_{CTRL}/20$ の小さい方の値を超えることはできません。また、SYSピンにより、出力電圧は5.8Vまでに制限されます。レギュレーションが出力電流制限とSYS

ピンの電圧のいずれかによって決まる場合、USB5Vピンの電圧は5Vに安定化されず、出力電圧はその設定値より低くなります。

EN/UVピンが“L”の場合、LT8697はシャットダウンし、入力から1 μ Aが流れます。EN/UVピンの電圧が1Vを超えると、スイッチング・レギュレータはアクティブになります。

LT8697は強制連続モード(FCM)で動作するので、広い負荷範囲にわたって高速トランジェント応答および全周波数範囲での動作が可能です。SYNCピンにクロックを入力すると、デバイスは外部クロックの周波数に同期し、強制連続モードで動作します。

あらゆる負荷にわたって効率を改善するため、SYSピンのバイアス電圧を3.3V以上にする場合は、内部回路に流れる電源電流がSYSピンから供給されます。そうでない場合、内部回路に流れる電流は V_{IN} から供給されます。

強制連続モードでは、発振器が連続して動作し、スイッチング波形の正の遷移がクロックに揃えられます。負のインダクタ電流が可能です。LT8697は出力から電流を流し込み、この電荷をこのモードで入力に戻すことができるので、負荷ステップ・トランジェント応答が改善されます。 V_{IN} ピンが29Vより高い電圧に保持されるか、SYSピンが7.5Vより高い電圧に保持される場合、強制連続モードはディスエーブルされます。これらの方法で強制連続モードをディスエーブルした場合、負のインダクタ電流を流すことができないので、LT8697は軽負荷状態のときスイッチング・サイクルをスキップします。

出力電圧が設定値から $\pm 9\%$ (標準)より大きく変化する場合や、フォルト状態が存在する場合は、USB5Vピンの電圧をモニターするコンパレータによってPGピンは“L”になります。

SYSピンの電圧が4Vより低いと、発振器はLT8697の動作周波数を低下させます。この周波数フォールドバック機能は、起動時や過電流状態時に出力電圧が設定値より低くなった場合、インダクタ電流を制御するのに役立ちます。

アプリケーション情報

ケーブル電圧降下補償

LT8697は、ケーブル電圧降下補償機能を実現するために必要な回路を内蔵しています。ケーブル電圧降下補償機能により、このレギュレータは高いケーブル抵抗にもかかわらず、USBのV_{LOAD}で5Vのレギュレーションを維持できます。LT8697は、負荷が増加するのに応じて、デバイス近くの出力電圧V_{OUT}を5Vより高い電圧に上昇させ、V_{LOAD}を5Vに安定化し続けます。この補償方法では、レギュレータと負荷の間に追加のケルビン検出線対を延ばす必要はありませんが、LT8697はケーブル抵抗R_{CABLE}の値を検出しないので、システム設計者はケーブル抵抗の値を知っておく必要があります。

以下の比を使用してケーブルの電圧降下補償量をプログラムします。

$$R_{CBL} = 20.55 \cdot \frac{R_{SENSE} \cdot R_{CDC}}{R_{CABLE}}$$

ここで、R_{CDC}はレギュレータ出力とUSB5Vピンの間に接続されている抵抗、R_{CBL}はR_{CBL}ピンとGNDの間に接続されている抵抗、R_{SENSE}はISPピンとISNピンの間に接続され、レギュレータ出力と負荷の間に直列に接続されている検出抵抗、R_{CABLE}はケーブル抵抗です。R_{SENSE}は通常、所望の電流制限値に基づいて選択し、2.1Aシステムの場合の標準値は20mΩであり、0.9Aの場合は50mΩです。詳細については、「電流制限値の設定」のセクションを参照してください。

R_{CDC}を通してUSB5Vピンに流れ込む電流は、抵抗R_{CBL}から流れ出る電流と同じです。これら2つの抵抗の比は前述の式に従って選択する必要がありますが、これらの抵抗の絶対値は、最大負荷電流時にこの電流が30μA～200μAの範囲に収まるように選択してください。この制約により、R_{CBL}とR_{CDC}の値は5k～33kの範囲内になります。I_{USB5V}が小さすぎる場合、USB5VピンとR_{CBL}ピンに容量性負荷を加えると、レギュレータの負荷ステップ・トランジェント性能が低下します。I_{USB5V}が大きすぎると、R_{CBL}ピンは電流制限状態になるので、ケーブルの電圧降下補償機能は機能しなくなります。

R_{SENSE}の下流にある遠隔負荷の両端間(一方はグラウンドに接続)には容量があるので、ケーブルの電圧降下補償が原因でLT8697の帰還ループにゼロが形成されます。C_{CDC}は、高周波でのケーブルの電圧降下補償利得を減らします。LT8697の出力安定性を確保するには、1nFのC_{CDC}コンデンサ

を10kのR_{CDC}の両端に接続することが必要です。R_{CDC}を変更する場合は、C_{CDC}も変更して、ほぼ同じ10μsのRC時定数を維持する必要があります。SYSピンに接続したLT8697出力コンデンサの容量より遠隔負荷の両端の容量の方が大きい場合は、使用するケーブル電圧降下補償の大きさに応じてR_{CDC}・C_{CDC}の時定数を長くして、安定性を確保することが必要ことがあります。出力安定性は最終アプリケーション回路で必ず検証してください。

LT8697は、SYSピンの電圧V_{SYS}を最大5.8Vに制限することにより、V_{OUT}の最大電圧を制限します。I_{LOAD}が最大のときにケーブルの電圧降下を0.8Vより大きく補償するようケーブル電圧降下補償量を設定すると、このV_{SYS}の最大電圧により、V_{OUT}が高い値に上昇して負荷直近の電圧が5Vより低い値に低下するのを防止できます。次の式は、LT8697の出力電圧V_{OUT}を導き出す方法を示しています。

$$V_{OUT} = 5V + \frac{20.55 \cdot I_{LOAD} \cdot R_{SENSE} \cdot R_{CDC}}{R_{CBL}}$$

前述したように、LT8697のケーブル電圧降下補償機能では、V_{OUT}がSYSピン電圧のレギュレーション点である5.8Vを超えることができません。R_{SENSE}やUSBスイッチなどの追加インピーダンスをSYSピンとOUTノードの間に配置した場合は、これらのインピーダンスに最大のI_{LOAD}が流れて生じる電圧降下もこのV_{OUT}の許容最大値に加味する必要があります。V_{OUT}およびV_{LOAD}の負荷曲線については図1を参照し、ケーブル電圧降下補償がどのように機能するかを確認してください。

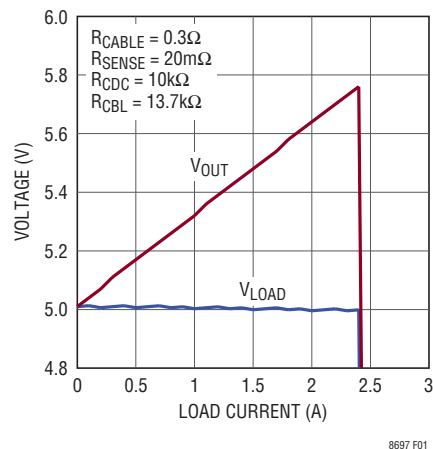


図1. ケーブル電圧降下補償の負荷曲線

アプリケーション情報

広い温度範囲にわたるケーブル電圧降下補償

多くのアプリケーションでは、温度変動のないケーブル電圧降下補償が使用されていると考えられます。しかし、ケーブル電圧降下補償の温度変動をケーブル抵抗の温度変動と一致させると、広い動作温度範囲での全体的な出力電圧精度の向上につながります。たとえば、配線抵抗が 0.26Ω で最大出力電流が $2.1A$ のアプリケーションでは、配線抵抗を完全に補償するため、ケーブル電圧降下補償によって最大負荷時には出力に $25^\circ C$ で $0.55V$ が加わります。この例の線材が銅の場合、銅抵抗の温度係数は約 $4000ppm/^\circ C$ なので、出力電圧誤差は $85^\circ C$ では $-130mV$ 、 $0^\circ C$ では $55mV$ になります。この挙動を図2に示します。

