



データシート ADPL13602

3.5V~36V、2.4A、高効率の 同期整流式降圧DC/DCコンバータ

特長

- ▶ 外付け部品と総コストを削減
 - ▶ ショットキー不要の同期整流動作
 - ▶ 補償機能内蔵
 - ▶ セラミック・キャパシタのみを使用した小型レイアウトが可能
- ▶ 在庫として確保すべきDC/DCレギュレータの数を削減
 - ▶ 広い入力電圧範囲：3.5V~36V
 - ▶ 調整可能な出力電圧範囲：1V~ V_{IN} の90%
 - ▶ 温度範囲全体で最大2.4Aを供給
 - ▶ 調整可能な周波数範囲：400kHz~1.5MHz
- ▶ 費電力を低減
 - ▶ ピーク効率：95%
 - ▶ 2.4V~12Vの広いブートストラップ・バイアス入力（EXTVCC）による効率向上
- ▶ 不利な工業的環境下でも信頼性の高い動作
 - ▶ ヒカップ・モードによる過負荷保護
 - ▶ プリバイアス出力電圧による調整可能な単調性起動
 - ▶ RESETによる出力電圧モニタリング機能を内蔵
 - ▶ プログラム可能なEN/UVLO閾値
 - ▶ 産業向けの広い動作周囲温度範囲：-40°C~+125°Cまたはジャンクション温度範囲：-40°C~+150°C

概要

ADPL13602は、MOSFETを内蔵した高効率の同期整流式降圧DC/DCコンバータで、3.5V~36Vの入力電圧範囲で動作します。最大2.4Aの電流を供給可能です。出力電圧は、1Vから V_{IN} の90%までの範囲で設定可能です。出力電圧範囲にわたる補償機能を内蔵しているため、外付けの補償部品は不要です。

ADPL13602は、ピーク電流モード制御アーキテクチャを採用しています。強制パルス幅変調（PWM）モードまたは不連続導通モード（DCM）で動作し、全負荷および軽負荷の条件下で高い効率を実現します。最小オン時間が短いため高いスイッチング周波数を実現でき、また、ソリューション・サイズの小型化が可能です。

-40°C~+125°Cでのフィードバック電圧のレギュレーション精度は±1.5%です。このデバイスは、16ピンのTQFN-EPパッケージ（3mm×3mm）を採用しています。シミュレーション・モデルも提供されています。

アプリケーション

- ▶ 産業用制御電源
- ▶ 分散型電源レギュレーション
- ▶ ACアダプタ・トランス・レギュレーション
- ▶ 高電圧シングルボード・システム

簡略アプリケーション回路図

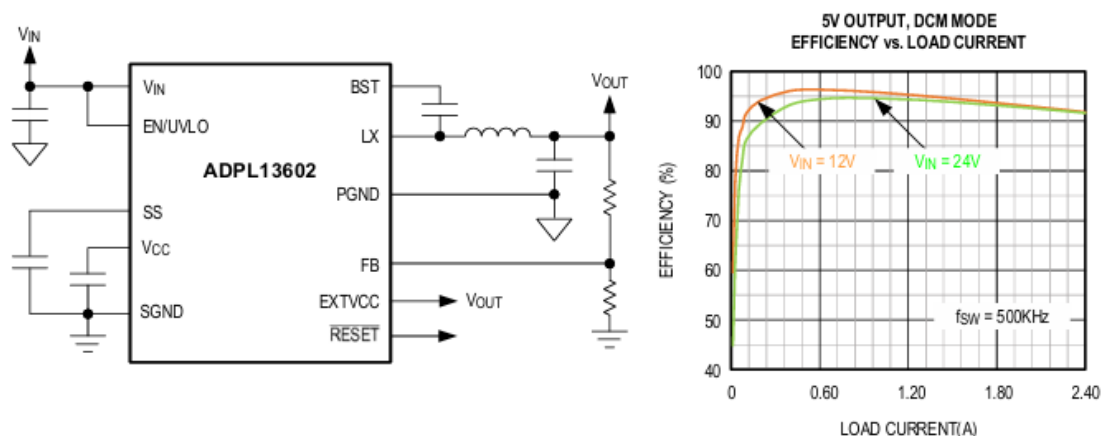


図1. 簡略アプリケーション回路図および効率と負荷電流の関係

改訂履歴

版数	改訂日	説明	改訂ページ
0	12/23	初版発行	—

仕様

表 1. 仕様

($V_{IN} = V_{EN/UVLO} = 24V$ 、 $R_T =$ 無接続 ($f_{SW} = 500kHz$)、 $C_{VCC} = 2.2\mu F$ 、 $V_{MODE} = V_{EXTVCC} = V_{SGND} = V_{PGND} = 0$ 、 $V_{FB} = 0.64V$ 、 $LX = SS =$ RESET = オープン、 $V_{BST} \sim V_{LX}$ の電圧 = 1.8V、 $T_A = T_J = -40^\circ C \sim 125^\circ C$ 。代表値は $T_A = +25^\circ C$ での値。特に指定のない限り電圧は全て SGND が基準。(Note 1))

パラメータ	記号	テスト条件/コメント	最小値	代表値	最大値	単位
INPUT SUPPLY (VIN)						
Input Voltage Range	V _{IN}		3.5		36	V
Input Shutdown Current	I _{IN_SH}	V _{EN/UVLO} = 0V (シャットダウン・モード)		6.5	24	μA
Input Quiescent Current	I _{Q_DCM}	DCMモード、V _{LX} = 0.1V		2		mA
	I _{Q_PWM}	通常スイッチング・モード、V _{FB} = 0.58V		8.2		
Input UVLO	V _{IN_UVLO_R}	V _{IN} の立上がり	2.95		3.26	V
	V _{IN_HYS}	ヒステリシス		0.246		
ENABLE/INPUT UNDERVOLTAGE LOCKOUT (EN/UVLO)						
EN/UVLO Threshold	V _{ENR}	V _{EN/UVLO} の立上がり	1.194	1.25	1.303	V
	V _{EN_HYS}	ヒステリシス		0.1		
	V _{EN_TRUESD}	V _{EN/UVLO} の立下がり、真のシャットダウン		0.75		
EN/UVLO Input Leakage Current	I _{EN}	V _{EN/UVLO} = 0V、T _A = +25°C	-50	0	+50	nA
LINEAR REGULATOR (V _{CC} , EXTVCC)						
V _{CC} Output Voltage Range	V _{CC}	3.5V < V _{IN} < 36V、I _{VCC} = 1mA	1.74	1.80	1.86	V
		1mA < I _{VCC} < 25mA	1.70	1.80	1.86	
V _{CC} UVLO	V _{CC_UVR}	V _{CC} の立上がり	1.605	1.640	1.683	V
	V _{CC_HYS}	ヒステリシス		0.065		
EXTVCC Operating Voltage Range			2.448		12	V
EXTVCC Switchover Threshold		EXTVCCの立上がり	2.348	2.400	2.448	V
		ヒステリシス		0.09		

($V_{IN} = V_{EN/UVLO} = 24V$ 、 $RT =$ 無接続 ($f_{SW} = 500kHz$)、 $C_{VCC} = 2.2\mu F$ 、 $V_{MODE} = V_{EXTVCC} = V_{SGND} = V_{PGND} = 0$ 、 $V_{FB} = 0.64V$ 、 $LX = SS = \overline{RESET} =$ オープン、 $V_{BST} \sim V_{LX}$ の電圧 = 1.8V、 $T_A = T_J = -40^\circ C \sim 125^\circ C$ 。代表値は $T_A = +25^\circ C$ での値。特に指定のない限り電圧は全てSGNDが基準。(Note 1))

パラメータ	記号	テスト条件／コメント	最小値	代表値	最大値	単位
POWER MOSFETS						
High-Side nMOS On-Resistance	R _{DS_ONH}	I _{LX} = 0.3A、ソース	0.14	0.27		Ω
Low-Side nMOS On-Resistance	R _{DS_ONL}	I _{LX} = 0.3A、シンク	0.1	0.19		Ω
LX Leakage Current	I _{LX_LKG}	V _{IN} = 36V、T _A = +25°C、V _{LX} = (V _{PGND} + 1)V～(V _{IN} -1)V、V _{EN/UVLO} = 0V	−2		+2	μA
SOFT-START (SS)						
Charging Current	I _{SS}	V _{SS} = 0.3V	4.7	5	5.3	μA
FEEDBACK (FB)						
FB Regulation Voltage	V _{FB_REG}		0.591	0.600	0.609	V
FB Input Bias Current	I _{FB}	V _{FB} = 1V、T _A = +25°C	−50		+50	nA
MODE SELECTION (MODE)						
MODE Threshold	V _{M_DCM}	DCMモード	1.22			V
	V _{M_PWM}	PWMモード			0.66	
CURRENT LIMIT						
Peak Current-Limit Threshold	I _{PEAK_LIMIT}		2.8	3.4	4.1	A
Valley Current-Limit Threshold	I _{VALLEY_LIMIT}	DCMモード		0.1		A
		PWMモード		−1.8		
OSCILLATOR (RT)						
Programmable Switching Frequency Range	f _{SW}		400		1500	kHz
Switching Frequency Accuracy			−10		+10	%

($V_{IN} = V_{EN/UVLO} = 24V$ 、 $R_T =$ 無接続 ($f_{sw} = 500kHz$)、 $C_{VCC} = 2.2\mu F$ 、 $V_{MODE} = V_{EXTVCC} = V_{SGND} = V_{PGND} = 0$ 、 $V_{FB} = 0.64V$ 、 $LX = SS = \overline{RESET}$ = オープン、 $V_{BST} \sim V_{LX}$ の電圧 = 1.8V、 $T_A = T_J = -40^{\circ}C \sim 125^{\circ}C$ 。代表値は $T_A = +25^{\circ}C$ での値。特に指定のない限り電圧は全てSGNDが基準。(Note 1))

パラメータ	記号	テスト条件／コメント	最小値	代表値	最大値	単位
V_{FB} Undervoltage Trip Level to Cause Hiccup	V_{FB_HICF}		0.375	0.390	0.405	V
HICCUP Timeout		(Note 2)		32768		Cycles
Minimum On-Time	t_{ON_MIN}			60	90	ns
Minimum Off-Time	t_{OFF_MIN}		100		150	ns

OUTPUT STATUS MONITORING ($\overline{RESET}$)

