ELM631FA 同期昇降圧 4 スイッチ型 DC/DC コンバータ

■概要

ELM631FA は、入力範囲が広い完全統合型の 4 スイッチトランジスタを内蔵した同期型昇降圧 DC-DC コンバータです。ピーク電流検出とコンスタントオフ時間制御により、昇圧、昇降圧、降圧の動作間のシームレスな移行制御が可能です。ピーク電流検出には、コイルの DC 抵抗による電流検出方式を採用し、外部電流検出抵抗なしで高効率制御を行います。外部位相補償回路により広範囲の動作条件で安定した制御が可能です。ソフトスタート回路、最大スイッチ電流制限、入力電圧低下検出、過電圧出力検出、過負荷 - 出力ショート保護、過熱保護などの付属機能が内蔵しています。これらの内蔵機能により、使いやすさが大幅に向上し、また、外付け部品を削減でき実装スペースを抑えることができます。ELM631FA は 28 ピン QFN5mm×5mm パッケージを使用します。

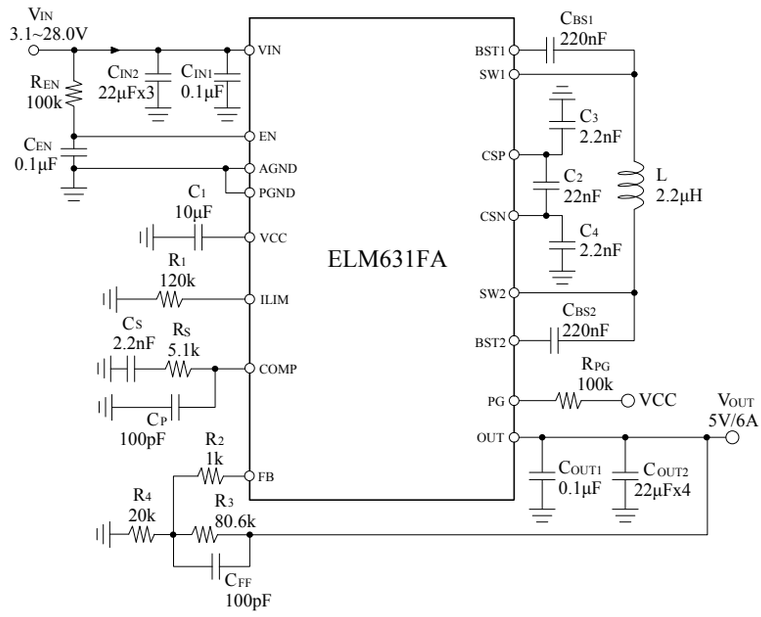
■特長

- コイル DC 抵抗電流検出方式
- プログラム可能な入力スイッチ電流制限
- EN 機能
- パワーグッド PG 出力
- スイッチサイクルごとに電流制限
- ヒカップ短絡保護
- 入力電圧範囲　：3.1V ～ 28.0V
- 出力電圧範囲　：1.0V ～ 28.0V
- スイッチトランジスタ　：17mΩ/20A Nch MOS×4個
- 出力電流　：5A (入力電圧 4.5V ～ 20V)
  6A (入力電圧 20V 以上)
- 最大効率　：97.5%
- スイッチ周波数　：600kHz
- 過熱保護　：155℃
- パッケージ　：QFN28-5×5

■用途

- USB タイプ C ハブ
- 5V、9V、12V、20V、24V 電源用
- PC 用 USB-PD、Thunderbolt
- パワーバンクおよび電子タバコ
- タブレット用アクセサリ
- 産業用バッテリー駆動システム

■標準回路図



■絶対最大定格値 (1)

項目	記号	規格値	単位
VIN - AGND 端子間電圧	V_{IN}	-0.3 ～ +30.0	V
VOUT - AGND 端子間電圧	V_{OUT}	-0.3 ～ +30.0	V
EN - AGND 端子間電圧	V_{EN}	-0.3 ～ +30.0	V
CSP - AGND 端子間電圧	V_{CSP}	-0.3 ～ +30.0	V
CSN - AGND 端子間電圧	V_{CSN}	-0.3 ～ +30.0	V
CSP - CSN 端子間電圧	$V_{CSP-CSN}$	-0.3 ～ +0.3	V
SW1 - AGND 端子間電圧	$V_{SW1-AGND}$	-0.3 ～ V_{IN}+0.6	V
SW1 動作電圧 (50ns 連続)	V_{SW1}	-3 ～ V_{IN}+3	V
SW2 - AGND 端子間電圧	$V_{SW2-AGND}$	-0.3 ～ V_{OUT}+0.6	V
SW2 動作電圧 (50ns 連続)	V_{SW2}	3 ～ V_{OUT}+3	V
BST1 - SW1 端子間電圧	$V_{BST1-SW1}$	-0.3 ～ +6.0	V
BST2 - SW2 端子間電圧	$V_{BST2-SW2}$	-0.3 ～ +6.0	V
PGND - AGND 端子間電圧	$V_{PGND-AGND}$	-0.3 ～ +0.3	V
その他端子 - AGND 端子印加電圧	V_{OTHER}	-0.3 ～ +6.0	V
リード温度	T_L	+260	℃
接合温度範囲	T_J	-40 ～ +150	℃
保存温度範囲	T_{STG}	-55 ～ +150	℃
周囲間熱抵抗 (3)、(4)	θ_{JA}	35.6	℃/W
ケース熱抵抗 (3)、(4	θ_{JC}	12.0	
許容損失 (3)、(4)	P_D	3.5	W

■推奨動作条件 (2)

項目	記号	規格値	単位
入力電圧	V_{IN}	+3.1 ～+28.0	V
出力電圧	V_{OUT}	+1 ～ 28	V
動作温度範囲	Top	-40 ～ +85	℃