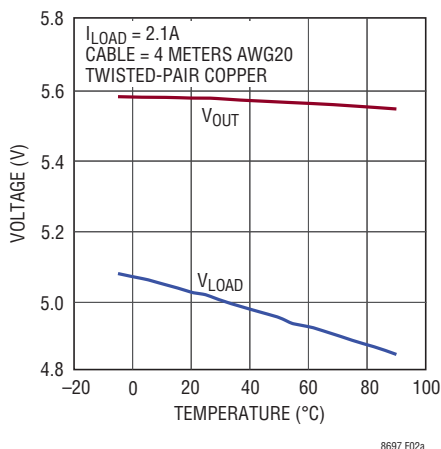


図2a. 4mのAWG 20より対線ケーブル(260mΩ)を介したケーブル電圧降下補償特性(温度補償なし)

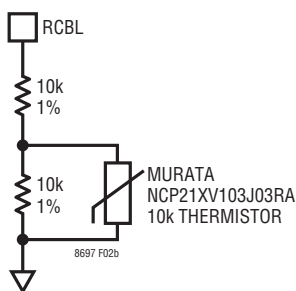


図2b. 銅線の温度係数と一致させるためのRCBL抵抗回路網

銅線抵抗と標準寸法の一覧については、表1を参照してください。

表1. 銅線抵抗と銅線の標準寸法

AWG	20°Cでの銅線の抵抗(mΩ/m)
15	10.4
16	13.2
17	16.6
18	21.0
19	26.4
20	33.3
21	42.0
22	53.0
23	66.8
24	84.2
25	106
26	134
27	169
28	213
29	268
30	339
31	427
32	538
33	679
34	856
35	1080
36	1360
37	1720
38	2160
39	2730
40	3440

ケーブル電圧降下補償は、RCBLピンの抵抗の一部として負の温度係数(NTC)の抵抗を追加することにより、温度に対して正に変化するように設定できます。この回路の考え方は、NTC抵抗がケーブルと同じ温度であることを前提としています。 $-40^\circ C \sim 125^\circ C$ の広い温度範囲で銅線抵抗の変化に一致するRCBLの抵抗回路網の例を図2bに示します。負の温度変化を示す抵抗をRCBLピンに使用して、数種類の温度で得られたケーブル電圧降下補償出力を図2cに示します。

アプリケーション情報

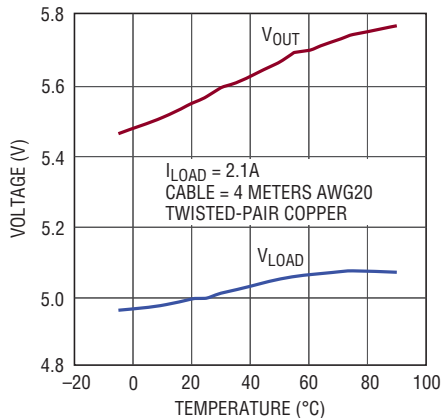


図2c. 4mのAWG 20より対線ケーブル(260mΩ)を介したケーブル電圧降下補償特性(NTC R_{CBL}を使用して温度を補償)

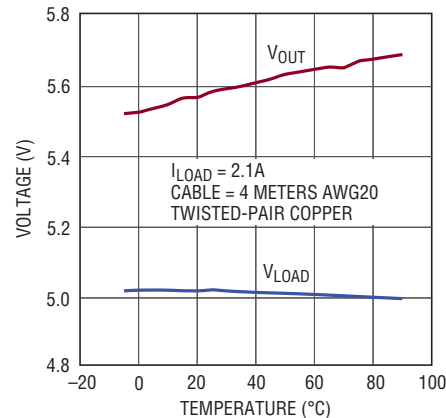


図2d. 4mのAWG 20より対線ケーブル(260mΩ)を介したケーブル電圧降下補償特性(銅線のR_{SENSE}を使用して温度を補償)

NTC抵抗は、温度に対して完全に線形の伝達関数特性を示しません。ここで、部品の値が標準的な場合、比較的悪い場合の誤差はケーブル電圧降下補償出力の10%未満、つまり全出力電圧精度の1%未満です。R_{CBL}の抵抗値を狭い温度範囲で最適化した場合は、温度に対する出力電圧精度を向上することができます。R_{CBL}の抵抗回路網の設計については、弊社へお問い合わせください。

検出抵抗とR_{SENSE}の周囲温度がだいたい同じ場合は、ケーブル抵抗の温度係数に一致する温度係数を持つR_{SENSE}抵抗を選択すれば、この出力電圧誤差を全温度範囲で低減できます。インダクタ抵抗が明確に規定されている場合は、値の小さな銅線インダクタをこのように使用することができます。銅線のR_{SENSE}を使用して、数種類の温度で得られたケーブル電圧降下補償出力を図2dに示します。

全温度範囲で変化するR_{SENSE}を使用することにより、LT8697の出力電流制限値が全温度範囲にわたって変化します。定格出力電流を全動作温度範囲で実現するには、室温での出力電流制限値を高めにする必要がある場合があります。R_{SENSE}に使用できる数種類の銅線インダクタのメーカ規定のDCRを表2に示します。

表2. 検出抵抗として使用する銅線インダクタ

メーカ	製品番号	直流抵抗(mΩ)
Coilcraft	NA5931-AL	15.7 ±5%
Coilcraft	NA5932-AL	21.8 ±5%
Coilcraft	NA5933-AL	32.4 ±5%
Coilcraft	NA5934-AL	34.3 ±5%
Coilcraft	NA5935-AL	44.1 ±5%
Coilcraft	NA5936-AL	47.2 ±5%

負荷ステップ・トランジェント応答でのケーブル・インダクタンスの影響

ケーブル配線が長いと、そのインダクタンスにより、高速負荷ステップに対する2線検出レギュレータのピーク・トゥ・ピーク・トランジェント応答性能が制限されます。LT8697のような2線検出レギュレータは、負荷直近ではなく自デバイスの出力で出力電圧を検出するので、ケーブルの抵抗を補償した場合でもケーブルのインダクタンスによる負荷ステップ応答の性能低下が生じます。レギュレータ近くの出力コンデンサと遠くの負荷の入力コンデンサは、その間の誘導性ケーブル配線によってLCタンク回路を形成します。高速負荷ステップが長いケーブル配線を通ると、大きなピーク・トゥ・ピーク・トランジェント応答を示し、LCタンク回路の共振周波数でリングングを示します。このリングングはLCタンク回路の特性であり、レギュレータの不安定性を示すものではありません。

アプリケーション情報

50mA/μs、0.5Aの負荷ステップに対するLT8697の負荷ステップ・トランジェント応答を図3に示します。抵抗性インピーダンスのみと抵抗性プラス誘導性インピーダンスの2種類のケーブル・インピーダンスを比較しています。まず、0.2Ωの表面実装抵抗をLT8697の出力と負荷ステップ発生器の間に接続します。この抵抗は純粋な抵抗性「ケーブル」の代わりとなります。次に、長さが3m、全抵抗値が0.2Ω、インダクタンスが約2.3μHの実際のAWG 20より対線ケーブルをLT8697の出力と負荷ステップ発生器の間に接続します。これら2つの回路の抵抗が同じ場合でも、インダクタンスが原因で、ケーブルでのトランジェント負荷ステップ応答の方が劣ります。

ケーブルのインダクタンスによってLT8697の負荷トランジェント応答性能が低下する度合いは、ケーブルのインダクタンスと負荷ステップの速度により異なります。長いケーブルは短いケーブルよりインダクタンスが大きくなります。電源導線と戻り導線の間隔が狭いケーブルは、間隔が広い導線と比較して、単位長さ当たりのインダクタンスが小さくなっています。負荷ステップの速度が速いと、負荷ステップ応答に対するインダクタンスの影響が大きくなります。