$\overline{RESET}$ Output Level Low	V_{RESETL}	$I_{\overline{RESET}} = 10mA$			0.4	V
$\overline{RESET}$ Output Leakage Current	$I_{RESETLKG}$	$T_A = T_J = +25^{\circ}C$	-0.1		+0.1	μA
FB Threshold for $\overline{RESETT}$ Deassertion	V_{FB_OKR}	V_{FB} の立上がり	93.1	95.0	97.0	% of V_{FB_REG}
FB Threshold for $\overline{RESET}$ Assertion	V_{FB_OKF}	V_{FB} の立下がり	89.8	92.0	93.2	% of V_{FB_REG}
$\overline{RESET}$ Delay After FB Reaches 95% Regulation				1024		Cycles

THERMAL SHUTDOWN

Thermal-Shutdown Threshold		温度上昇中		160		$^{\circ}C$
Thermal-Shutdown Hysteresis				20		$^{\circ}C$

Note 1 : 電氣的仕様は、 $T_A = +25^{\circ}C$ で製品テストされています。動作温度範囲全体の仕様は設計と特性評価により裏付けられています。

Note 2 : 詳細については、[過電流保護 \(OCP\) / ヒカップ・モード](#)のセクションを参照してください。

絶対最大定格

特に指定のない限り、T_A = 25°C。

表2. 絶対最大定格

PARAMETER	RATING
V _{IN} to PGND	-0.3V to +40V
EN/UVLO to SGND	-0.3V to +40V
LX to PGND	-0.3V to (V _{IN} + 0.3V)
EXTVCC to SGND	-0.3V to +14V
BST to PGND	-0.3V to +42V
BST to LX	-0.3V to +2.2V
BST to V _{CC}	-0.3V to +40V
FB, VCC to SGND	-0.3V to +2.2V
SS, RT to SGND	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)
MODE, $\overline{\text{RESET}}$ to SGND	-0.3V to +6V
PGND to SGND	-0.3V to +0.3V
LX Steady State RMS current	±3.0A
Output Short-Circuit duration	Continuous
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)	
TQFN Multilayer Board (derate 23.1mW/°C above +70°C)	1847.6mW
Operating Temperature Range (Note 3)	-40°C to +125°C
Junction Temperature	+150°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 3 : ジャンクション温度が+125°Cを超えると、動作寿命が短くなります。

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。これらの規定はストレス定格のみを定めたものであり、この仕様の動作セクションに記載する規定値以上でデバイスが正常に動作することを意味するものではありません。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に影響を与えます。

ピン配置およびピン機能の説明

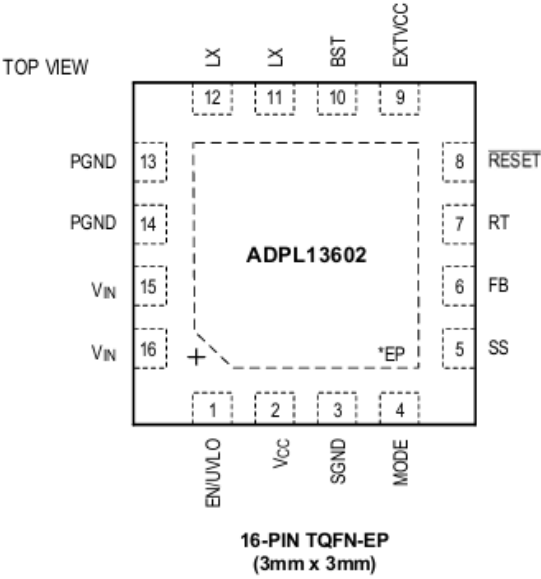


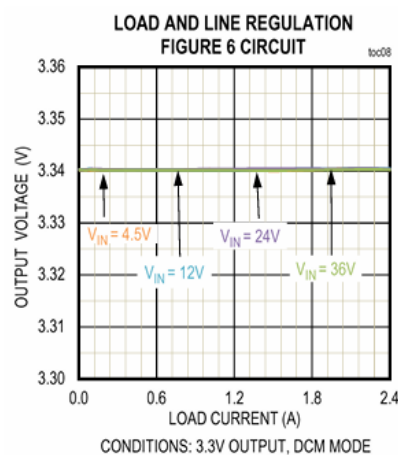
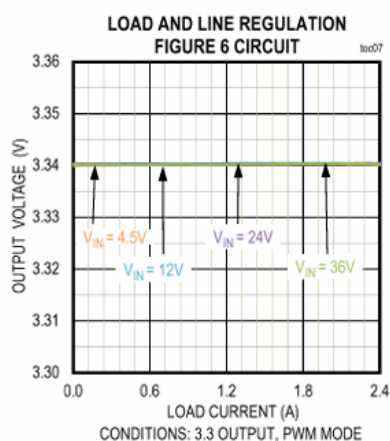
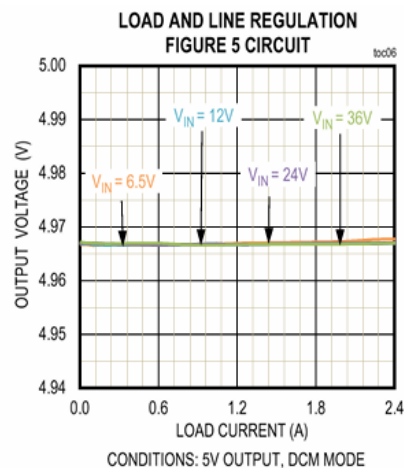
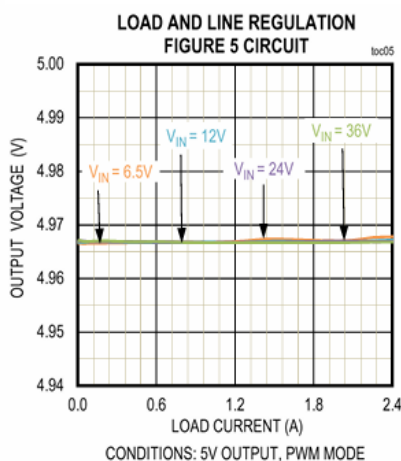
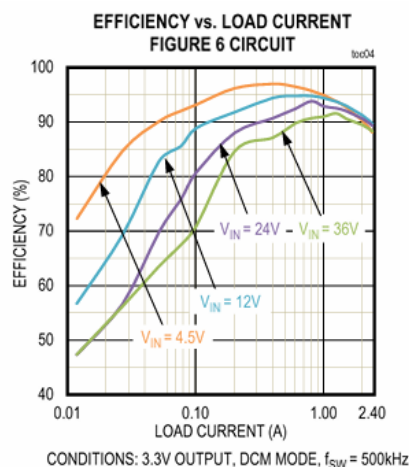
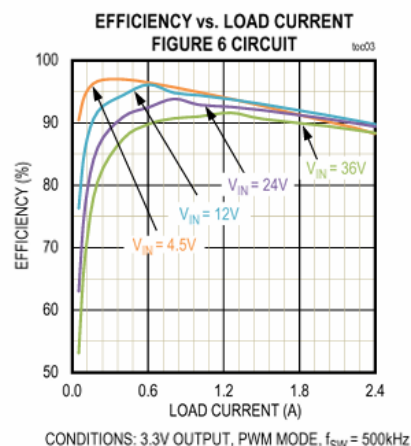
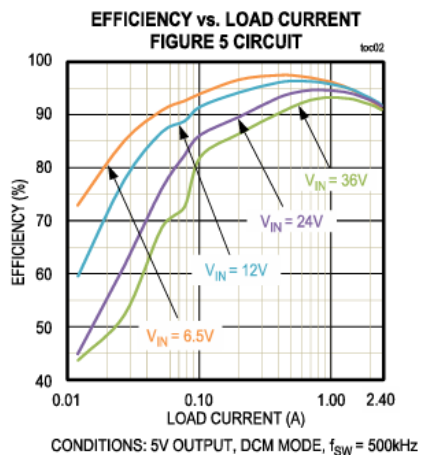
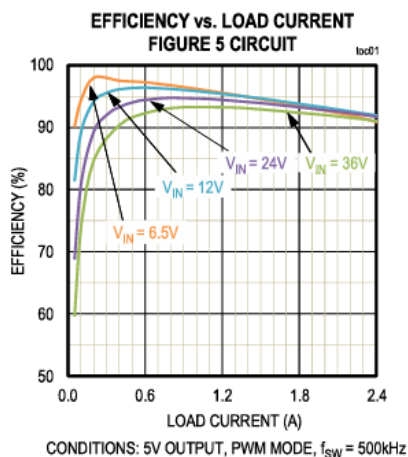
表 3. ピン機能の説明

端子	名称	説明
1	EN/UVLO	イネーブル／低電圧ロックアウト・ピン。EN/UVLOをハイにすると、出力が有効化されます。VINとSGNDの間に配置し抵抗分圧器の中間に接続して、デバイスがオンになる入力電圧を設定します。VINピンに接続すると、常時オン動作になります。プルダウン（VEN_TRUESD未満に）するとデバイスの動作を無効化できます。
2	Vcc	1.8V LDO出力。2.2μFのセラミック・キャパシタでVccをSGNDにバイパスします。LDOはVccへの外部負荷をサポートしていません。
3	SGND	信号グラウンド
4	MODE	デバイスがPWMまたはDCMのどちらの動作モードで動作するかを設定します。全ての負荷に対し定周波数PWM動作をさせるにはMODEをSGNDに接続します。軽負荷時にDCM動作をさせるにはMODEをVccに接続します。詳細についてはモード選択（MODE）のセクションを参照してください。
5	SS	ソフトスタート入力。SSとSGNDの間にキャパシタを接続してソフトスタート時間を設定します。
6	FB	フィードバック入力。出力とSGNDの間に配置した外部抵抗分圧器の中間ノードに接続して、出力電圧を設定します。詳細については、出力電圧の調整のセクションを参照してください。
7	RT	プログラマブル・スイッチング周波数入力。RTとSGNDの間に抵抗を接続することで、レギュレータのスイッチング周波数を400kHz～1.5MHzの範囲で設定できます。RTピンをオープンのままにすると、デフォルトの周波数500kHzで動作します。スイッチング周波数の設定（RT）のセクションを参照してください。