注意：

(1) 絶対最大定格値を超えるストレスは、デバイスに損傷を与える可能性があります。

(2) 推奨動作条件の範囲外では、機能は保証されません。

(3) JESD51-7、4 層PCB で測定。

(4) 許容最大消費電力は、周囲熱抵抗 θ_{JA}、周囲温度Ta および最大接合部温度T_{J_MAX} の関数です。周囲温度T_A で の最大許容連続消費電力は、P_{D_MAX} =(T_{J_MAX}-T_A)/ θ_{JA} で計算されます。最大許容損失を超えるとチップ温度が上昇し、レギュレータはサーマルシャットダウン状態になります。内部サーマル・シャットダウン回路は、デバイスを恒久的な損傷から保護します。

■セレクションガイド

ELM631FA-N

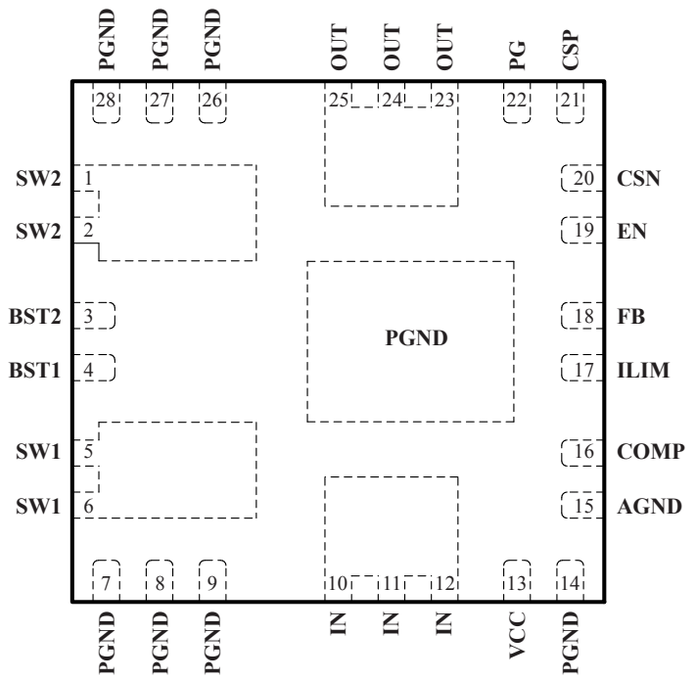
記号		
a	製品番号	ELM631
b	パッケージ	F : QFN28-5×5
c	製品バージョン	A
d	テーピング方向	N : 22 ページ参照

(注) テーピング方向は一種類のみ

ELM631 F A - N
↑ ↑ ↑ ↑
a b c d

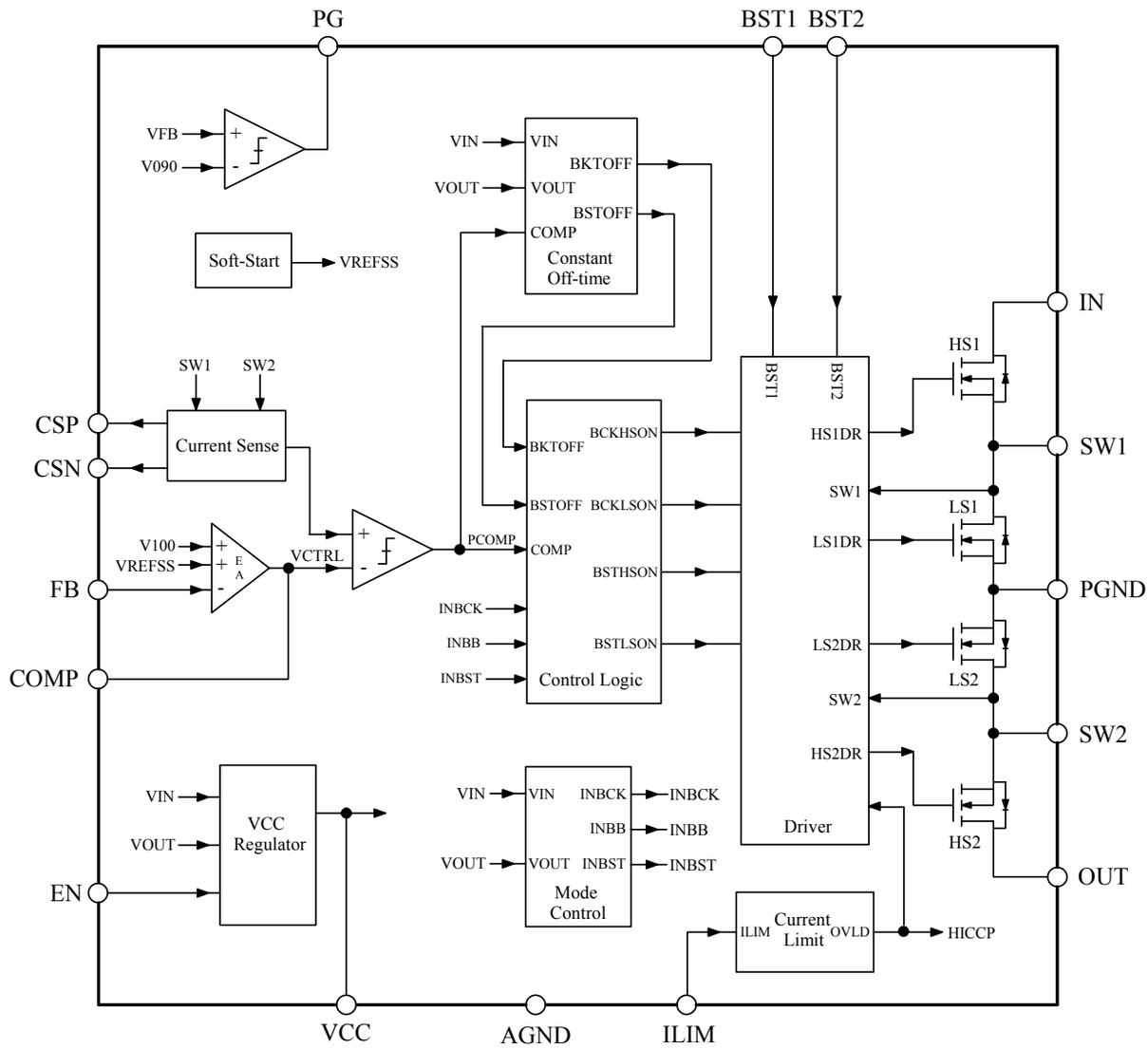
■端子配列図

QFN28-5×5(TOP VIEW)