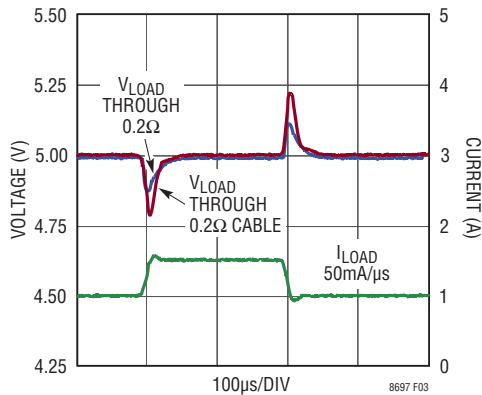


図3. 負荷ステップ・トランジェント応答でのケーブル・インダクタンスの影響

リモート出力の正しいプロービング

LT8697のリモート出力にプローブを当てて正しい結果を得る場合は注意が必要です。ケーブル電圧降下補償の本質は、ケーブル抵抗と高い負荷電流が原因で、デバイス近くのレギュレータ出力の電圧が、ケーブル端でのリモート出力電圧とは異なることです。やはり抵抗があり、出力と同じ電流が流れるグラウンド戻り線の場合にも同じことが言えます。LT8697近くの

グラウンドは、負荷直近のリモート・グラウンドとは通電ケーブルによって分離されているので、これら2つの場所のグラウンド基準点は異なります。

ケーブルの端の位置でリモート出力の両端に差動プローブを当てて、その点で出力電圧を測定します。LT8697近くのグラウンドと負荷直近のリモート・グラウンドの両方に、オシロスコープのプローブのグラウンド・リード線を同時につながないようにしてください。同時につなぐと、プローブのグラウンド線に大電流が流れ、測定結果が異常で不正確になります。この挙動を図4に示します。3mのAWG 20より対線ケーブルを通じて1A/μs、0.5Aの負荷ステップをLT8697の出力に加えています。一方の曲線では、差動プローブを負荷直近の両端につなぐことにより、出力電圧の結果が正しく測定されています。もう一方の曲線では、オシロスコープのグラウンド・リード線がリモート・グラウンドにつながれています。この不適切なプロービングは、グラウンドの戻り抵抗が小さいことに起因するDC誤差と、オーバーシュートおよびリングングの増大を示すAC誤差の両方の原因になります。オシロスコープ、実験台、および入力電源のグラウンド線は、LT8697リモート出力の測定には付け加えないでください。

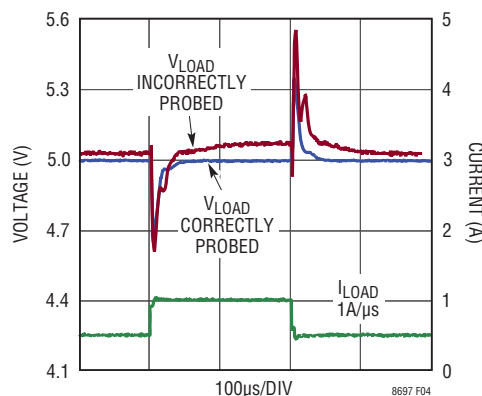


図4. リモート出力の不正確なプロービングの影響

出力オーバーシュートの低減

ケーブル電圧降下補償を使用すると、LT8697のSYSピンでのローカル出力電圧は、負荷直近でのリモート出力電圧より高い電圧に安定化されるという結果になります。これら2つの出力は数百mΩのケーブル抵抗で分離できるので、負荷電流が2Aの場合は、SYSピンの電圧が負荷の直近で公称5Vの

アプリケーション情報

出力より大幅に高くなる可能性があります。LT8697の出力に接続されているすべての部品がこの高くなった電圧に耐えられることを確認してください。

LT8697は、ケーブル電圧降下補償に起因する、より高い出力電圧の影響を軽減する目的で設計されたいくつかの機能を備えています。まず、LT8697のエラーアンプは、USB5Vピンの電圧を一次出力の5Vに安定化する以外に、SYSピンの電圧を5.8Vより低い電圧にも安定化します。 $V_{SYS} < 5.8V$ の場合はUSB5V帰還入力がLT8697の制御ループを動作させ、 $V_{SYS} > 5.8V$ の場合はSYS帰還入力にLT8697の制御ループを動作させます。この5.8VというSYSピンの最大電圧の上限により、USBデバイスやUSBスイッチなど、LT8697の出力に接続された部品は過電圧状態から保護されますが、可能なケーブル電圧降下補償量は0.8Vに制限されます。

さらに、LT8697は、強制連続モード(FCM)時に出力から電流を吸い込んで電荷を入力に戻すことができます。この機能により、重負荷から軽負荷への負荷ステップに対するステップ応答が改善されます。ケーブル電圧降下補償では、負荷電流が大きいときに配線抵抗の両端に生じる電圧降下を補償するために出力に電圧が追加されます。ほとんどのDC/DCコンバータが可能なのは電流を流し出すことだけなので、電流が高い値から0近辺まで減少する負荷ステップでは、出力電圧は高くレギュレーションが失われた状態のままとなります。

LT8697は、USB5Vピンの電圧が高すぎる場合、FCMを使用してレギュレータが出力から電流を吸い込むことができるようにすることで、この問題を解決します。最初のページのアプリケーション回路で、FCMを使用した場合と使用しない場合の出力電圧を図5に示します。

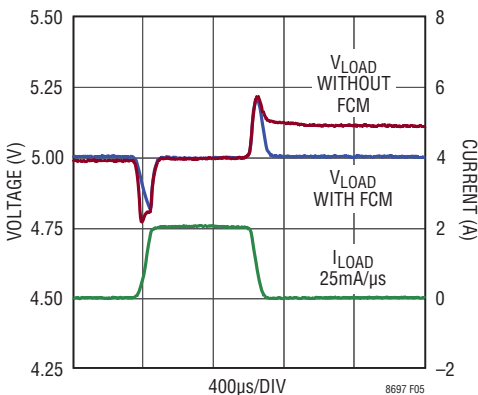


図5. 強制連続モードを使用した場合と使用しない場合の負荷ステップ応答

FCMを使用しない場合、電流が高い値から0に低下したときの負荷ステップ応答は極端に低速であり、SYSピンのバイアス電流によって制限されています。しかし、FCMをイネーブルすると、出力は迅速にレギュレーション状態に戻ります。 V_{IN} が29Vより高いか、 V_{SYS} が7.5Vより高い場合、FCMはデイスエーブルされます。

USBスイッチとのインタフェース

LT8697の出力と負荷直近との間にUSBや類似の電子スイッチを接続できます。スイッチのオン抵抗はケーブル電圧降下補償の計算に含めることができます。あるいは、負荷レギュレーションを改善するため、USB5V帰還入力をR_{DC}を介してUSBスイッチの出力に接続します。これにより、USBスイッチのインピーダンスをDC負荷応答から取り除くことができます。出力をUSBスイッチの入力に接続します。SYSピンは最大値の5.8Vに安定化されるので、USBスイッチはそれに沿って選択する必要があります。

LT8697は出力電流制限回路を内蔵しています。多くのUSBスイッチも、同様に電流制限機能を実装しています。十分に制御された予測可能な動作にするため、すべての動作条件で1つのデバイスのみが出力電流制限値を設定し、他のデバイスの電流制限値は目的の電流制限値を超えるようにしてください。

LT8697はUSBスイッチの機能を多数備えています。その内容は、プログラム可能な出力電流制限機能、フィルタ処理付きフォルト通知機能、およびオン/オフ機能です。さらに、多くのUSBスイッチとは異なり、LT8697の出力は30Vまで短絡に耐えることができるので、システムの堅牢性を高めます。したがって、多くの場合、USBスイッチは不要であり、LT8697は電圧レギュレータとUSBスイッチの両方の機能を提供できます。

2次出力としてのSYSの使用

一部のアプリケーションでは、USB5Vピンで安定化される1次電圧出力のほかに、SYSピンを2次電圧出力として使用することができます。1次出力でケーブル電圧降下補償を使用する場合、SYSピンの電圧は負荷電流に応じて5V~5.8Vの範囲で変化します。3.3Vの低ドロップアウト・レギュレータをSYSピンに接続して、USBマイクロコントローラへの給電用などの2次安定化出力を供給できます。SYSピンの出力にはケーブル電圧降下補償機能はありませんが、USB出力の負荷電流に応じて5Vより高い電圧に上昇します。SYSピンの負荷は負荷電流を制限するように設計する必要があります。また、USB5V出力での出力過電流状態によってSYS出力が低下しないよ