端子	名称	説明
8	RESET	オープン・ドレインのRESET出力。FBがVFB_OKF未満になると、RESET出力が駆動されます。FBがVFB_OKRを上回った後1024クロック・サイクル経過してから、RESETはハイになります。
9	EXTVCC	外部バイアス入力。EXTVCCに2.448V~12Vの電圧が印加されると、IN-LDOがバイパスされ全体的なコンバータ効率が向上します。降圧レギュレータの出力とEXTVCCの間にRCフィルタ（4.7Ω、0.1μF）を接続することで、出力の短絡状態が生じたときにEXTVCCピンが絶対最大定格（-0.3V）に達することがないように保護します。EXTVCCを使用しない場合は、SGNDに接続します。
10	BST	ブートストラップ・キャパシタ。BSTとLXの間に0.1μFのセラミック・キャパシタを接続します。
11, 12	LX	スイッチング・ノード・ピン。LXはインダクタのスイッチング側に接続します。
13, 14	PGND	コンバータの電源グラウンド・ピン。電源グランド・プレーンに外付けします。レイアウト例については、ADPL13602評価用キットのデータシートを参照してください。
15, 16	VIN	電源入力ピン。入力電源の範囲は3.5V~36Vです。2.2μF以上のキャパシタを用いてPGNDとデカップリングします。キャパシタは、VINピンとPGNDピンの近くに配置します。詳細については、 入力キャパシタの選択 のセクションを参照してください。
-	EP	露出パッド。EPは必ずICのSGNDピンに接続してください。また、複数のサーマル・ビアを使用してEPを大きなプレーンに接続することで最適な熱性能が得られます。EPの正しい接続方法とサーマル・ビアについては、ADPL13602評価用キットのデータシートを参照してください。

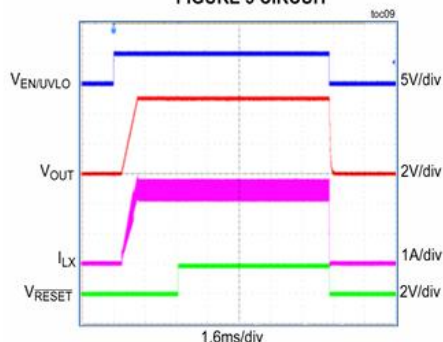
代表的な性能特性

(特に指定のない限り、 $V_{EN/UVLO} = V_{IN} = 24V$ 、 $V_{SGND} = V_{PGND} = 0V$ 、 $C_{VCC} = 2.2\mu F$ 、 $C_{BST} = 0.1\mu F$ 、 $C_{SS} = 6800pF$ 、 $T_A = -40^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$ 。代表値は $T_A = +25^{\circ}C$ での値。特に指定のない限り、電圧は全てSGNDが基準。)



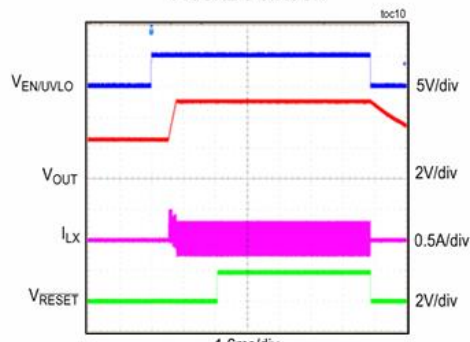
(特に指定のない限り、 $V_{EN/UVLO} = V_{IN} = 24V$ 、 $V_{SGND} = V_{PGND} = 0V$ 、 $C_{VCC} = 2.2\mu F$ 、 $C_{BST} = 0.1\mu F$ 、 $C_{SS} = 6800pF$ 、 $T_A = -40^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$ 。代表値は $T_A = +25^{\circ}C$ での値。特に指定のない限り、電圧は全てSGNDが基準。)

SOFT-START/SHUTDOWN THROUGH EN/UVLO
FIGURE 5 CIRCUIT



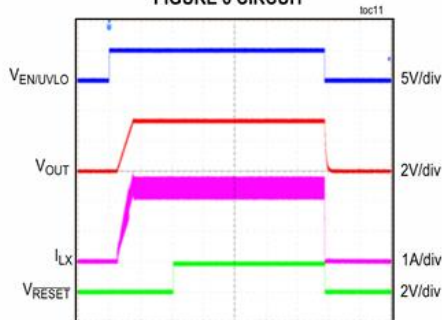
CONDITIONS: 5V OUTPUT, PWM MODE,
2.08 Ω RESISTIVE LOAD

SOFT-START WITH PREBIAS VOLTAGE OF 2.5V
FIGURE 5 CIRCUIT



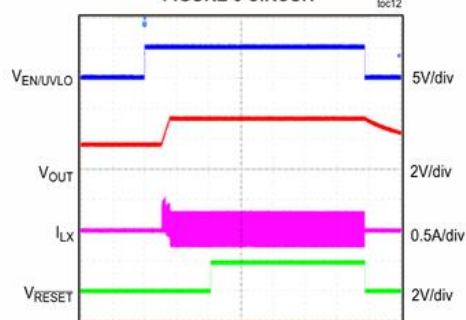
CONDITIONS: 5V OUTPUT, PWM MODE,
250 Ω RESISTIVE LOAD

SOFT-START/SHUTDOWN THROUGH EN/UVLO
FIGURE 6 CIRCUIT



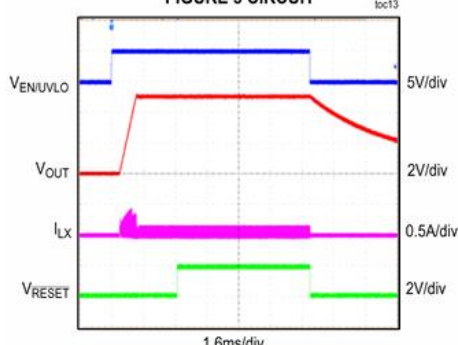
CONDITIONS: 3.3V OUTPUT, PWM MODE,
1.38 Ω RESISTIVE LOAD

SOFT-START WITH PREBIAS VOLTAGE OF 1.65V
FIGURE 6 CIRCUIT



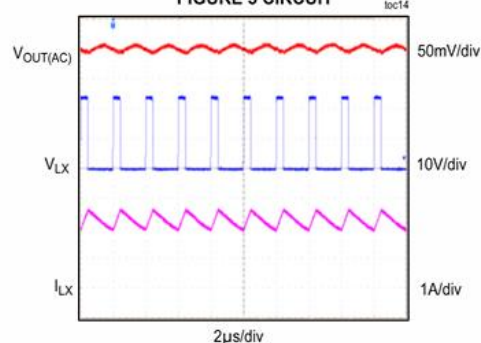
CONDITIONS: 3.3V OUTPUT, PWM MODE,
165 Ω RESISTIVE LOAD

SOFT-START/SHUTDOWN THROUGH EN/UVLO
FIGURE 5 CIRCUIT



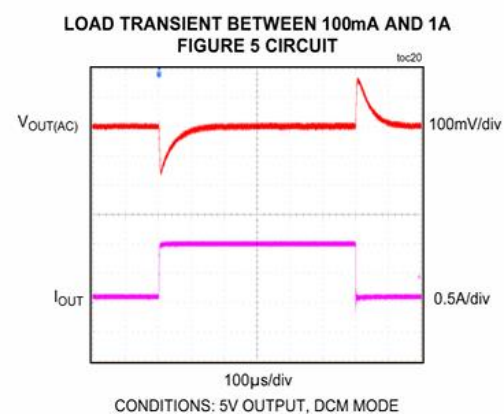
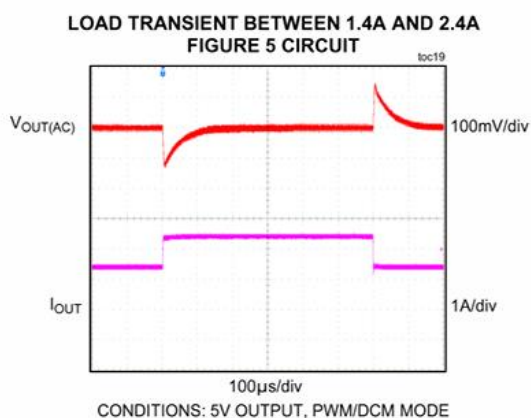
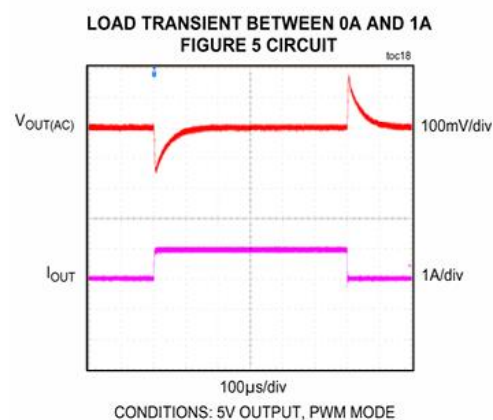
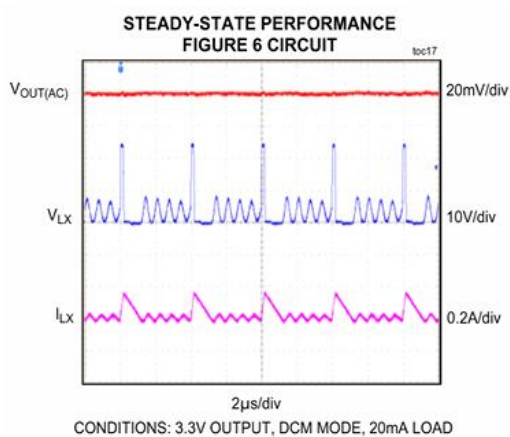
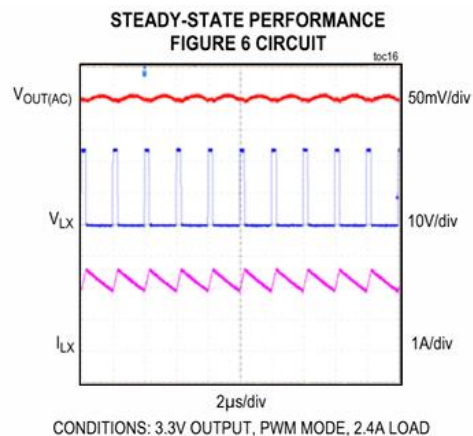
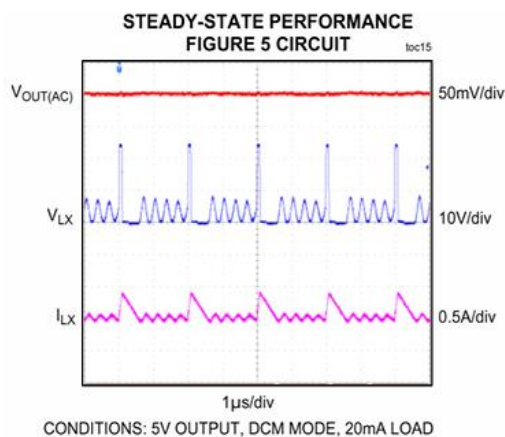
CONDITIONS: 5V OUTPUT, DCM MODE,
250 Ω RESISTIVE LOAD