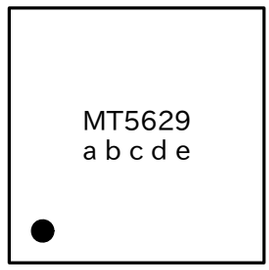
端子番号	端子記号	ピン説明
1、2	SW2	出力側コイルスイッチトランジスタ、 外部コイル接続。
3	BST2	出力側高電圧スイッチゲート駆動回路ブートストラップ電源 。 220nF セラミックコンデンサを BST2 と SW2 間に接続。
4	BST1	入力側高電圧スイッチゲート駆動回路電源。 220nF セラミックコンデンサを BST1 と SW1 間に接続。
5、6	SW1	入力側コイルスイッチトランジスタ、 外部コイル接続。
7、8、9、14 26、27、28	PGND	パワーグランド。 最短で広い配線パターンでグランドプレーンに接続。
10、11、12	IN	電源入力端子。
13	VCC	5V内部レギュレータ(LDO)出力端子、IC内部回路の電源。 10μFセラミックコンデンサをGND間に接続、内部使用のみ外部負荷禁止。
15	AGND	内部アナログ回路のGND端子。
16	COMP	内部トランスコンダクタンスアンプ出力、位相補償用CR回路接続。
17	ILIM	コイルピーク電流値設定用抵抗接続端子、抵抗をGNDに接続。
18	FB	出力電圧設定用、抵抗分圧回路の中点を接続。
19	EN	イネーブル端子、1.45V以上で動作開始、1.35V以下で動作停止。 入力電圧低下検出(UVLO)端子を兼ねる、入力電圧の分圧抵抗中点を接続し、中点電圧1.35VがUVLOの判定値。
20	CSN	コイルDC電流検出端子、マイナス側入力。 コイルのDC抵抗電流検出の項を参照してください。
21	CSP	コイルDC電流検出端子、プラス側入力。 コイルのDC抵抗電流検出の項を参照してください。
22	PG	パワーグッド信号出力、オープンドレイン出力、出力電圧が10%低下するとロー出力。 VCC間に100kΩ抵抗接続。
23、24、25	OUT	コンバータ出力端子。
EP	PGND	放熱露出パッドはPGNDに内部接続。

■ブロック図



■マーキング

QFN28-5x5



マーク	内容
MT5629	製品 ID
a ～ e	組み立てロット番号

■電気的特性

特に指定なき場合、T_{OP}=+25˚C、V_{IN}=12V、V_{OUT}=V_{EN}=5.0V

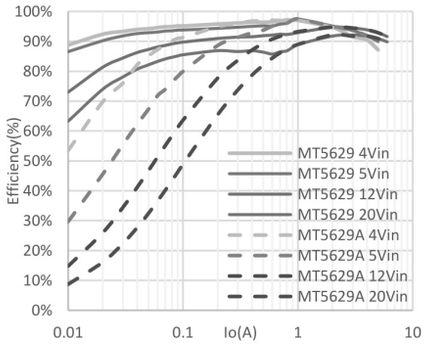
項目	記号	条件	Min.	Typ.	Max.	単位
入力電圧	V_{IN}		3.1	-	28.0	V
出力電圧	V_{OUT}		1	-	28	V
スタンバイ電流	I_{SDIN}	EN = 0V、4V ≦ V_{IN} ≦ 28V	-	1	5	μA
スイッチ静止時電流	I_{QIN}	V_{EN}=5V、V_{FB}=1.1V 4V ≦ V_{IN} ≦ 28V	-	1.2	1.8	mA
低入力電圧検出値	V_{INUV}	V_{IN} 立ち上がり	2.7	2.9	3.1	V
低入力電圧検出ヒステリシス	$V_{INUVHYS}$	立ち下がり時ヒステリシス	-	220	-	mV
過入力電圧検出値	V_{INOV}	V_{IN} 立ち上がり	28	31	34	V
過入力電圧検出ヒステリシス	$V_{INOVHYS}$	立ち下がり時ヒステリシス	-	1.75	-	V
VCC 出力電圧	V_{CC}	無負荷時、V_{IN}>5.5V	4.9	5.2	5.5	V
VCC ドロップアウト電圧	V_{CCDO}	VCC 30mA 負荷時	-	400	-	mV
EN High 検出電圧	V_{ENH}		1.30	1.45	1.60	V
EN Low 検出電圧	V_{ENL}		1.20	1.35	1.50	V
EN シャットダウン検出値	V_{ENSD}		-	-	0.4	V
EN プルダウン抵抗	R_{EN}		0.7	1.0	1.3	MΩ
FB 端子制御基準電圧	V_{FB}		0.985	1.000	1.015	V
FB 端子入力電流	I_{FB}	V_{FB}=1.02V	-50	-	50	nA
誤差アンプ相互コンダクタンス	G_{MEA}	0.98V<V_{FB}<1.02V	160	200	240	μS
COMP 端子 最大ソース電流	I_{SRCEA}	V_{FB}=0.8V	60	80	100	μA
COMP 端子 最大シンク電流	I_{SNKEA}	V_{FB}=1.15V	60	90	120	μA
COMP 端子 プルダウン電流	I_{PDEA}	V_{FB}=1.2V	240	280	320	μA
ソフトスタート時間 (注 1)	T_{SS}		-	2	-	ms
降圧時スイッチ周波数	F_{SWBK}	V_{IN}=12V、V_{OUT}=5V、I_{OUT}=2A	450	600	750	kHz
昇圧時スイッチ周波数	F_{SWBS}	V_{IN}=5V、V_{OUT}=12V、I_{OUT}=1A	500	650	800	kHz
電源側スイッチオン抵抗 (注 1)	R_{ONHS}		-	17	-	mΩ
グランド側スイッチオン抵抗 (注 1)	R_{ONLS}					
電源側スイッチリーク電流	I_{LKGHS}	V_{EN}=0; V_{IN}=V_{OUT}=28V V_{SW1}=V_{SW2}=0V	-	10	50	nA
グランド側スイッチリーク電流	I_{LKGLS}	V_{EN}=0; V_{IN}=V_{OUT}=28V V_{SW1}=V_{SW2}=28V	6	12	18	μA
スイッチ最大電流検出電圧設定値	V_{HSPKP}	R_{ILIM}=120kΩ	220	270	320	mV
パワーグッド信号 (PG) 立ち上がり電圧	V_{PGTH}	VFB 立ち上がり PG: Low から High Z	85	90	95	%
パワーグッド信号 (PG) 立ち下がり電圧	V_{PGHYS}	VFB 立ち下がり PG: High Z から Low	-	3	-	%
PG 端子 Low 出力電圧	V_{PGLO}	V_{FB}=0.8V、PG シンク 1mA	-	0.2	0.3	V
PG 端子リーク電流	I_{LKGPG}	V_{FB}=1.1V、V_{PG}=5V	-	10	100	nA
CSP、CSN 端子入力電流	I_{CSP}、I_{CSN}	V_{EN}=2V; V_{IN}=V_{OUT}=12V V_{CSP}=V_{CSN}=5V	3	6	9	μA
電流検出アンプ利得	A_{CS}	V_{CSP}-V_{CSN}=50mV	10	12	14	V/V
内部過熱保護しきい値	T_{SD}	(注 1)	-	155	-	℃
内部過熱保護ヒステリシス	T_{SDHYS}	(注 1)	-	30	-	℃