アプリケーション情報

うに、電子スイッチが必要になる場合があります。LT8697の所定のアプリケーションで出力から流すことのできる全負荷電流を求めるには、後述する「インダクタの選択と最大出力電流」の説明を参照してください。

電流制限値の設定

LT8697は、出力電圧の安定化機能のほかに、出力の平均電流制限値を設定するための電流レギュレーション・ループを備えています。LT8697は、ISPピンおよびISNピンを使用して、外付けの電流検出抵抗 R_{SENSE} 両端の電圧降下を測定します。この抵抗は、出力コンデンサの後段に負荷電流と直列に接続してください。電流レギュレーション・ループは、ISP-ISNピン間の平均電圧がデバイスのレギュレーション点を超えないように、上側スイッチの電流制限値をサイクルごとに調整します。

LT8697の電流制限値は、ICTRLピンの電圧を強制的に0V～1Vの範囲内にすれば設定できます。電流制限値は次式を使用して設定します。

$$I_{LIM} = \frac{V_{CTRL}}{R_{SENSE} \cdot 20.3}$$

この I_{LIM} の式が有効なのは、 $V_{ISP} - V_{ISN} < 48mV$ の場合です。 V_{SENSE} が48mVになると、内部の電流制限ループがICTRLピンから出力電流レギュレーションの制御を引き継ぎます。したがって、設定可能な最大出力電流($I_{LIM(MAX)}$)は、次式によって得られます。

$$I_{LIM(MAX)} = \frac{48mV}{R_{SENSE}}$$

ICTRLピン内部の2 μA プルアップ電流源により、このピンを使用しない場合はフロート状態にすることができます。その場合には、 $I_{LIM(MAX)}$ が出力電流制限値になります。

強制連続モード時は、LT8697が出力電流を安定化する能力がその $t_{ON(MIN)}$ によって制限されます。このシナリオでは、出力電圧が非常に低いと出力電流が出力電流制限の設定値を超えることが可能であり、出力電流は下側スイッチの電流制限値である4.5Aとリップル電流の1/2の和によって制限されます。この影響を緩和するため、出力電圧が低いとき、LT8697はスイッチング周波数を10:1で折り返し、非常に低いデューティ・サイクルでのレギュレーションを可能にします。また、 V_{IN} が29V以上になるとLT8697は強制連続モードをディスエー

ブルするので、 V_{OUT} と V_{IN} の比が低い場合にもパルスをスキップしてレギュレーションを維持できます。 V_{IN} が29V未満の場合は、LT8697が出力電流制限値を制御できる最小出力電圧($V_{OUT(MIN)}$)を次式を使用して求めます。

$$V_{OUT(MIN)} = 0.1 \cdot f_{SW} \cdot t_{ON(MIN)} \cdot (V_{IN} - V_{SW(TOP)} + V_{SW(BOT)}) - V_{SW(BOT)} - V_{SENSE} - V_L$$

ここで、 f_{SW} はスイッチング周波数、 $t_{ON(MIN)}$ は最小オン時間、 $V_{SW(TOP)}$ および $V_{SW(BOT)}$ は内部スイッチの電圧降下(最大負荷時にそれぞれ約0.3Vおよび約0.15V)、 V_{SENSE} は出力電流設定値での R_{SENSE} 両端の電圧、および V_L は出力電流設定値でのインダクタのESR両端の抵抗性の電圧降下です。 $V_{OUT(MIN)}$ の計算値が負である場合や、設定された電流制限値が流れたときの出力の抵抗性短絡箇所でのIR電圧降下より計算値が小さい場合、LT8697は出力電流制限値を制御できます。

実際のアプリケーションでは、ケーブル、インダクタ、および検出抵抗の抵抗値を妥当な値より大きくして、あらゆるスイッチング周波数および入力電圧に対してLT8697が出力電流制限値を制御できるようにします。400kHzのアプリケーションでワーストケースの状態では、最大42Vまでのすべての入力電圧に対して $V_{OUT} = 0V$ の状態で流れる設定出力電流を制御することができます。2MHzのアプリケーションでワーストケースの状態では、 $V_{OUT} = 0.3V$ 以上の状態で流れる設定出力電流を制御することができます。最初のページのアプリケーション回路を、ケーブルを使用せずにレギュレータ出力に直接短絡した場合、この回路がどのように応答するかについては、図6を参照してください。

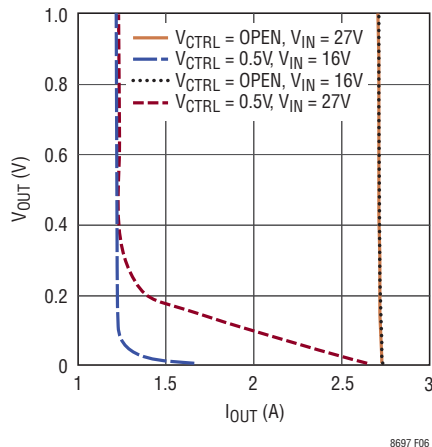


図6. 出力電流のレギュレーションと V_{OUT} ($f_{SW} = 2MHz$, $R_{SENSE} = 18m\Omega$)

アプリケーション情報

出力電流モニタとしてのRCBLの使用

RCBLピンの主要な機能は、「ケーブル電圧降下補償」のセクションで前述したように、ケーブル電圧降下補償機能を設定することです。ただし、RCBLピンは、出力負荷電流に比例した出力電圧を出力します。このため、RCBLピンは出力負荷モニタとして使用できます。RCBLピンの電圧は、USBの負荷電流に対して次の関係に従います。

$$V_{\text{CBL}} = I_{\text{LOAD}} \cdot R_{\text{SENSE}} \cdot 20.55$$

V_{CBL} は、LT8697がスイッチングしているときに有効です。

RCBLピンの電流はケーブル電圧降下補償制御ループの一部なので、RCBLピンに過剰な容量性負荷が加わると、負荷ステップが生じたときにUSB出力電圧にオーバーシュートが発生する原因になります。RCBLピンの容量性負荷は100pFより小さい値に抑えるか、図7に示すように、RCBLピンとその駆動先の入力間に100kΩを直列に接続して負荷の容量を分離してください。

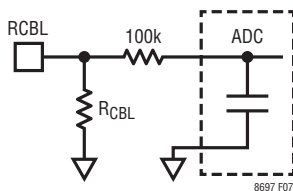


図7. RCBLピンを出力電流モニタとして使用

スイッチング周波数の設定

LT8697では、RTピンとグラウンドの間に接続した1本の抵抗を使用して300kHz～2.2MHzの範囲でスイッチングするよう設定できる固定周波数のPWMアーキテクチャが採用されています。目的のスイッチング周波数に必要な R_T の値を表3に示します。目的のスイッチング周波数を得るために必要な R_T の抵抗値は次式を使用して計算できます。

$$R_T = \frac{43}{f_{\text{SW}}} - 5.2$$

ここで、 R_T の単位はkΩ、 f_{SW} は目的のスイッチング周波数で単位はMHzです。

表3. スwitchング周波数と R_T の値

f_{SW} (MHz)	R_T (kΩ)
0.3	140
0.4	102
0.5	80.6
0.6	66.5
0.7	56.2
0.8	47.5
1.0	37.4
1.2	30.1
1.4	25.5
1.6	21.5
1.8	18.7
2.0	16.5
2.2	14.7

動作周波数の選択と交換条件

動作周波数の選択には、効率、部品サイズ、および入力電圧範囲の間の交換条件が存在します。高周波数動作の利点は、小さな値のインダクタとコンデンサを使用できることです。欠点は効率が低いことと、入力電圧範囲が狭く、固定周波数動作であることです。

与えられたアプリケーションでの最大スイッチング周波数($f_{\text{SW}}(\text{MAX})$)は、次のように計算することができます。

$$f_{\text{SW}}(\text{MAX}) = \frac{5V + V_{\text{SW}}(\text{BOT})}{t_{\text{ON}}(\text{MIN}) \cdot (V_{\text{IN}} - V_{\text{SW}}(\text{TOP}) + V_{\text{SW}}(\text{BOT}))}$$