STEADY-STATE PERFORMANCE
FIGURE 5 CIRCUIT



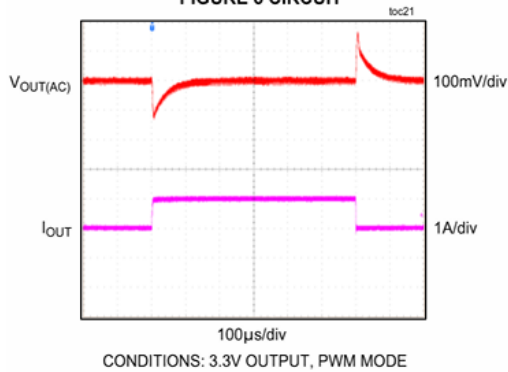
CONDITIONS: 5V OUTPUT, PWM MODE, 2.4A LOAD

(特に指定のない限り、 $V_{EN/UVLO} = V_{IN} = 24V$ 、 $V_{SGND} = V_{PGND} = 0V$ 、 $C_{VCC} = 2.2\mu F$ 、 $C_{BST} = 0.1\mu F$ 、 $C_{SS} = 6800pF$ 、 $T_A = -40^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$ 。代表値は $T_A = +25^{\circ}C$ での値。特に指定のない限り、電圧は全てSGNDが基準。)

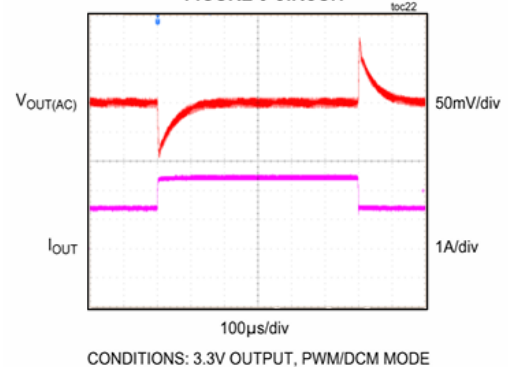


(特に指定のない限り、 $V_{EN/UVLO} = V_{IN} = 24V$ 、 $V_{SGND} = V_{PGND} = 0V$ 、 $C_{VCC} = 2.2\mu F$ 、 $C_{BST} = 0.1\mu F$ 、 $C_{SS} = 6800pF$ 、 $T_A = -40^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$ 。代表値は $T_A = +25^{\circ}C$ での値。特に指定のない限り、電圧は全てSGNDが基準。)

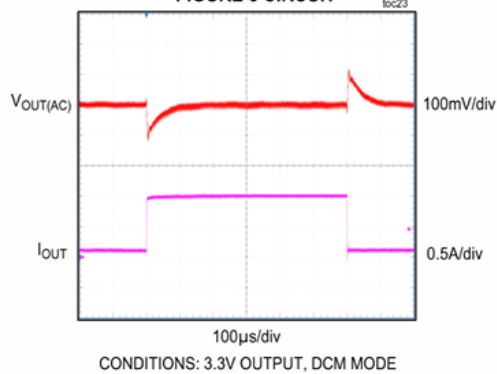
LOAD TRANSIENT BETWEEN 0A AND 1A
FIGURE 6 CIRCUIT



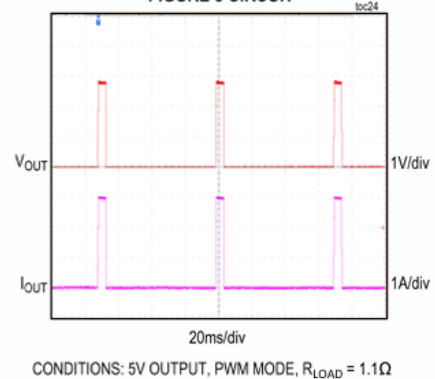
LOAD TRANSIENT BETWEEN 1.4A AND 2.4A
FIGURE 6 CIRCUIT



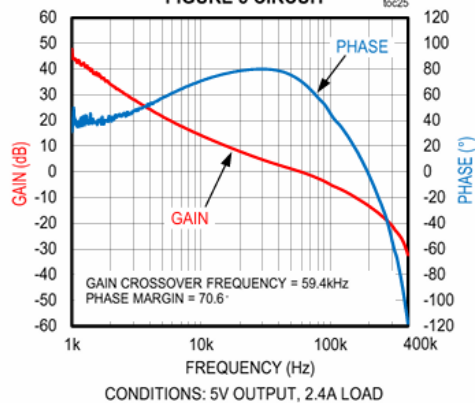
LOAD TRANSIENT BETWEEN 100mA AND 1A
FIGURE 6 CIRCUIT



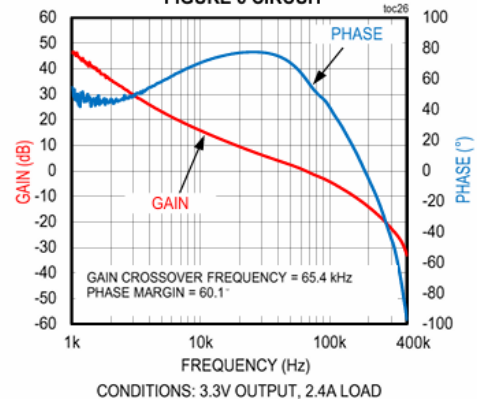
OVERLOAD PROTECTION
FIGURE 5 CIRCUIT



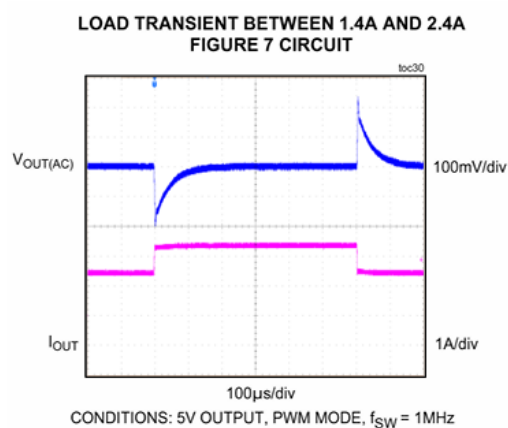
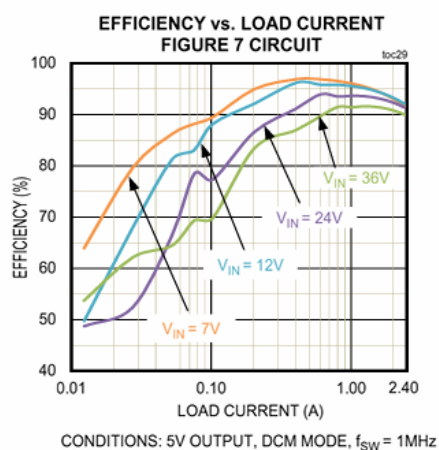
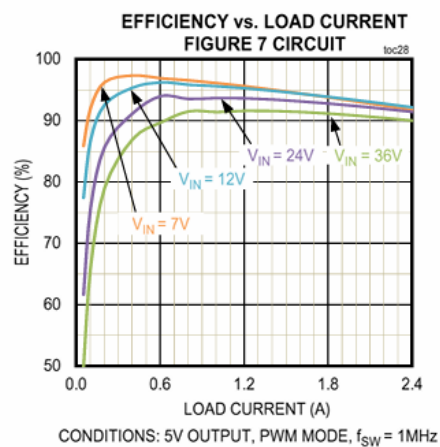
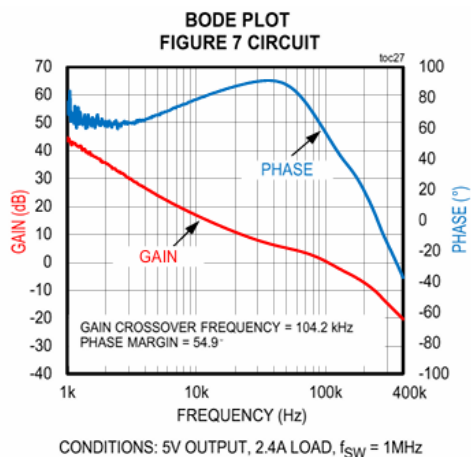
BODE PLOT
FIGURE 5 CIRCUIT



BODE PLOT
FIGURE 6 CIRCUIT



(特に指定のない限り、 $V_{EN/UVLO} = V_{IN} = 24V$ 、 $V_{SGND} = V_{PGND} = 0V$ 、 $C_{VCC} = 2.2\mu F$ 、 $C_{BST} = 0.1\mu F$ 、 $C_{SS} = 6800pF$ 、 $T_A = -40^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$ 。代表値は $T_A = +25^{\circ}C$ での値。特に指定のない限り、電圧は全てSGNDが基準。)