注 1: 設計保証。

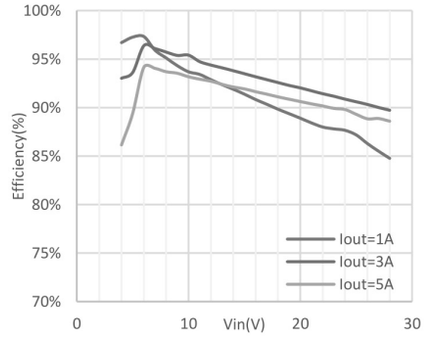
■標準特性曲線

- C_{IN}=0.1μF+22μF×3、C_{OUT}=0.1μF+22μF×4、L=2.2μH、T_A=+25℃ (5V_{OUT} 回路参照)

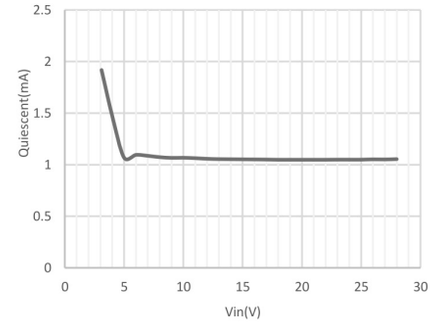
Efficiency vs. Output Current (5Vo)



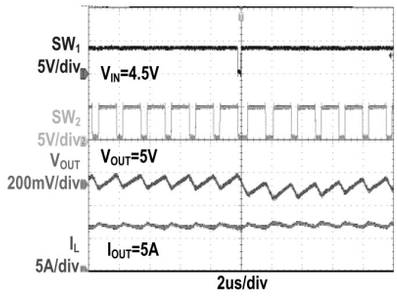
Efficiency vs. Input Voltage (5Vo)



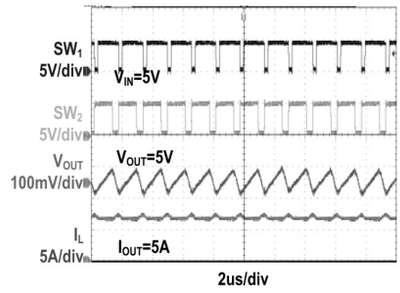
Quiescent Current vs. Input Voltage



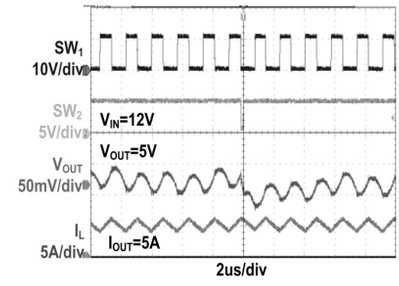
Steady State Test (Boost)



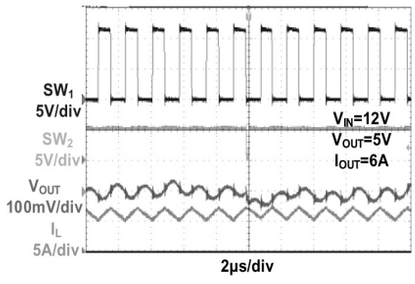
Steady State Test (Buck-Boost)



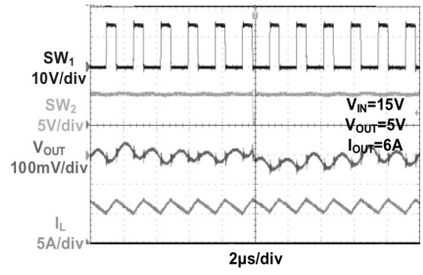
Steady State Test (Buck)



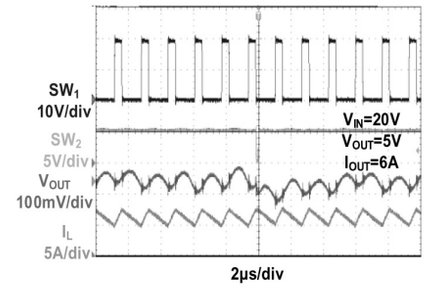
Steady State Test (Buck)



Steady State Test (Buck)

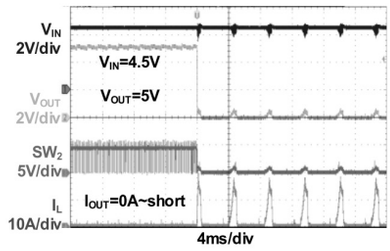


Steady State Test (Buck)