ここで、 V_{IN} は標準の入力電圧、 $V_{\text{SW}}(\text{TOP})$ および $V_{\text{SW}}(\text{BOT})$ は内蔵スイッチの電圧降下(最大負荷時にそれぞれ約0.3Vおよび約0.15V)、 $t_{\text{ON}}(\text{MIN})$ は上側スイッチの最小オン時間です(「電気的特性」のセクションを参照)。この式は、高い $V_{\text{IN}}/V_{\text{OUT}}$ 比に対応するには、スイッチング周波数を下げる必要があることを示しています。

トランジェント動作では、 R_T の値に関係なく、 V_{IN} が42Vの絶対最大定格まで上昇する可能性があります。LT8697では、必要に応じてスイッチング周波数を減少することにより、インダクタ電流の制御を維持して安全な動作を保証します。

アプリケーション情報

LT8697は非常に高いデューティ・サイクルで動作できるので、出力電圧より数百mV高い入力電圧で出力電圧をレギュレーション状態に維持することができます。ドロップアウト電圧は負荷電流と上側スイッチの $R_{DS(ON)}$ により異なります。ただし、LT8697は非常に高いデューティ・サイクル状態ではオフ時間をスキップし、 R_T で設定した周波数よりもスイッチング周波数を低くします。このドロップアウト・モードでは、許容最大オン時間は約18 μ sです。この18 μ sのオン時間しきい値に達すると、LT8697は400nsのオフ時間を強制して、軽負荷時にBSTピンのコンデンサを充電状態に保持します。この動作では最大デューティ・サイクルが97.5%に制限されますが、すべての負荷と起動条件で良好なドロップアウト性能が保証されます。

V_{IN}/V_{OUT} 比が低いときに、設定スイッチング周波数からの偏差を許容できないアプリケーションの場合は、次式を使用してスイッチング周波数を設定します。

$$f_{SW(MAX)} = \frac{1}{t_{OFF(MIN)}} \left(\frac{V_{IN(MIN)} - 5.8 - V_{SW(TOP)}}{V_{IN(MIN)} + V_{SW(BOT)} - V_{SW(TOP)}} \right)$$

ここで、 $V_{IN(MIN)}$ はサイクルをスキップしない場合の最小入力電圧、 $V_{SW(TOP)}$ および $V_{SW(BOT)}$ は内部スイッチの電圧降下(最大負荷時にそれぞれ約0.3V、約0.15V)、 f_{SW} は(R_T で設定した)スイッチング周波数、 $t_{OFF(MIN)}$ は最小スイッチ・オフ時間です。スイッチング周波数が高くなると、サイクル数を減少させて高いデューティ・サイクルを実現できる入力電圧の最小値が高くなることに注意してください。

インダクタの選択と最大出力電流

LT8697は、アプリケーションの出力負荷要件に基づいてインダクタを選択できるようにすることで、ソリューション・サイズを最小限に抑えるよう設計されています。LT8697では、高速ピーク電流モード・アーキテクチャの採用により、過負荷状態または短絡状態のときに、インダクタが飽和した動作に支障なく耐えられます。

最初に選択するインダクタの値としては、次の値が適切です。

$$L = \frac{5.8V + V_{SW(BOT)}}{f_{SW}}$$

ここで、 f_{SW} はスイッチング周波数(MHz)、 $V_{SW(BOT)}$ は下側スイッチの電圧降下(約0.15V)、 L はインダクタの値(μ H)です。

過熱や効率低下を防ぐため、インダクタは、その実効値電流定格がアプリケーションの予想最大出力負荷より大きいものを選択する必要があります。さらに、(通常は I_{SAT} と表示される)インダクタの飽和電流定格は、負荷電流にインダクタのリプル電流の1/2を加えた値より大きくなければなりません。

$$I_{L(PEAK)} = I_{OUT(MAX)} + \frac{\Delta I_L}{2}$$

ここで、 ΔI_L は後で計算するインダクタのリプル電流であり、 $I_{OUT(MAX)}$ はある特定のアプリケーションの最大出力負荷です。

簡単な例として、1Aの出力を必要とするアプリケーションでは、実効値定格が1Aより大きく I_{SAT} が1.3Aより大きいインダクタを使用します。過負荷状態または短絡状態が長時間に及ぶ場合は、インダクタの過熱を防ぐため、インダクタの実効値電流定格要件が大きくなります。高い効率を保つには、直列抵抗(DCR)が0.04 Ω より小さく、コア材が高周波アプリケーション向けのものにする必要があります。

LT8697は、スイッチとシステムを過負荷フォルトから保護するためにピーク・スイッチ電流を制限します。上側スイッチの電流制限値(I_{LIM})は、デューティ・サイクルが低いときは4.8A以上ですが、デューティ・サイクルが80%になると、直線的に減少して4Aになります。したがって、インダクタの値は目的の最大出力電流($I_{OUT(MAX)}$)を供給するのに十分な大きさにする必要があります。この電流は、スイッチ電流制限値(I_{LIM})およびリプル電流の関数です。

$$I_{OUT(MAX)} = I_{LIM} - \frac{\Delta I_L}{2}$$

インダクタのピーク・トゥ・ピークのリプル電流は次のように計算できます。

$$\Delta I_L = \frac{5V}{L \cdot f_{SW}} \cdot \left(1 - \frac{5V}{V_{IN(MAX)}} \right)$$

ここで、 f_{SW} はLT8697のスイッチング周波数で、 L はインダクタの値です。したがって、LT8697が供給できる最大出力電流は、スイッチ電流制限、インダクタの値、入力電圧、および出力電圧に依存します。目的のアプリケーションで使用されるスイッチング周波数と最大入力電圧が与えられているとき、インダク

アプリケーション情報

タのリップル電流が十分な最大出力電流($I_{OUT(MAX)}$)を許容しない場合は、インダクタの値を大きくする必要があります。

特定のアプリケーションに最適なインダクタは、この設計ガイドで示されているものとは異なる場合があります。インダクタの値を大きくすると最大負荷電流が増加し、出力電圧リップルが減少します。必要な負荷電流が小さいアプリケーションでは、インダクタの値を小さくすることが可能であり、LT8697を大きいリップル電流で動作させることができます。このため、物理的に小さいインダクタを使用することや、DCRの小さいものを使用して効率を高めることができます。

最大出力電流と不連続動作の詳細については、弊社の「アプリケーションノート44」を参照してください。

最後に、デューティ・サイクルが50%を超える場合($V_{OUT}/V_{IN} > 0.5$)は、最小のインダクタンス L_{MIN} で低調波発振を防ぐ必要があります。

$$L_{MIN} = \frac{5.8V + V_{SW(BOT)}}{f_{SW}} \cdot 0.8$$

入力コンデンサ

LT8697回路の入力は、X7RタイプまたはX5Rタイプのセラミック・コンデンサを V_{IN} ピンとPGNDピンのできるだけ近くに配置してバイパスします。Y5Vタイプは、温度や印加される電圧が変化すると性能が低下するので使用しないでください。LT8697をバイパスするには4.7 μ F～10 μ Fのセラミック・コンデンサが適しており、リップル電流を容易に処理できます。低いスイッチング周波数を使用すると、大きな入力容量が必要になることに注意してください。入力電源のインピーダンスが高いか、長い配線やケーブルによる大きなインダクタンスが存在する場合、追加のバルク容量が必要になることがあります。これには性能の高くない電解コンデンサを使うことができます。

降圧レギュレータには、立ち上がり時間と立ち下がり時間が非常に短いパルス電流が入力電源から流れます。その結果として生じるLT8697での電圧リップルを減らし、周波数が非常に高いこのスイッチング電流を狭い範囲のループに押し込めてEMIを最小限に抑えるために、入力コンデンサが必要です。4.7 μ Fのコンデンサがこの役割を果たすことができますが、LT8697の近くに配置した場合に限ります(「プリント回路基板のレイアウト」のセクションを参照)。セラミックの入力コンデンサに関する2つ目の注意点は、LT8697の最大入力