ブロック図

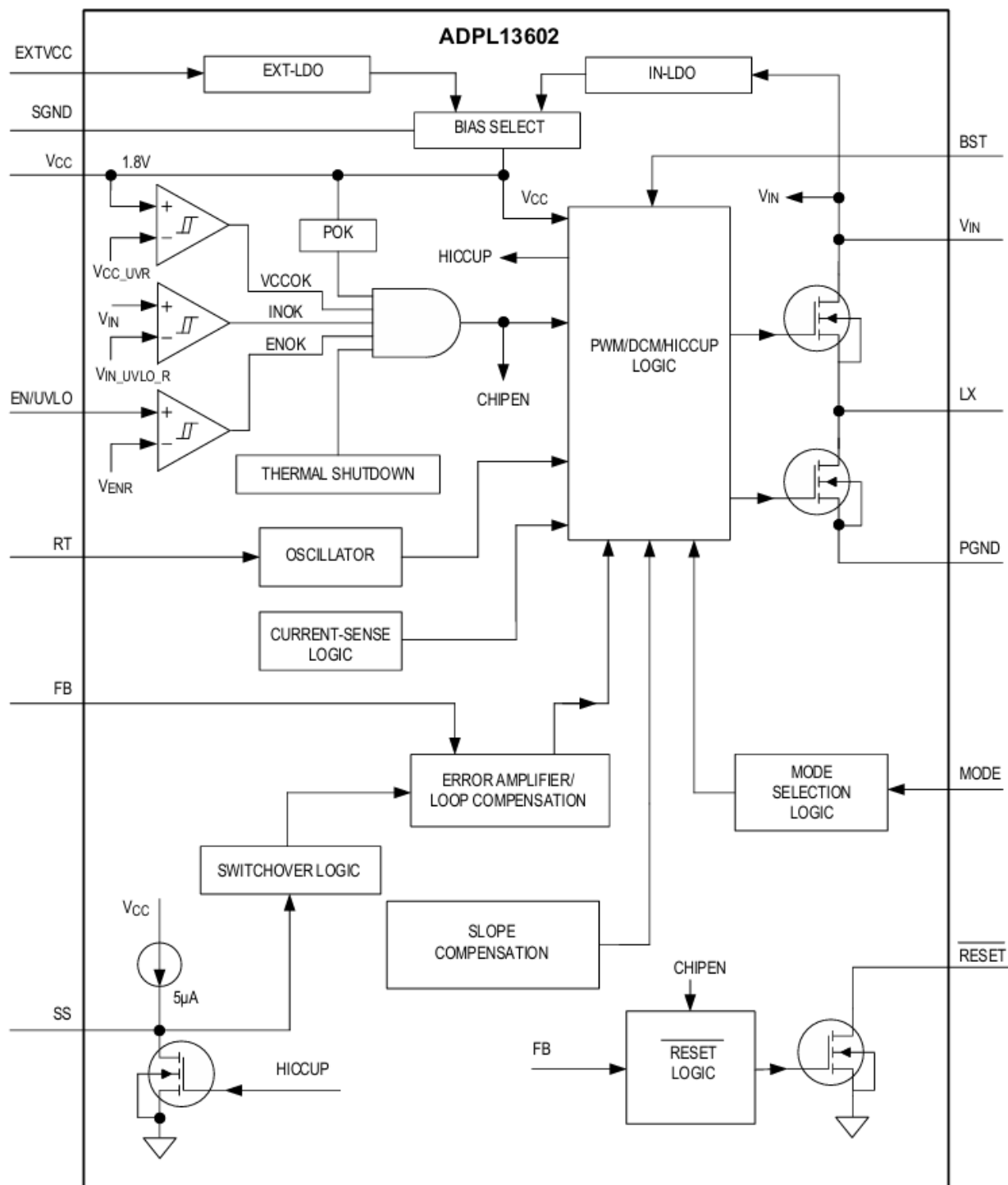


図2. ブロック図

詳細

ADPL13602は、MOSFETを内蔵した高効率の同期整流式降圧DC/DCコンバータです。このデバイスは、3.5V～36Vの入力電圧範囲で最大2.4Aを供給できます。出力電圧範囲にわたる補償機能を内蔵しているため、外付けの補償部品は不要です。-40°C～+125°Cでのフィードバック電圧のレギュレーション精度は±1.5%です。

ADPL13602は、ピーク電流モード制御アーキテクチャを採用しています。内部のトランスコンダクタンス誤差アンプが内部ノードで積分誤差電圧を生成します。そして、PWMコンパレータ、ハイサイド電流検出アンプ、スローブ補償発生器を使用してデューティ・サイクルを設定します。クロックの各立上がりエッジでハイサイドMOSFETがオンになり、適切なデューティ・サイクルか最大デューティ・サイクルに達するまで、もしくはピーク電流制限値が検出されるまで、オンの状態を維持します。ハイサイドMOSFETがオンの間、インダクタ電流は増加します。スイッチング・サイクルの後半の期間は、ハイサイドMOSFETがオフになり、ローサイドMOSFETがオンになります。インダクタ電流が減少すると、インダクタは蓄積したエネルギーを放出して出力に電流を提供します。

このデバイスにはMODEピンがあり、これを用いてデバイスをPWMモードまたはDCMモードで動作させることができます。また、調整可能な入力低電圧ロックアウト、調整可能なソフトスタート、オープン・ドレインRESETによる出力電圧モニタリングの各機能を備えています。ADPL13602は最小オン時間が短いため高いスイッチング周波数を実現でき、また、ソリューション・サイズの小型化が可能です。

モード選択 (MODE)

ADPL13602は、強制PWMおよびDCMの動作モードが可能です。このデバイスは、 V_{IN} 、 V_{CC} 、 $EN/UVLO$ の各電圧がそれぞれのUVLO立上がりスレッシュホールド ($V_{IN_UVLO_R}$ 、 V_{CC_UVR} 、 V_{ENR}) を超えると、パワーアップ時に検出されたMODEピンの設定に基づいて必要な動作モードに入ります。MODEピンの状態がハイ ($> V_{M_DCM}$) の場合、デバイスは軽負荷時にDCMモードで動作します。MODEピンの状態がロー ($< V_{M_PWM}$) の場合は、デバイスは全ての負荷に対し定周波数PWMモードで動作します。詳細については、[仕様](#)の表のMODE SELECTIONを参照してください。

PWMモードの動作

PWMモードでは、インダクタ電流が負になることがあります。PWM動作は全ての負荷に対し定周波数動作を行うので、スイッチング周波数の影響を受けやすいアプリケーションに適しています。ただし、PWMモード動作は、軽負荷時にはDCMモード動作より効率が低くなります。

DCMモードの動作

DCMモードでは、インダクタ電流が軽負荷時に不連続になることがあります。インダクタ電流は負になることはできません。降圧コンバータが無負荷に近い状態で動作している場合、スイッチング・パルスはスキップされます。DCM動作は、軽負荷時にはPWM動作より効率が向上します。DCMモードでの定常状態出力電圧リップルは、PWMモードの場合と同程度です。

リニア・レギュレータ (V_{CC} およびEXTVCC)

ADPL13602は、 V_{CC} に給電する2つの低ドロップアウト (LDO) リニア・レギュレータを内蔵しています。一方のLDOは V_{IN} から給電され (IN-LDO)、もう一方のLDOはEXTVCCから給電されます (EXT-LDO)。IN-LDOは、パワーアップ時または $EN/UVLO$ ピンの電圧が再投入された場合に有効化されます。EXTVCCの電圧に応じて、一方のLDOだけが動作します。EXTVCCが2.4V (代表値) より高い場合は、 V_{CC} はEXT-LDOから給電されます。EXTVCCから V_{CC} に給電することにより、入力電圧がより高い場合の効率が向上します。 V_{CC} の出力電圧の代表値は1.8Vです。 V_{CC} は、2.2 μ Fの低ESRセラミック・キャパシタを使用してSGNDにバイパスします。 V_{CC} は、内部ブロックとローサイドMOSFETドライバに給電します。また、外部ブートストラップ・キャパシタの再充電も行います。

ADPL13602は、低電圧ロックアウト回路を採用しており、 V_{CC} が立下がりスレッショルド ($V_{CC_UVL} - V_{CC_HYS}$) を下回ると、降圧コンバータを強制的にオフにします。降圧コンバータは、 $V_{CC} > V_{CC_UVL}$ になるとすぐにまた有効化できます。65mV（代表値）のUVLOヒステリシスにより、パワーアップ／パワーダウン時のチャタリングを防止します。

降圧コンバータの出力がEXTVCCピンに接続されるアプリケーションでは、出力がグラウンドに短絡した場合、通常の機能に影響を及ぼすことなくEXT-LDOからIN-LDOにシームレスに切り替わります。また、出力短絡状態が生じたときにEXTVCCピンが絶対最大定格（-0.3V）に達することがないように、EXTVCCピンとSGNDの間に0.1μFのローカル・バイパス・キャパシタを追加し、降圧レギュレータの出力ノードとEXTVCCピンの間に4.7Ωの抵抗を追加します。EXTVCCピンを使用しない場合はSGNDに接続します。

スイッチング周波数の設定（RT）

デバイスのスイッチング周波数は、RTピンとSGNDの間に接続した抵抗を使用して、400kHz～1.5MHzの値に設定できます。スイッチング周波数（ f_{SW} ）とRTピンに接続した抵抗（ R_{RT} ）の関係は、次式によって表されます。

$$R_{RT} = \frac{20625}{f_{SW}} - 1$$

ここで、 R_{RT} の単位はkΩ、 f_{SW} の単位はkHzです。RTピンをオープンのままにすると、デバイスはデフォルトのスイッチング周波数500kHzで動作します。いくつかの一般的なスイッチング周波数のRT抵抗の値については、表4を参照してください。

表 4. スwitchング周波数とRT抵抗の関係

SWITCHING FREQUENCY (kHz)	RT RESISTOR (kΩ)
400	51.1
500	Open
500	40.2
1500	12.7

動作入力電圧範囲

所定の出力電圧設定に対する動作入力電圧の最小値と最大値は、次式で計算します。

$$V_{IN(MIN)} = \frac{V_{OUT} + (I_{OUT(MAX)} \times (R_{DCR(MAX)} + R_{DS_ONL(MAX)}))}{1 - (f_{SW(MAX)} \times t_{OFF_MIN(MAX)})} + (I_{OUT(MAX)} \times (R_{DS_ONH(MAX)} - R_{DS_ONL(MAX)}))$$

$$V_{IN(MAX)} = \frac{V_{OUT}}{f_{SW(MAX)} \times t_{ON_MIN(MAX)}}$$

ここで、

V_{OUT} = 設定された定常状態出力電圧

$I_{OUT(MAX)}$ = 最大負荷電流

$R_{DCR(MAX)}$ = 最も厳しい条件でのインダクタのDC抵抗

$f_{SW(MAX)}$ = 最高スイッチング周波数

$t_{OFF_MIN (MAX)}$ = 最も厳しい条件での最小スイッチ・オフ時間 (150ns)

$t_{ON_MIN (MAX)}$ = 最も厳しい条件での最小スイッチ・オン時間 (90ns)

$R_{DS_ONL (MAX)}$ および $R_{DS_ONH (MAX)}$ = 最も厳しい条件でのローサイドおよびハイサイドの内蔵MOSFETのオン抵抗

入力電圧に適用できる最大スルー・レートは30V/ μ secです。

過電流保護 (OCP) / ヒカップ・モード

ADPL13602は堅牢な過電流保護 (OCP) 機能を備えており、過負荷条件下および出力短絡条件下のデバイスを保護します。

OCP機能は、起動時にヒステリシス電流制御を用いてデバイスを保護します。起動時間は、設定されたソフトスタート時間と2048サイクル分の設定スイッチング周波数クロックの和です。インダクタ電流が I_{PEAK_LIMIT} (代表値3.4A) に達するとハイサイドMOSFETがオフになり、ローサイドMOSFETがオンになります。インダクタ電流が $0.85 \times I_{PEAK_LIMIT}$ 未満に低下した後、次のクロックの立上がりエッジでローサイドMOSFETがオフになり、ハイサイドMOSFETがオンになります。