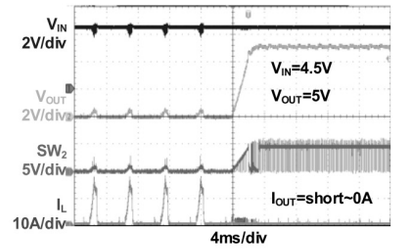


- C_{IN}=0.1μF+22μF×3、C_{OUT}=0.1μF+22μF×4、L=2.2μH、T_A=+25℃ (5V_{OUT} 回路参照)

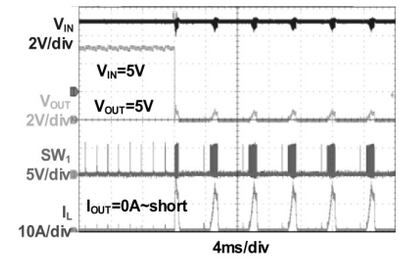
Short Protection (Boost)



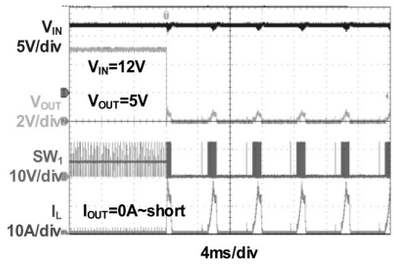
Short Protection (Boost)



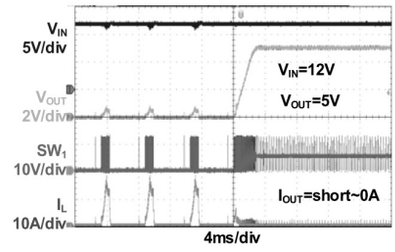
Short Protection (Buck-Boost)



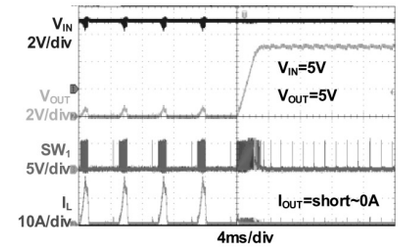
Short Protection (Buck)



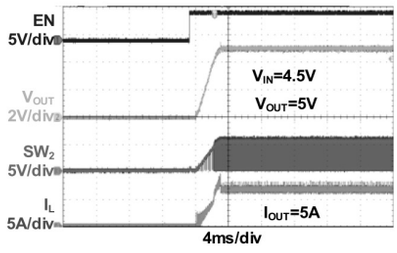
Short Protection (Buck)



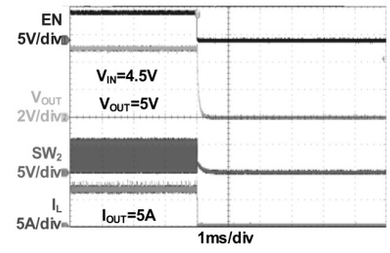
Short Protection (Buck-Boost)



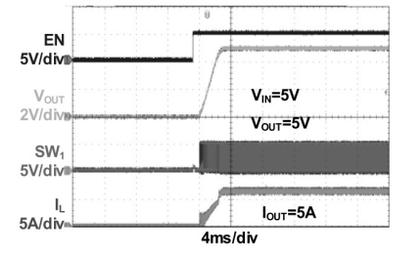
EN Power on (Boost)



EN Power off (Boost)

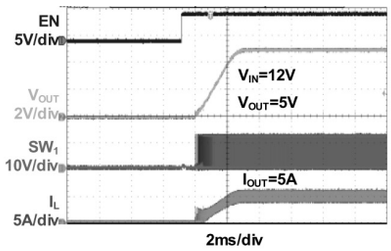


EN Power on (Buck-Boost)

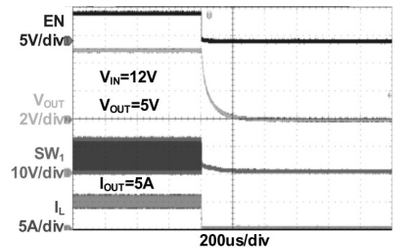


• C_{IN}=0.1μF+22μF×3、C_{OUT}=0.1μF+22μF×4、L=2.2μH、T_A=+25℃ (5V_{OUT} 回路参照)

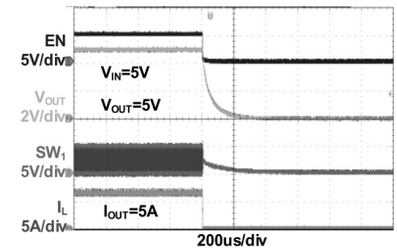
EN Power on (Buck)



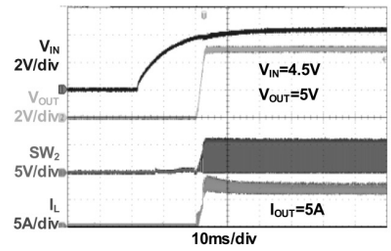
EN Power off (Buck)



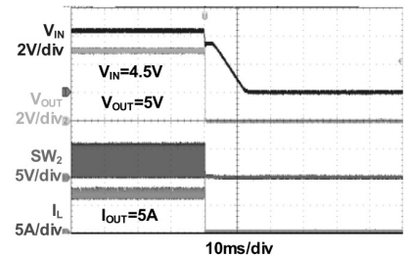
EN Power off (Buck-Boost)



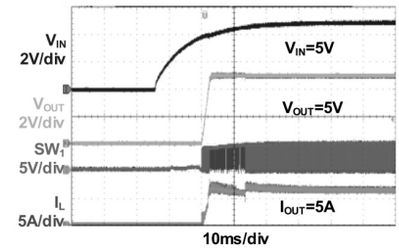
VIN Power on (Boost)