電圧定格に関することです。セラミックの入力コンデンサは、トレースやケーブルのインダクタンスと結合して、質の良い(減衰の小さな)タンク回路を形成します。LT8697の回路を通電中の電源に差し込むと、入力電圧に公称値の2倍のリングングが生じてLT8697の電圧定格を超える恐れがあります。この状況は簡単に回避できます(リニアテクノロジーの「アプリケーションノート88」を参照)。

出力コンデンサと出力リップル

出力コンデンサには2つの基本的な機能があります。出力コンデンサは、インダクタとともに、LT8697が発生する方形波をフィルタに通してDC出力を生成します。この機能では出力コンデンサが出力リップルを決定するので、スイッチング周波数でのインピーダンスが低いことが重要です。2番目の機能は、トランジェント負荷を満たしてLT8697の制御ループを安定させるためにエネルギーを蓄えることです。セラミック・コンデンサの等価直列抵抗(ESR)は非常に小さいため、最良のリップル性能が得られます。出発点にふさわしい値については、「標準的応用例」のセクションを参照してください。

X5RまたはX7Rのタイプを使用してください。この選択により、出力リップルが小さくなり、トランジェント応答が良くなります。また、出力容量を大きくすると出力電圧リップルが減少します。値の小さな出力コンデンサを使用すればスペースとコストを節約できますが、そうすると入力コンデンサが小さすぎる場合にはループが不安定になる可能性があります。ケーブル電圧降下補償では、トランジェント負荷ステップに応じて出力コンデンサ両端の電圧に傾きが生じるので、出力コンデンサの容量を小さくすると応答時間を短くすることができます。コンデンサの推奨値については、このデータシートの「標準的応用例」を参照してください。

コンデンサを選択するときには、データシートに特に注意して、電圧バイアスと温度の該当する動作条件での実効容量を計算してください。物理的に大きなコンデンサまたは電圧定格が高いコンデンサが必要なことがあります。

イネーブル・ピン

LT8697は、EN/UVピンが“L”のときシャットダウン状態になり、EN/UVピンが“H”のときアクティブになります。ENコンパレータの上昇しきい値は1.0Vで、40mVのヒステリシスがあります。EN/UVピンは、シャットダウン機能を使用しない場合には V_{IN} に接続できます。シャットダウン制御が必要な場合は、ロジック・レベルに接続できます。

アプリケーション情報

抵抗分割器を V_{IN} と EN/UV ピンの間に追加すると、LT8697 は、 V_{IN} が目的の電圧より高くなった場合にのみ出力を安定化するように設定されます（「ブロック図」を参照）。通常、このしきい値 ($V_{IN(EN)}$) は、入力電源が電流制限されているか、または入力電源のソース抵抗が比較的高い状況で使用されます。スイッチング・レギュレータは電源から一定の電力を引き出すため、電源電圧が低下するにつれて電源電流が増加します。この現象は電源からは負の抵抗負荷のように見えるため、電源電圧が低い状態では、電源が電流を制限するか、または低電圧にラッチする原因になることがあります。 $V_{IN(EN)}$ しきい値は、これらの問題が発生する恐れのある電源電圧でレギュレータが動作するのを防ぎます。このしきい値は、次式を満足するように $R3$ と $R4$ の値を設定することにより調整することができます。

$$V_{IN(EN)} = \left(\frac{R3}{R4} + 1 \right) \cdot 1.0V$$

この場合は、 V_{IN} が $V_{IN(EN)}$ を超えるまで LT8697 はオフのままです。コンパレータのヒステリシスのため、入力が $V_{IN(EN)}$ よりわずかに低くなるまでスイッチングは停止しません。

INTV_{CC}レギュレータ

内部の低ドロップアウト (LDO) レギュレータは、 V_{IN} を元にして、ドライバと内部バイアス回路に電力を供給する 3.4V 電源を生成します。INTV_{CC} は、LT8697 の回路に十分な電流を供給可能であり、1 μ F の最小容量でグラウンドにバイパスする必要があります。X5R または X7R のセラミック・コンデンサを使用してください。パワー MOSFET のゲート・ドライバが必要とする大量の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。効率を向上するため、SYS ピンの電圧が 3.3V 以上の場合、内蔵の LDO によって SYS ピンから電流を流すこともできます。SYS ピンは LT8697 の出力コンデンサに接続する必要があります。SYS ピンの電圧が 3.3V より低い場合は、 V_{IN} から流れる電流を内蔵の LDO が消費します。INTV_{CC} からは 100 μ A より大きな負荷電流を流さないようにしてください。

出力電圧トラッキングとソフトスタート

LT8697 では、TR/SS ピンによって出力電圧のランプ・レートを設定できます。内蔵の 2.2 μ A 電流源により、TR/SS ピンの電圧は INTV_{CC} になります。外付けコンデンサを TR/SS ピンに接続すると、出力をソフトスタートさせて入力電源の電流サージを防ぐことができます。ソフトスタート・ランプの間、出力電圧は

TR/SS ピンの電圧に比例して追従します。出力トラッキング・アプリケーションでは、別の電圧源によって TR/SS ピンを外部から駆動することができます。0V ~ 0.97V の範囲では、エラー・アンプに入力される 0.97V の内部リファレンスより TR/SS ピンの電圧の方が優先されるので、USB5V ピンの電圧は TR/SS ピンの電圧の 5 倍の値に安定化されます。TR/SS ピンの電圧が 0.97V より高くなるとトラッキングはディスエーブされ、USB5V ピンの電圧は 5V に安定化されるようになります。この機能が必要ない場合は、TR/SS ピンをフロート状態のままにしておいてもかまいません。

TR/SS ピンにはアクティブなプルダウン回路が接続されています。この回路は、フォルト状態が発生すると外付けのソフトスタート・コンデンサを放電し、フォルト状態が解消すると電圧の上昇を再開します。ソフトスタート・コンデンサが放電されるフォルト状態になるのは、EN/UV ピンが“L”へ遷移した場合、 V_{IN} の電圧が低下しすぎた場合、またはサーマル・シャットダウンが発生した場合です。

出力パワーグッド

LT8697 の出力電圧がレギュレーション点の $\pm 9\%$ の範囲内（つまり、 V_{USB5V} が 4.55V ~ 5.45V（標準）の範囲内）にある場合、出力電圧は良好な状態であるとみなされ、オープンドレインの PG ピンは高インピーダンスになり、通常は外付け抵抗によって“H”になります。そうでない場合は、内部のプルダウン・デバイスにより、PG ピンは“L”になります。グリッチの発生を防ぐため、上側と下側のしきい値には、どちらも 1.3% のヒステリシスが含まれています。

PG ピンは、以下のフォルト状態の間も自動的に“L”になります。それは、EN/UV ピンの電圧が 1V より低い、INTV_{CC} が低下しすぎている、 V_{IN} が低すぎる、サーマル・シャットダウンが発生しているというフォルト状態です。

同期

LT8697 の発振器を外部周波数に同期させるには、(デューティ・サイクルが 20% ~ 80% の) 方形波を SYNC ピンに接続します。方形波の振幅には、0.4V より低い谷と 2.4V より高い山（最大 6V）が必要です。

LT8697 は 300kHz ~ 2.2MHz の範囲にわたって同期させることができます。 R_T 抵抗は、LT8697 のスイッチング周波数を最低同期入力以下に設定するように選択します。たとえば、同期信号が 500kHz 以上になる場合は、(スイッチング周波数が) 500kHz になるように R_T を選択します。スロー補償は R_T の