定常状態では、デバイスはサイクル毎のピーク電流制限を受けて動作し、インダクタ電流が I_{PEAK_LIMIT} を超えるとハイサイドMOSFETがオフになりローサイドMOSFETがオンになります。次のクロックの立上がりエッジで、ローサイド・スイッチがオフになり、ハイサイド・スイッチがオンになります。起動時間が経過した後であれば、フォルト条件によってフィードバック電圧が V_{FB_HICF} 未満に低下した場合はどの時点でも、ヒカップ・モードがトリガされます。

ヒカップ・モードでは、ソフトスタートが再試行される前に、ヒカップ・タイムアウト時間 (設定スイッチング周波数の32,768クロック・サイクル) の間、スイッチングを一時停止することによりコンバータを保護します。起動中は、フィードバック電圧が V_{FB_HICF} を超えない場合、デバイスはヒステリシス制御で動作を続けます。ヒカップ動作モードにより、出力短絡状態での低平均消費電力が確保されます。

RESET出力

このデバイスは、内蔵RESETコンパレータによって出力電圧の状態をモニタします。オープン・ドレインのRESET出力には、外付けのプルアップ抵抗が必要です。RESETは、FB電圧が V_{FB_OKR} を超えると、1024スイッチング・サイクル後にハイ (高インピーダンス) になります。FB電圧が V_{FB_OKF} 未満に低下するとローになります。サーマル・シャットダウン中や、EN/UVLOピンがEN/UVLO立下がりスレッシュホールド ($V_{ENR} - V_{EN_HYS}$) を下回った場合にも、RESETはローになります。

プリバイアス出力

プリバイアス出力状態では、コンバータが出力から電流をシンクしないようにハイサイド・スイッチとローサイド・スイッチの両方がオフになります。ハイサイドおよびローサイドのスイッチは、PWMコンパレータが最初のPWMパルスを発行するまでスイッチングを開始せず、パルスが発行された時点で開始します。その後、出力電圧は内部リファレンスに合わせて目標値まで滑らかに上昇します。

サーマル・シャットダウン保護

サーマル・シャットダウン保護機能はデバイスのジャンクション温度を制限します。デバイスのジャンクション温度が+160°Cを超えると、オンチップのサーマル・センサがデバイスをシャットダウンして冷却します。ジャンクション温度が20°C下がると、デバイスはソフトスタートによってオンになります。通常動作時に不要なサーマル・シャットダウンをトリガしないように、総消費電力は注意深く評価してください (消費電力のセクションを参照)。

アプリケーション情報

入力キャパシタの選択

入力フィルタ・キャパシタは、電源から引き出されるピーク電流を抑制し、回路のスイッチングによって入力に生じるノイズおよび電圧リップルを低減します。入力キャパシタの実効電流条件 (I_{RMS}) は次式で定義されます。

$$I_{RMS} = I_{OUT(MAX)} \times \frac{\sqrt{V_{OUT} \times (V_{IN} - V_{OUT})}}{V_{IN}}$$

ここで、 $I_{OUT(MAX)}$ は最大負荷電流です。 I_{RMS} は、入力電圧が出力電圧の2倍 ($V_{IN} \approx 2 \times V_{OUT}$) になったときに最大値をとるため、次式が成り立ちます。

$$I_{RMS(MAX)} = \frac{I_{OUT(MAX)}}{2}.$$

最適な長期信頼性を得るには、実効入力電流での温度上昇が+10°C未満になる入力キャパシタを選択します。入力キャパシタには、高リップル電流に対応した低ESRセラミック・キャパシタを使用します。X7Rキャパシタは、温度安定性に優れるため、工業用アプリケーション向けに推奨します。入力容量は次の式を用いて計算します。

$$C_{IN} = \frac{I_{OUT(MAX)} \times D \times (1 - D)}{\eta \times f_{SW} \times \Delta V_{IN}}$$

ここで、

$D = V_{OUT}/V_{IN}$ はコンバータのデューティ比

f_{SW} = スwitchング周波数

ΔV_{IN} = 許容入力電圧リップル

η = 効率

電源がデバイスの入力から離れて配置されているアプリケーションでは、適切な電解キャパシタをセラミック・キャパシタと並列に追加して、長い入力電力パスと入力セラミック・キャパシタのインダクタンスによって生じる電位振動を、必要に応じて減衰させる必要があります。

インダクタの選択

デバイスを動作させるには、インダクタンス値 (L)、インダクタ飽和電流 (I_{SAT})、DC抵抗 (R_{DCR}) の3つの主要なインダクタ・パラメータを規定する必要があります。インダクタ値は、スイッチング周波数と出力電圧によって、次のように求められます。

$$L = \frac{1.5 \times V_{OUT}}{f_{SW}}$$

ここで、 V_{OUT} と f_{SW} は公称値で、 f_{SW} の単位はHzです。この式の計算値に最も近い値を持つインダクタを選択します。サイズが許容範囲内で、かつDC抵抗が可能な限り低い低損失のインダクタを選択します。インダクタの定格飽和電流 (I_{SAT}) は、ピーク電流制限値 I_{PEAK_LIMIT} を超えた場合以外には飽和が生じないよう、十分に高くしてください。

出力キャパシタの選択

工業用アプリケーションでは、温度安定性に優れたX7Rセラミック出力キャパシタが適しています。出力キャパシタは、アプリケーションにおける最大出力電流の40%の負荷ステップに対応できる大きさにします。これにより、出力電圧の変動を出力電圧の3%以内に抑えられます。必要な最小出力容量は次のように計算されます。

$$C_{OUT} = \frac{1}{2} \times \frac{I_{STEP} \times t_{RESPONSE}}{\Delta V_{OUT}}$$

$$t_{RESPONSE} \cong \frac{0.33}{f_c}$$

ここで、

I_{STEP} = 負荷電流ステップ

$t_{RESPONSE}$ = コントローラの応答時間

ΔV_{OUT} = 許容される出力電圧変動

f_c = クローズドループの目標クロスオーバー周波数

f_{sw} = スイッチング周波数

スイッチング周波数が900kHz以下の場合は、 f_{sw} の1/9となる f_c を選択します。スイッチング周波数が900kHzを超える場合は、100kHzとなる f_c を選択します。出力キャパシタを選択する際には、DCバイアス電圧に関するセラミック・キャパシタの実際のディレーティングを考慮する必要があります。ディレーティング曲線は、主要なセラミック・キャパシタのメーカーすべてで入手可能です。

ソフトスタート・キャパシタの選択

このデバイスは、調整可能なソフトスタート動作によって突入電流を低減します。SSピンとSGNDの間にキャパシタを接続して、ソフトスタート時間を設定します。選択した出力容量（ C_{SEL} ）および出力電圧（ V_{OUT} ）から、ソフトスタート・キャパシタに必要な最小値が次のように求められます。

$$C_{SS} \geq 28 \times 10^{-6} \times C_{SEL} \times V_{OUT}$$

ソフトスタート時間（ t_{ss} ）とSSに接続されたキャパシタ（ C_{ss} ）の関係は、次式で表されます。

$$t_{ss} = \frac{C_{ss}}{8.325 \times 10^{-6}}$$

例えば、ソフトスタート時間を0.82msに設定する場合、SSピンとSGNDの間に6.8nFのキャパシタを接続します。起動中、デバイスはFBピンが0.44Vを上回るまで、設定されたスイッチング周波数の半分で動作します。

入力低電圧ロックアウト・レベルの設定

このデバイスでは、入力低電圧ロックアウト・レベルを調整可能です。 V_{IN} とSGNDの間に接続された抵抗分圧器を使って、デバイスがオンになる電圧を設定します（図3を参照）。分圧器の中間ノードはEN/UVLOに接続します。R1に3.3MΩを選択し、次式によりR2を計算します。

$$R2 = \frac{R1 \times 1.25}{(V_{INU} - 1.25)}$$

ここで、 V_{INU} はデバイスをオンにするために必要な入力電圧レベルです。 V_{INU} は、 $0.8 \times V_{OUT}$ より高くして、スロー・パワーアップ（ソフトスタートより低速）／スロー・パワーダウン時にヒックアップが生じないようにしてください。EN/UVLOピンが外部の信号源で駆動されている場合は、信号源の出力ピンとEN/UVLOピンの間に最小 $1k\Omega$ の直列抵抗を接続して、ラインの電圧リングングを低減してください。

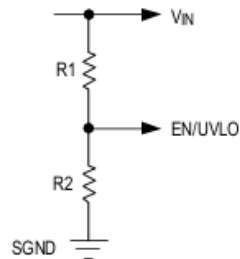


図3. 入力低電圧ロックアウトの設定

出力電圧の調整

降圧コンバータの出力電圧は、1Vから V_{IN} の90%の範囲で設定できます。出力電圧は、出力電圧ノード（ V_{OUT} ）とSGNDの間に接続した抵抗分圧器を使用して設定します（図4参照）。分圧器の中間ノードはFBピンに接続します。次の手順に従って、抵抗分圧器の値を選択します。

出力とFBピンの間の抵抗 R_{TOP} は次のように計算します。

$$R_{TOP} = \frac{227}{(f_c \times C_{OUT_SEL})}$$

ここで、

R_{TOP} の単位は $k\Omega$

f_c = クロスオーバー周波数 (Hz)

C_{OUT_SEL} = 選択した出力キャパシタのDCバイアス電圧における実際の容量 (F)

FBピンとSGNDの間の抵抗 R_{BOT} は次のように計算します。

$$R_{BOT} = \frac{R_{TOP} \times 0.6}{(V_{OUT} - 0.6)}$$

R_{BOT} の単位は $k\Omega$ です。

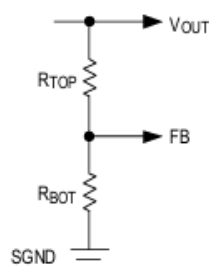


図4. 出力電圧の設定

消費電力

ある動作条件において、デバイスの温度上昇をもたらす電力損失は次のように見積もることができます。

$$P_{\text{LOSS}} = \left(P_{\text{OUT}} \times \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \right) - (I_{\text{OUT}}^2 \times R_{\text{DCR}})$$
$$P_{\text{OUT}} = V_{\text{OUT}} \times I_{\text{OUT}}$$