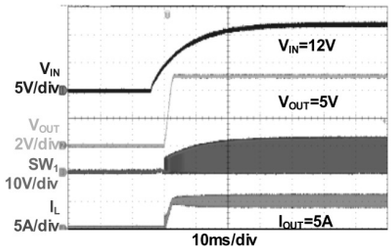
VIN Power off (Boost)



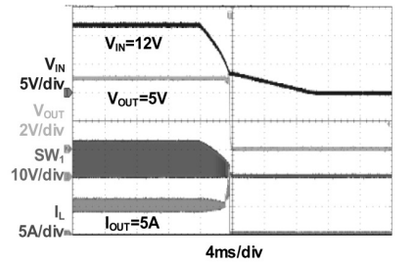
VIN Power on (Buck-Boost)



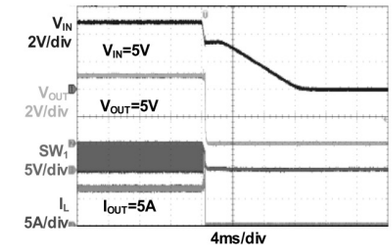
VIN Power on (Buck)



VIN Power off (Buck)



VIN Power off (Buck-Boost)



■動作説明

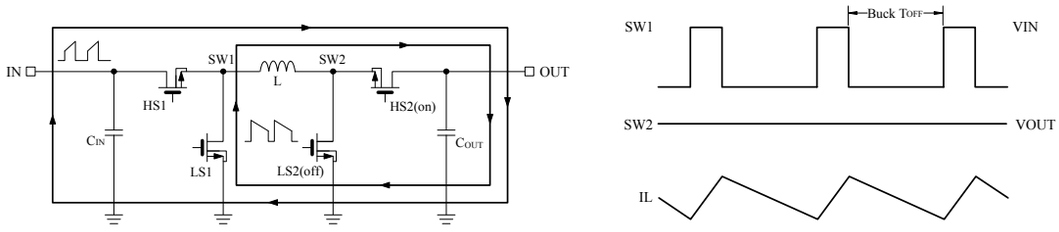
動作概要

ELM631FA は、最大 6A の出力電流を備えた、入力電圧範囲が広い完全統合型の 4 スイッチ同期型昇降圧 DC-DC コンバータです。ピーク電流検出とコンスタントオフ時間制御により、入力電圧に応じて降圧動作モード / 昇降圧動作モード / 昇圧動作モードの 3 つのモードをシームレスに切り替え、出力電圧を一定値に制御します。入力が出力よりも高い場合は降圧モードで動作し、入力が出力よりも低い場合は昇圧モードで動作し、入力と出力が近い場合には、独自の昇降圧動作モードで動作し、4 つのスイッチすべてを制御してコイルのリップル電流を調整し、リップル電圧を最小限に抑えます。

1. ピーク電流検出とコンスタントオフ時間制御

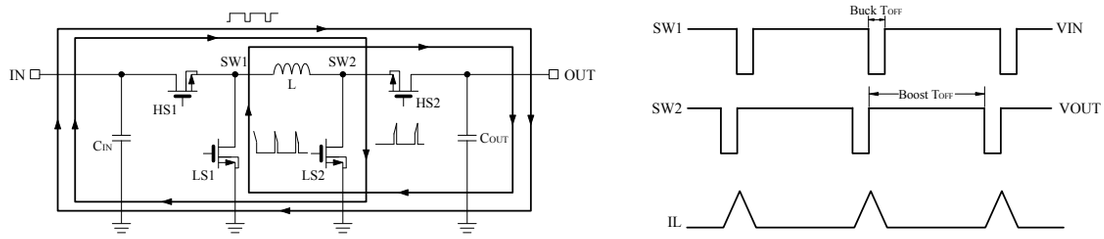
ピーク電流検出による柔軟なループ補償とコンスタントオフ時間制御によるシームレスな動作モードの移行を可能としています。各スイッチサイクルが行われる通常動作では、ピーク電流検出回路からの出力 VCS を誤差増幅器からの制御電圧 VCTRL と比較して、VCS が VCTRL レベルに達すると、制御回路はスイッチをオフ (降圧モード時は、電源側スイッチ (HS1) を昇圧モード時は、グランド側スイッチ (LS2) をオフ) し、その後すぐに同期スイッチをオン (降圧モード時は、グランド側スイッチ (LS1) または昇圧モード時は、出力側スイッチ (HS2) をオン) にします。同期スイッチがオンになると、降圧モード (または昇圧モード) に対応するオフ時間タイマーがカウントを開始します。タイマーがタイムアウトすると、降圧モード (または昇圧モード) に対応するスイッチがオンして、次のスイッチサイクルが開始されます。

V_{IN} が V_{OUT} より通常 10% 以上高い電位にある場合、ELM631FA は降圧モードで動作します。この降圧スイッチ動作時では、LS2 スイッチは常時オフで、HS2 は常時オン状態を維持します。一般の降圧コンバート同様に HS1 と LS1 は交互に切り換ります。降圧モード動作で HS2 のオン状態を維持するためには、フローティング電源 BST2 に接続するコンデンサを周期的に充電する必要があります。ELM631FA には BST リフレッシュ機能が組み込まれており、BST2 コンデンサを充電するために、240μs ごとに 150ns 間 HS2 をオフにし、LS2 をオンにします。



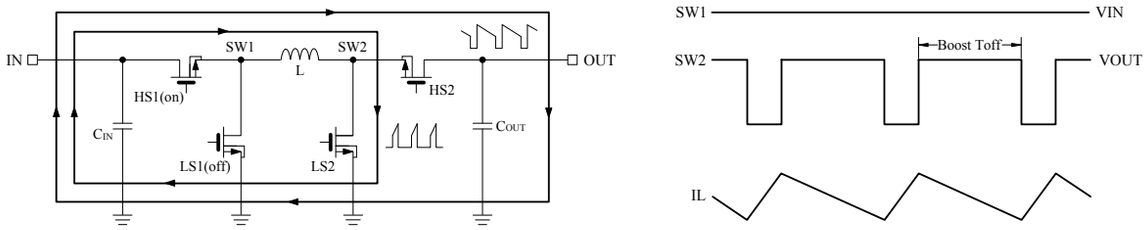
Buck mode (降圧モード)