アプリケーション情報

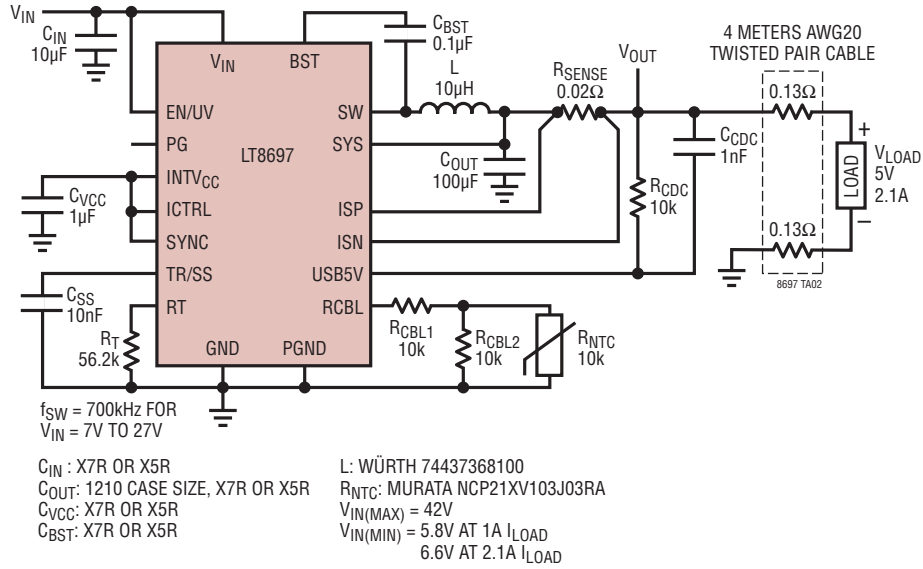
LT8697の V_{IN} ピン、PGNDピン、および入力コンデンサ(C_{IN1} および C_{IN2})には大量のスイッチング電流が流れることに注意してください。入力コンデンサによって形成されるループは、入力コンデンサを V_{IN} ピンおよびPGNDピンの近くに配置することにより、できるだけ小さくしてください。物理的に大きな入力コンデンサを使用すると、形成されるループが大きくなりすぎる可能性があります。この場合には、筐体/値の小さいコンデンサを V_{IN} ピンおよびPGNDピンの近くに配置して、大型のコンデンサを遠くに配置することを推奨します。これらの部品に加えて、インダクタおよび出力コンデンサは回路基板の同じ側に配置し、その層で接続を行うようにしてください。表面層に最も近い層のアプリケーション回路の下には、デバイス付近にあるグラウンド・プレーンを配置します。SWノードとBSTノードはできるだけ小さくしてください。最後に、グラウンド・トレースがSWノードとBSTノードからUSB5VノードとRTノードをシールドできるように、USB5VノードとRTノードは小さく保ちます。パッケージ底面の露出パッドは、電気的にはグラウンドに接続され、熱的にはヒートシンクとして機能するように、グラウンドに半田付けする必要があります。熱抵抗を小さく保つには、グラウンド・プレーンをできるだけ広げ、LT8697の下や近くから回路基板内および裏側の追加グラウンド・プレーンまでサーマル・ビアを追加します。

高温に関する検討事項

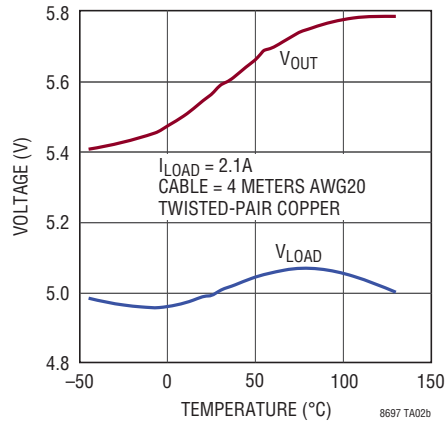
周囲温度が高いアプリケーションでは、LT8697が十分放熱できるようにプリント回路基板をレイアウトしてください。パッケージ底面の露出パッドはグラウンド・プレーンに半田付けする必要があります。このグラウンドは、サーマル・ビアを使用して、下にある広い銅層に接続してください。これらの層は、LT8697が発生する熱を放散します。ビアを追加すると、熱抵抗をさらに減らすことができます。周囲温度が最大接合部温度の定格に近づくと、最大負荷電流をデレーティングします。LT8697内部の電力損失は、効率の測定結果から全電力損失を計算し、それからインダクタの損失を減じることによって推定することができます。ダイ温度は、LT8697の電力損失に、接合部から周囲への熱抵抗を掛けて計算します。LT8697は、安全な接合部温度を超えると、スイッチングを停止してフォルト状態を示します。

標準的応用例

広い温度範囲で銅線ケーブルの電圧降下を補償する 5V 降圧コンバータ

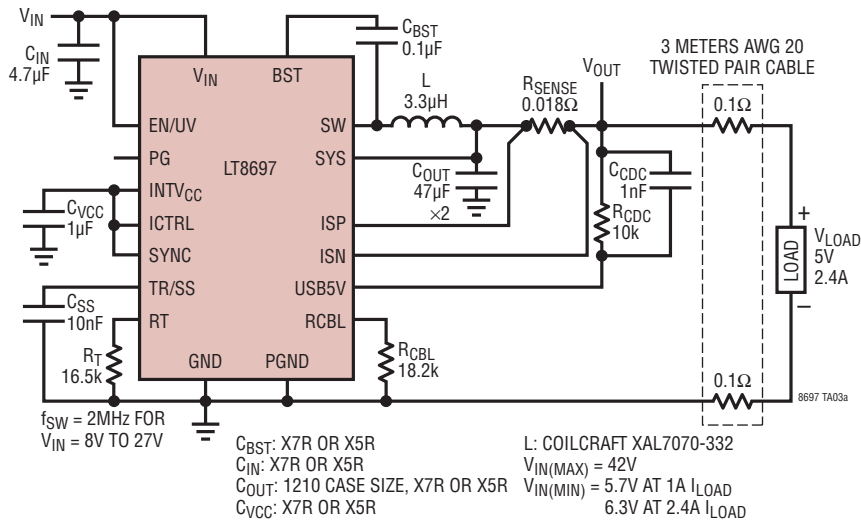


ケーブル電圧降下補償の温度補正 (銅線ケーブル通過時)