ここで、

P_{OUT} = 出力電力

η = コンバータの効率

R_{DCR} = インダクタのDC抵抗（代表的な動作条件での効率に関する詳細は、[代表的な性能特性](#)のセクションを参照してください）。

標準的な多層基板におけるパッケージの熱性能の指標を以下に示します。

$\theta_{\text{JA}} = 38^\circ\text{C/W}$

$\theta_{\text{JC}} = 4^\circ\text{C/W}$

デバイスのジャンクション温度は、任意の最大周囲温度（ $T_{\text{A(MAX)}}$ ）において、次式を使用して見積もることができます。

$$T_{\text{J(MAX)}} = T_{\text{A(MAX)}} + (\theta_{\text{JA}} \times P_{\text{LOSS}})$$

アプリケーションが温度管理システムを備えており、適切なヒート・シンクの使用によりデバイスの露出パッドが所定の温度（ $T_{\text{EP(MAX)}}$ ）に保たれている場合、デバイスのジャンクション温度は、任意の最大周囲温度において、次のように見積もることができます。

$$T_{\text{J(MAX)}} = T_{\text{EP(MAX)}} + (\theta_{\text{JC}} \times P_{\text{LOSS}})$$

注：ジャンクション温度が+125°Cを超えると、動作寿命が短くなります。

プリント回路基板（PCB）レイアウト時のガイドライン

パルス電流が流れる全ての接続は、できるだけ短く、かつ幅広にしてください。電流の di/dt が高いため、これらの接続のインダクタンスは必ず最小限の値に抑えてください。電流伝送ループのインダクタンスはループに囲まれた領域の面積に比例するため、ループ領域を非常に小さくすれば、インダクタンスは減少します。また、電流ループの面積を小さくすれば放射電磁干渉（EMI）も抑えられます。

入力フィルタのセラミック・キャパシタは、ICの V_{IN} ピンの近くに配置する必要があります。これにより、パターン・インダクタンスの影響をできる限り除去することができ、ICに低ノイズの電圧が供給されます。 V_{CC} ピンのバイパス・キャパシタも、パターン・インピーダンスの影響を低減するためにピンの近くに配置する必要があります。

ICの周囲に配線を引き回すときは、信号グラウンドとスイッチング電流用の電源グラウンドを必ず分離しておきます。これらは、スイッチング動作が最小限となる場所で接続する必要があります。それにより、信号グラウンドを低ノイズに維持できます。電源グラウンド・プレーンは、できる限り連続している（切れ目がない）ことが必要です。大きなスイッチング電流を伝送するパターンをグラウンド・プレーンの不連続部上に直接配置しないでください。

PCBレイアウトは、設計における熱性能にも影響を与えます。効率的な放熱のためには、多数のサーマル・スルーボットまたはビアを、デバイスの露出パッド下の大きなプレーンに接続する必要があります。

初回で成功するレイアウト例については、ADPL13602評価用キットのレイアウト（www.analog.comから入手可能）を参照してください。

代表的なアプリケーション回路

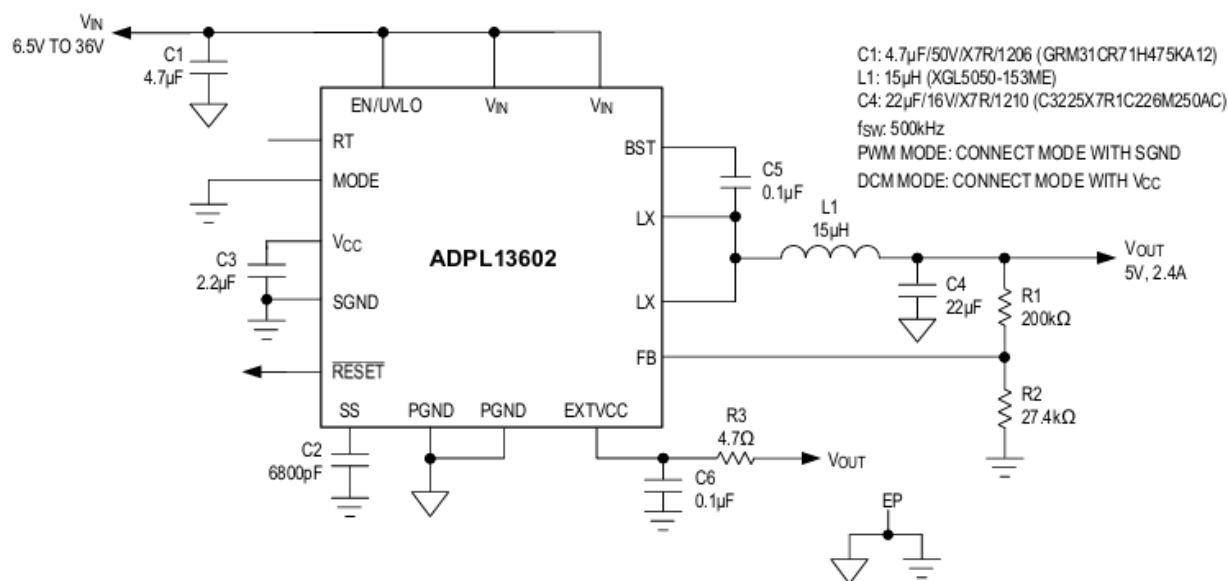


図5. 5V出力、スイッチング周波数500kHz

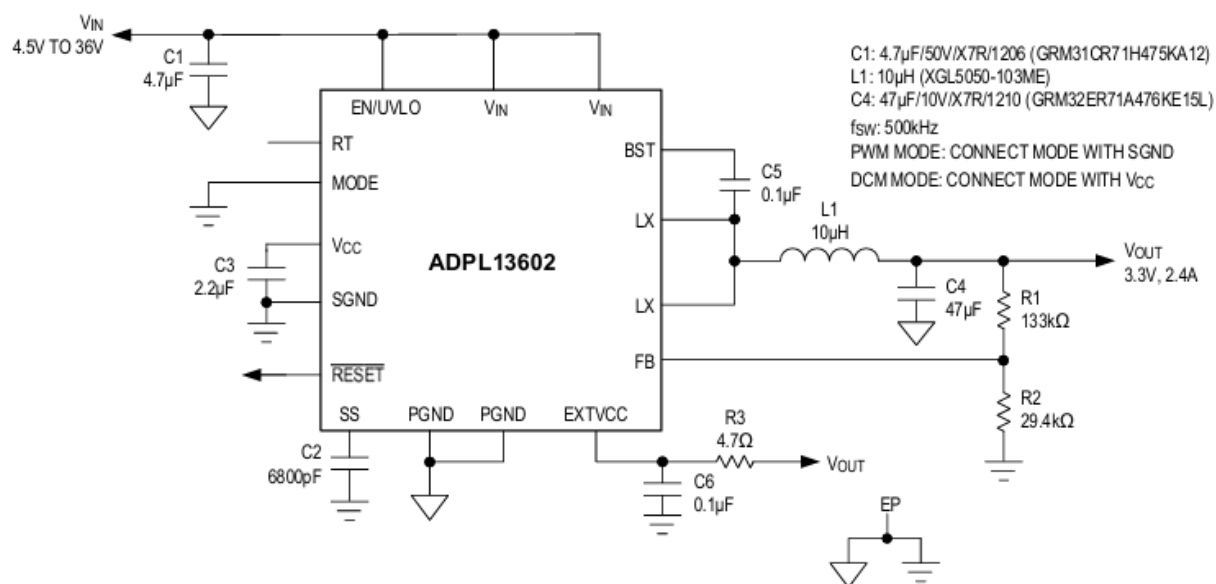


図6. 3.3V出力、スイッチング周波数500kHz

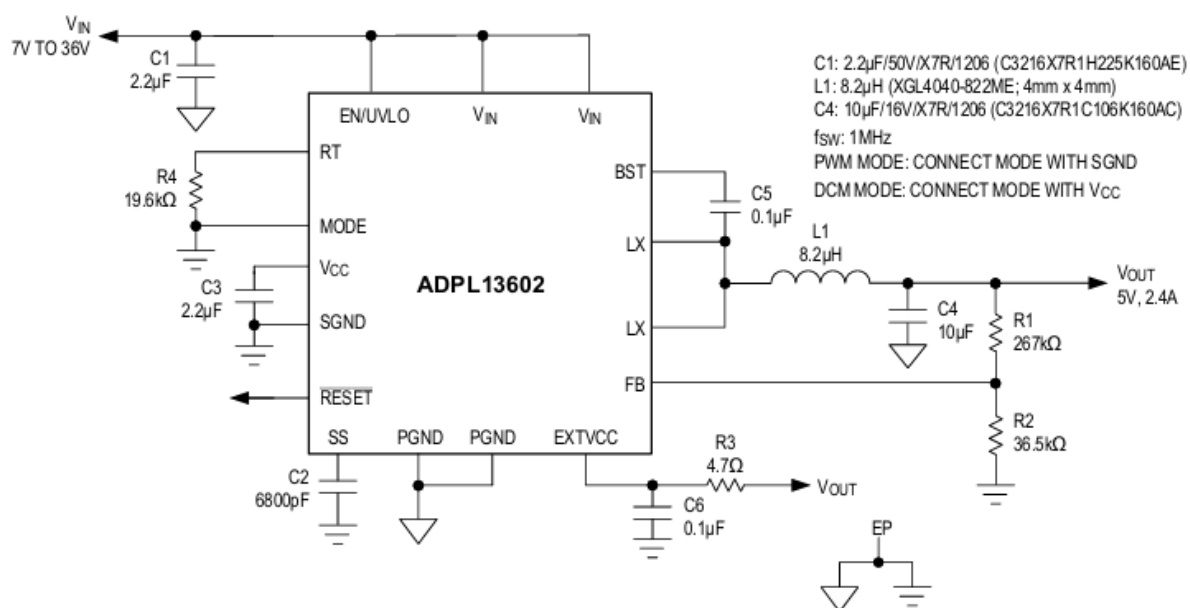
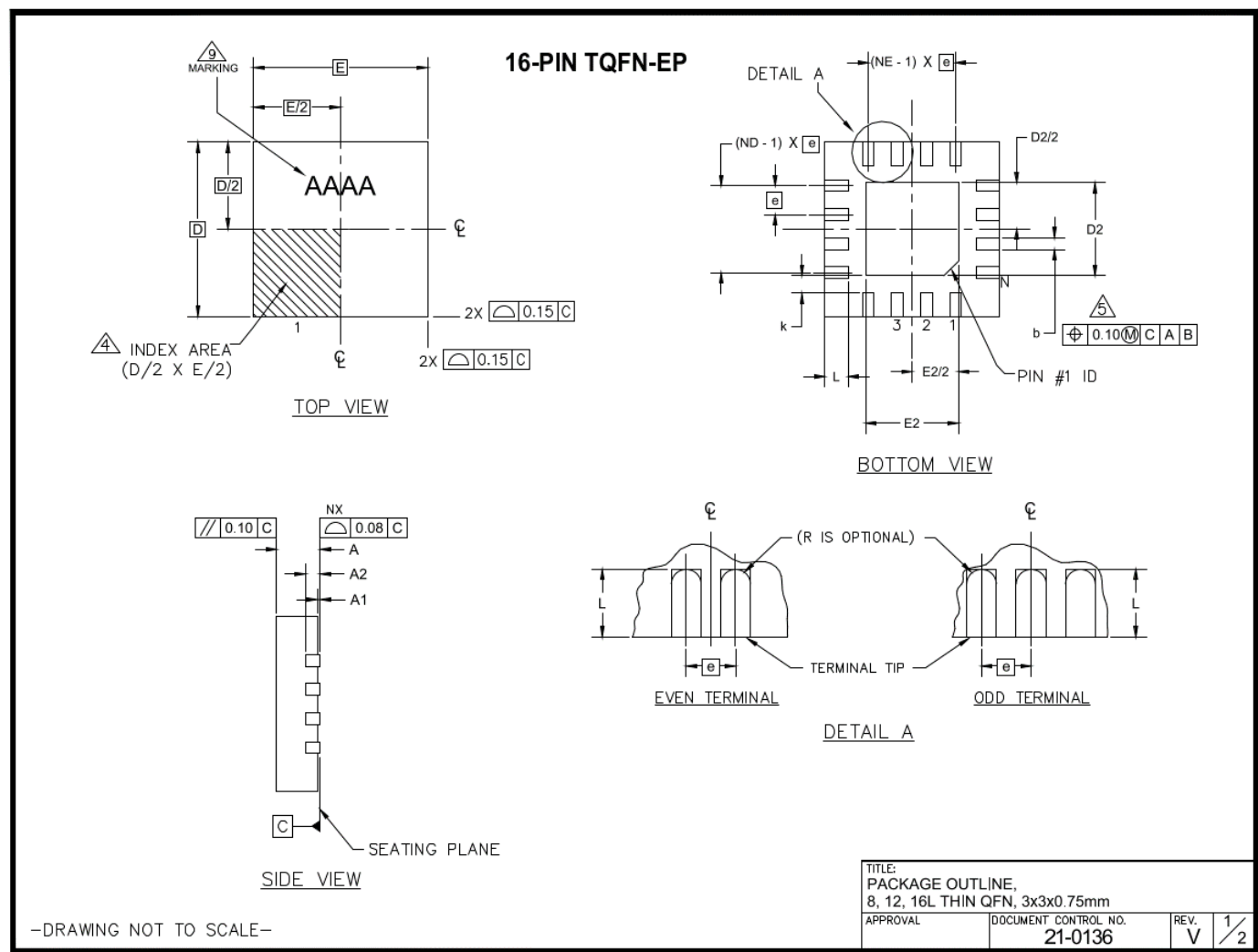