V_{IN} と V_{OUT} が 10% 以内の電圧範囲にあるときは、ELM631FA は昇降圧モードとなり、4 個のスイッチが順次オン/オフ動作します。まず、HS1 がオンになり、降圧モードが開始されます。HS2 がすでに一つ前のサイクルでオンしている状態にあります。降圧モードがサイクルの 90%を占めています。HS2 がオンの間、昇圧オフタイマーがカウントされ、タイムアウトすると昇圧モードが開始され、HS2 がオフになり、LS2 がオンになります。LS2 がオンになると、コイル電流が急激に増加し始め、VCS も増加します。VCS が上昇して VCTRL レベルに達すると、ピーク電流検出回路によって HS1 と LS2 が同時にオフになり、LS1 と HS2 が同時にオンになり、それぞれ降圧オフタイムと昇圧オフタイマーが開始されます。昇圧モードは、スイッチサイクルの約 10%を占めます。降圧オフタイマーがタイムアウトすると、LS1 がオフになり、HS1 がオンになって次のスイッチングサイクルが開始されます。



Buck-Boost mode (昇降圧モード)

V_{IN} が V_{OUT} より 10% 以上低い場合、ELM631FA は昇圧モードで動作します。このモードでは通常のスイッチングサイクル中、HS1 スイッチが常にオンし、LS1 スイッチがオフのままで、LS2 と HS2 は通常の昇圧コンバータと同じように交互に切り替わります。昇圧モード動作の間 HS1 のオンを継続するために BST1 コンデンサを定期的に充電する必要があります。ELM631FA は内蔵の BST1 リフレッシュ機能を有し、BST1 コンデンサ充電のため HS1 オフと LS1 オンの状態を 240μs 周期で 150ns の間繰り返します。



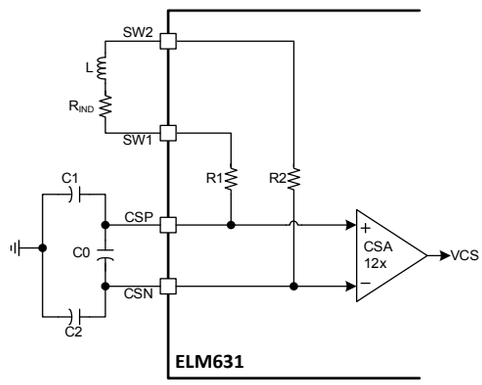
Boost mode (昇圧モード)

このように、ピーク電流検出とコンスタントオフ時間制御により、昇圧、昇降圧、降圧の動作間のシームレスな移行制御を実現しています。

2. コイル電流検出

ELM631FA は、コイル電流を 3 個のコンデンサとコイル自身の DC 抵抗によって検出する方式を採用しています。電流測定用の抵抗器が不要となることから、部品数が削減でき、また、電流測定用の抵抗による電力損失を抑えることができます。

電流検出の等価回路を下図に示します。それぞれのコイルの DC 抵抗に応じて、3 個の外部接続コンデンサの値は以下の式で求められます。



$$C0 \approx (0.7 \sim 0.9) \cdot C_{EQ}、\ C1 = C2 \approx (C_{EQ} - C0) \cdot 2$$

となります。

ここで、C_{EQ} は、CSP と CSN の間に必要な等価容量で、

$$C_{EQ} = (0.5 - 1.5) \cdot L / (R_{IND} \cdot 15k)$$

R_{IND} はコイルの DC 抵抗です。

3. 電流制限値の設定

ELM631FA は、HS1 スイッチオン中に電圧降下をモニターし、コンバータのピーク電流を制限します。HS1 スイッチのドレイン - ソース電圧降下 (V_{DSHS1}) がしきい値電圧 (V_{HSPK}) を超えると、HS1 スイッチはオフになり、電流が制限を超えないようにします。ELM631FA では、ILIM 端子を介して V_{HSPK} しきい値電圧を設定できます。

電流制限値は以下の式で設定されます：

$$I_{HSPK} = (30k / R_{LIM}) / R_{ONHS} + 500mA$$

ここで、R_{ONHS} は HS1 スイッチのオン抵抗で、標準値 17mΩです。

R_{LIM} は I_{LIM} 端子に接続する抵抗です。

入力電圧が広い範囲で変化し、外付け部品も変わるため、実際の最大制限電流値は、上記の式の値とは少し異なることがありますが、この式は電流制限値の推定に有効です。

4. 軽負荷時の動作

ELM631FA は、軽負荷時に自動的にパルス周波数変調 (PFM) モードに入り動作します。各スイッチングサイクル中にコイル電流がゼロに低下すると、ELM631FA は低い周波数で動作し、同期スイッチ (降圧の場合は LS1、昇圧の場合は LS2、または昇降圧モードの場合は両方) をオフにします。PFM モードではスイッチング損失が大幅に削減されるため、電力効率が向上します。

5. ソフトスタート

ELM631FA は2ms のソフトスタート機能を内蔵しています。ソフトスタート期間内では出力電圧は制御電圧までリニアに上昇します。これは負荷電流と外付けコンデンサ容量に依存しません。

6. パワーグッド信号

ELM631FA には Nch オープンドレイン出力のパワーグッド端子があります。プルアップ抵抗により規定出力電圧の 90% 以上のときハイ出力となり、87% 以下の時に NchFET がオンしてロー出力となります。