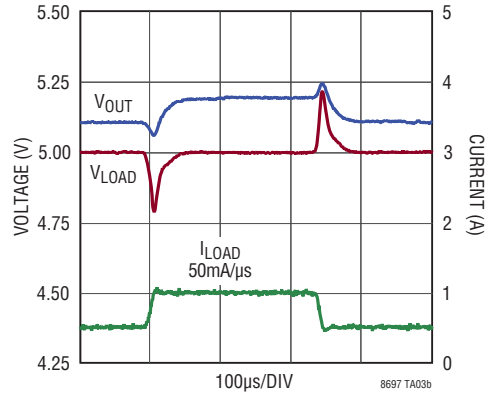


標準的応用例

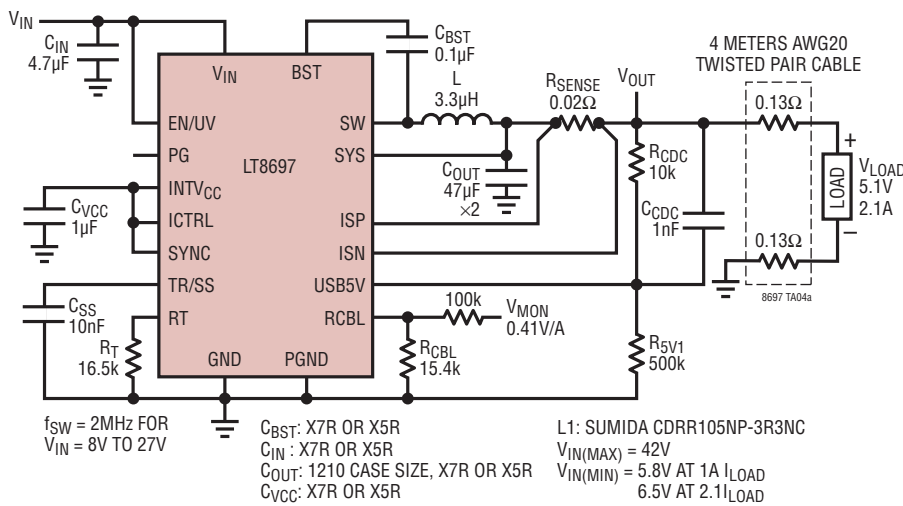
ケーブルの電圧降下を補償する2MHz、5V降圧コンバータ



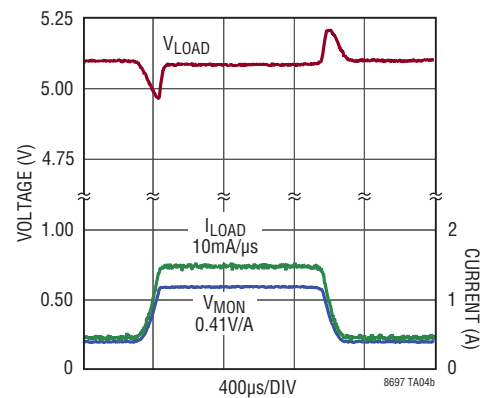
3mのAWG 20より対線ケーブル接続時のトランジェント応答



ケーブル電圧降下補償機能と出力電流モニタ機能を備えた2MHz、5.1V降圧コンバータ

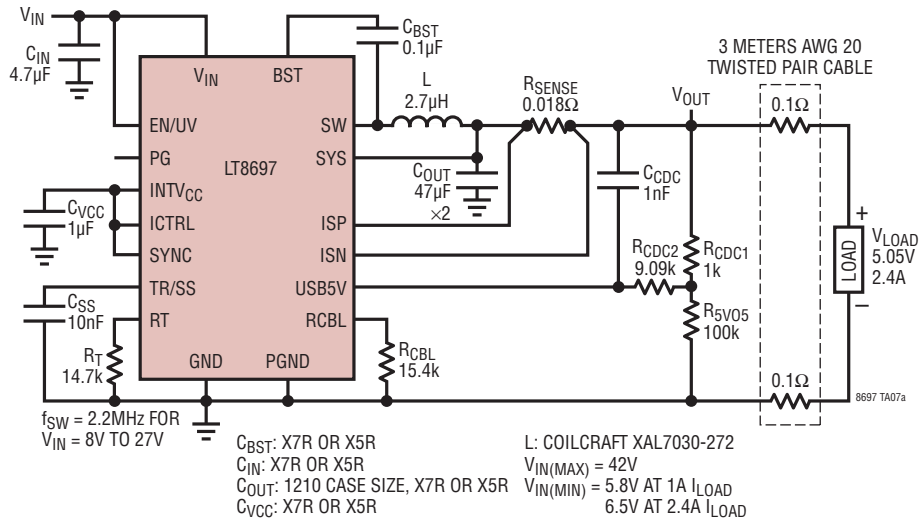


トランジェント応答 0.5Aから1.5Aまでの負荷ステップ

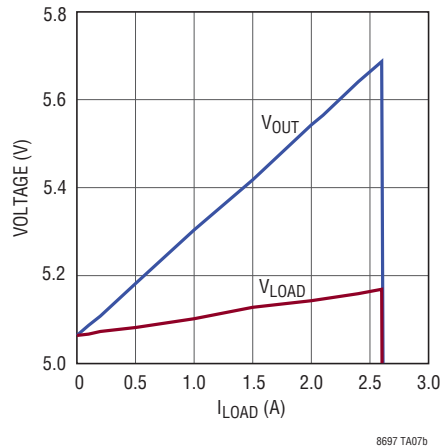


標準的応用例

負の出力抵抗を持つ2.2MHz、5.05V降圧コンバータ

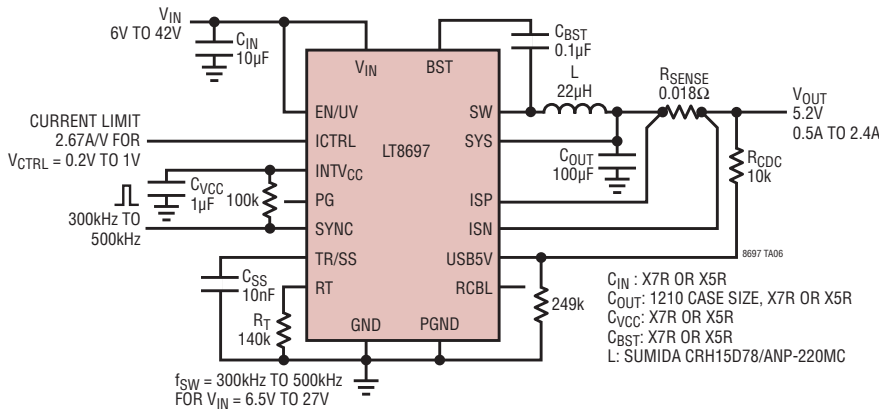


出力電圧と負荷電流

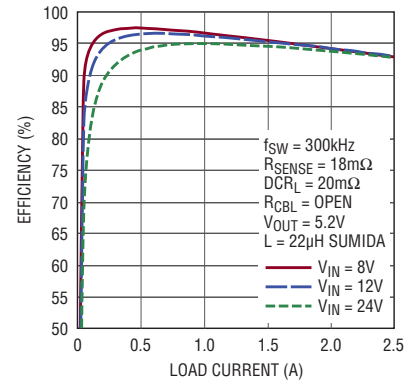


標準的応用例

プログラム可能な出力電流制限および同期機能を備えた高効率5.2V降圧コンバータ



効率と負荷



関連製品

製品番号	説明	注釈
LT8610	効率が96%の42V、2.5A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ (IQ = 2.5µA)	VIN(MIN) = 3.4V、VIN(MAX) = 42V、VOUT(MIN) = 0.985V、IQ = 2.5µA、ISD < 1µA、MSOP-16Eパッケージ
LT8611	IQ = 2.5µAの、42V、2.5A、96%効率、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ、および入力/出力電流制限/モニタ	VIN(MIN) = 3.4V、VIN(MAX) = 42V、VOUT(MIN) = 0.985V、IQ = 2.5µA、ISD < 1µA、3mm×5mm QFN-24パッケージ
LT3690	効率が92%の36V (60Vまでのトランジェント保護あり)、4A、1.5MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ (IQ = 70µA)	VIN(MIN) = 3.9V、VIN(MAX) = 36V、VOUT(MIN) = 0.985V、IQ = 70µA、ISD < 1µA、4mm×6mm QFN-26パッケージ
LT3971A-5	38V、1.2A、2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ (IQ = 2.8µA)	VIN(MIN) = 4.2V、VIN(MAX) = 40V、VOUT = 5V、IQ = 2.8µA、ISD < 1µA、MSOP-10Eパッケージ
LT6110	ケーブル/ワイヤ電圧降下補償器	VIN(MIN) = 2V、VIN(MAX) = 50V、VOUT(MIN) = 0.4V、IQ = 16µA、SOT-8、2mm×2mm DFN-8パッケージ
LT3991	55V、1.2A、2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ (IQ = 2.8µA)	VIN(MIN) = 4.2V、VIN(MAX) = 62V、VOUT(MIN) = 1.21V、IQ = 2.8µA、ISD < 1µA、3mm×3mm DFN-10、MSOP-10Eパッケージ
LT3970	40V、350mA、2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ (IQ = 2.5µA)	VIN(MIN) = 4.2V、VIN(MAX) = 40V、VOUT(MIN) = 1.21V、IQ = 2.5µA、ISD < 1µA、3mm×2mm DFN-10、MSOP-10パッケージ
LT3990	62V、350mA、2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ (IQ = 2.5µA)	VIN(MIN) = 4.2V、VIN(MAX) = 62V、VOUT(MIN) = 1.21V、IQ = 2.5µA、ISD < 1µA、3mm×2mm DFN-10、MSOP-10パッケージ
LT3480	36V (60Vまでのトランジェント保護あり)、2A (IOUT)、2.4MHz高効率降圧DC/DCコンバータ (Burst Mode®動作可能)	VIN(MIN) = 3.6V、VIN(MAX) = 36V、60Vまでのトランジェント、VOUT(MIN) = 0.78V、IQ = 70µA、ISD < 1µA、3mm×3mm DFN-10、MSOP-10Eパッケージ
LT3980	58V (80Vまでのトランジェント保護あり)、2A (IOUT)、2.4MHz高効率降圧DC/DCコンバータ (Burst Mode®動作可能)	VIN(MIN) = 3.6V、VIN(MAX) = 58V、80Vまでのトランジェント、VOUT(MIN) = 0.78V、IQ = 85µA、ISD < 1µA、3mm×4mm DFN-16、MSOP-16Eパッケージ