図7. 5V出力、スイッチング周波数1MHz

外形寸法



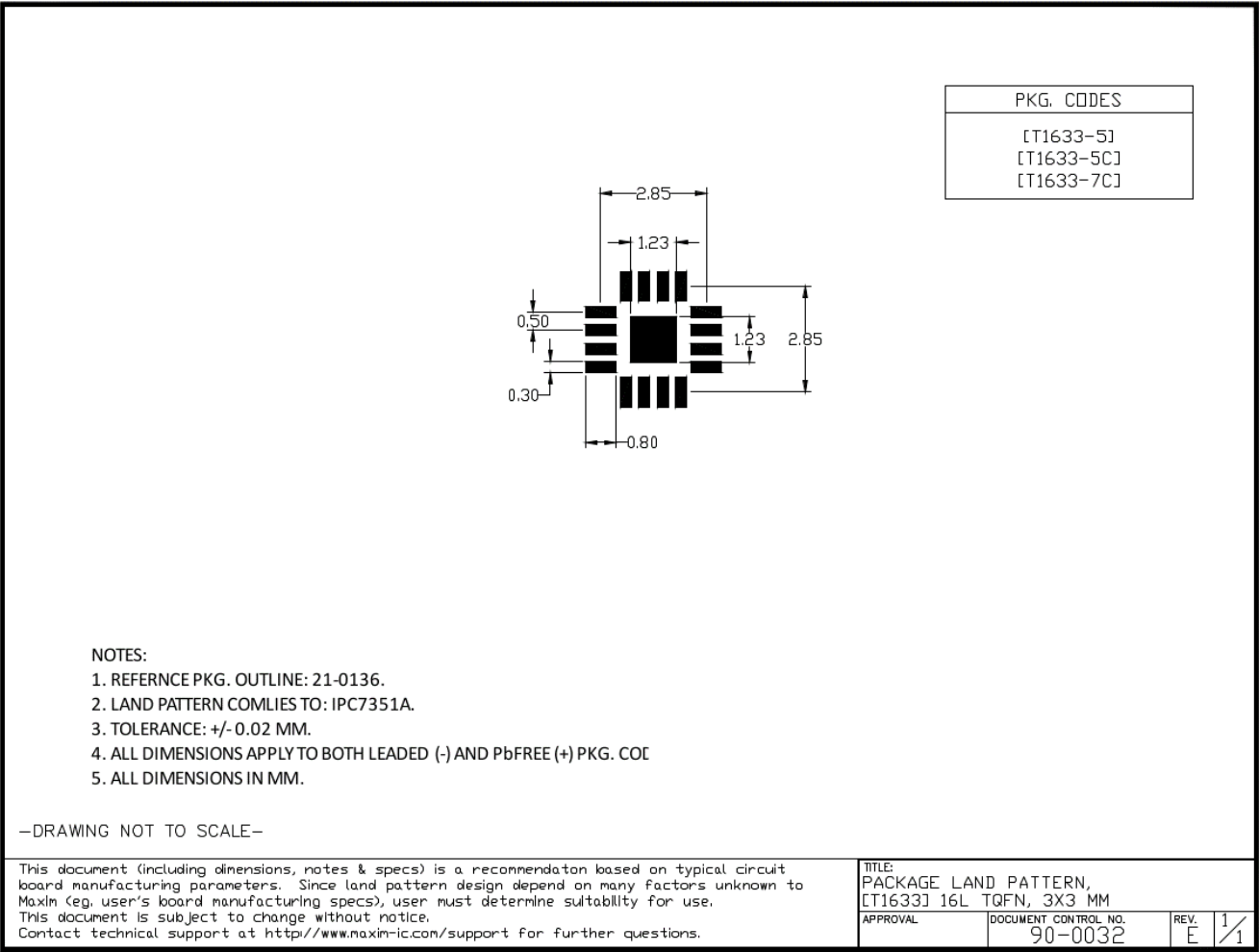
Package Code: T1633-5C			
PKG	16L 3x3		
REF	MIN.	NOM.	MAX.
A	0.70	0.75	0.80
b	0.20	0.25	0.30
D	3.00 BSC		
E	3.00 BSC		
e	0.50 BSC		
L	0.25	0.35	0.45
N	16		
ND	4		
NE	4		
A1	0	0.02	0.05
A2	0.20 REF		
k	0.25	-	-
D2	0.95	1.10	1.25
E2	0.95	1.10	1.25

NOTES:

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS. ANGLES ARE IN DEGREES.
2. DIMENSIONING & TOLERANCING CONFORM TO ASME Y14.5-2009.
3. N IS THE TOTAL NUMBER OF TERMINALS.
4. THE TERMINAL #1 IDENTIFIER AND TERMINAL NUMBERING CONVENTION SHALL CONFORM TO JESD 95-1 SPP-012. DETAILS OF TERMINAL #1 IDENTIFIER ARE OPTIONAL, BUT MUST BE LOCATED WITHIN THE ZONE INDICATED. THE TERMINAL #1 IDENTIFIER MAY BE EITHER A MOLD OR MARKED FEATURE.
5. DIMENSION b APPLIES TO METALLIZED TERMINAL AND IS MEASURED BETWEEN 0.20 mm AND 0.25 mm FROM TERMINAL TIP.
6. ND AND NE REFER TO THE NUMBER OF TERMINALS ON EACH D AND E SIDE RESPECTIVELY.
7. DEPOPULATION IS POSSIBLE IN A SYMMETRICAL FASHION.
8. DRAWING CONFORMS TO JEDEC MO220 REVISION C. T1233-4, T1233-4C, T1233-5C, T1633-5, T1633-5C AND T1633-7C WITH CUSTOM LEAD DIMENSION.
9. MARKING SHOWN IS FOR PACKAGE ORIENTATION REFERENCE ONLY.
10. NUMBER OF LEADS SHOWN ARE FOR REFERENCE ONLY.
11. WARPAGE NOT TO EXCEED 0.10mm.
12. MATERIAL MUST BE COMPLIANT WITH MAXIM SPECIFICATION 10-0131 FOR SUBSTANCE CONTENT, MUST BE Eu ROHS COMPLIANT WITHOUT EXEMPTION AND PB-FREE.
13. ALL DIMENSIONS APPLY TO BOTH LEADED (-) AND Pb FREE (+) PARTS.

TITLE: PACKAGE OUTLINE, 8, 12, 16L THIN QFN, 3x3x0.75mm			
APPROVAL	DOCUMENT CONTROL NO. 21-0136	REV. V	2/2

-DRAWING NOT TO SCALE-



最新のパッケージ図については、<https://www.analog.com/jp/design-center/packaging-quality-symbols-footprints.html>を参照してください。

パッケージ・コードの「+」、「#」、「-」は、RoHSステータスのみを示しています。パッケージ図面には異なるサフィックスが表示される場合がありますが、図面はRoHSステータスに関係なくパッケージに固有のものです。

表 5. 16 TQFN-EPの熱抵抗

Thermal Resistance, Four-Layer Board (Note 4)	
Junction-to-Ambient (θ_{JA})	38°C/W
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC})	4°C/W

Note 4 : パッケージの熱抵抗は、空気流のない状態でADPL13602評価用キットを用いて求めています。

オーダー・ガイド

PART NUMBER	PIN-PACKAGE
ADPL13602BATE+	16 TQFN-EP* (3mm x 3mm)
ADPL13602BATE+T	16 TQFN-EP* (3mm x 3mm)

+は鉛（Pb）フリー／RoHS準拠のパッケージであることを示します。
T = テープのリール巻き。
*EP = 露出パッド。