7. 短絡保護

ELM631FA には、HS1 スイッチとコイル電流が暴走するのを防ぐため、サイクルごとの電流制限保護機能があります。HS1 スイッチがオンになると、その電圧降下がしきい値電圧 V_{HSPK} と比較され、電流値を常にモニターします。HS1 スイッチが電流制限レベルに達すると、ELM631FA はメイン電源スイッチ (降圧モードの場合 HS1、昇圧モードの場合 HS2、昇降圧モードの場合は両方) を直ちにオフにします。次に、同期スイッチ (降圧モードの場合 HS1、昇圧モードの場合 HS2、昇降圧モードの場合は両方) がオンになり、コイル電流を徐々に下げます。同期スイッチは、コイル電流が最大の 90% まで低下するまでオンのままです。その時点で、メインスイッチが再びオンになり、次のスイッチングサイクルを開始できます。この電流制限状態が長時間 (標準 500μs) 続くと、ELM631FA はそれを過負荷または短絡と見なします。いずれの場合も、ELM631FA はヒカップモードに入り、所定の時間 (通常は2ms) スイッチングを停止してから、自動的に再起動を試みます。常にソフトスタートで起動し、突入電流を制限して出力電圧のオーバーシュートを回避します。

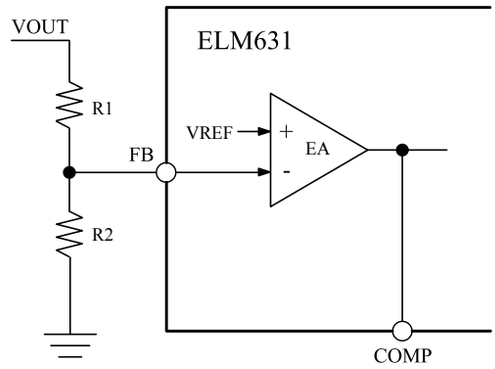
8. 入力過電圧保護 (IOVP) と低電圧誤動作防止 (UVLO)

ELM631FA は、VIN 端子に 28V 以上の過大電圧または、3.1V 以下の過小電圧が印加されると、スイッチング動作を強制的に停止します。入力電圧が通常範囲に回復すると、再び動作可能となります。この機能により過大過小な電圧入力時の誤動作を防止します。

■応用回路

1. 出力電圧の設定

ELM631FA の出力電圧は、FB 端子に出力電圧を抵抗分割回路で分圧して入力します。出力電圧は、下図のように FB 端子が内部基準 1.0V typ. となるように抵抗値を設定します。

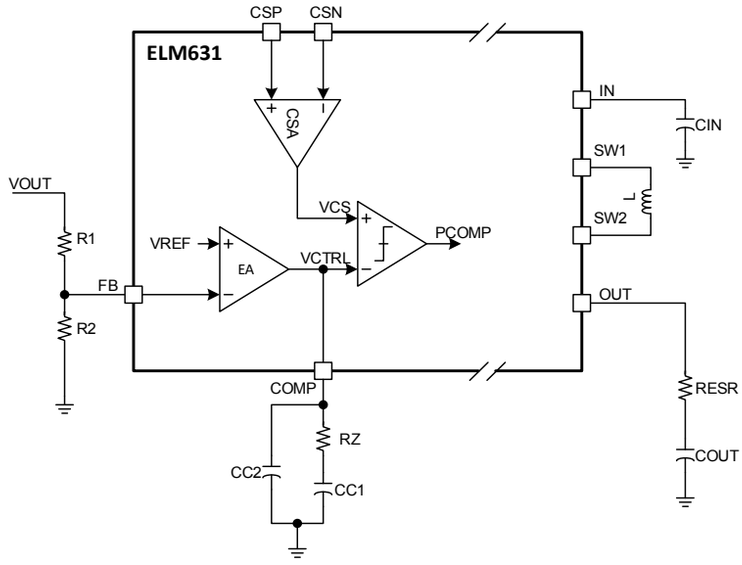


$$V_{OUT} = V_{FB} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$

2. ループ補償の設計

ELM631FA、ピーク電流検出とコンスタントオフ時間制御方式を採用しているため、通常のピーク電流検出制御のコンバータと同じ伝達関数を持ちます。電力供給経路にあるコイルと出力コンデンサは、電圧制御電流源と出力コンデンサから構成される一次遅れ系としてモデル化できます。ELM631FA では、電圧制御電流源の相互コンダクタンスはコイルの DC 抵抗と電流検出ゲインによって決まります。

ELM631FA には、降圧モード、昇圧モード、昇降圧モードの 3 つの動作モードがあり、ループ補償回路を設計する際には、これらすべてを考慮する必要があります。



昇圧モード動作では右半面 (RHP) ゼロが発生するため、ループ帯域幅が制限されます。この点を考慮して、ループ帯域幅は、通常 RHP ゼロ周波数の 1/4 にすることをお勧めします。昇圧モードでの RHP ゼロは次のように表されます：

$$f_{RHPZBOOST} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \frac{R_L \cdot (1 - D_{MAX})^2}{L} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{V_{OUT}}{I_{LOAD}} \frac{(1 - D_{MAX})^2}{L}$$

ここで、RL は等価負荷インピーダンスで、$R_L = V_{OUT} / I_{LOAD}$、D_{MAX} は、動作時の最大デューティ比です。
ループ帯域幅を RHP の 1/4 に設定すると、次のようになります。

$$f_{BWBOOST} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{V_{OUT}}{I_{LOAD}} \frac{(1 - D_{MAX})^2}{L}$$

ELM631FA の昇圧モードでのループ帯域幅は以下の式で表すこともできます。

$$f_{BWBOOST} = \frac{1}{2 \cdot \pi} G_{mEA} \cdot R_Z \cdot \frac{(1-D_{MAX})}{A_{CS} \cdot R_{DCR} \cdot C_{OUT}} \cdot \frac{V_{FB}}{V_{OUT}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} 14.4\mu \cdot (1-D_{MAX}) \cdot R_Z \cdot \frac{1}{R_{DCR} \cdot C_{OUT}} \cdot \frac{V_{FB}}{V_{OUT}}$$

ループ帯域幅をRHPゼロの1/4とするRzは、

$$R_Z = 17k \cdot \frac{V_{OUT}}{I_{LOAD}} \frac{(1-D_{MAX})}{L} \cdot R_{DCR} \cdot C_{OUT} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{FB}}$$

で求められます。Rz が得られると、CC1 と CC2 が計算できます。

出力ポールの位相変化を補償するために Rz と CC1 によるゼロを帯域幅の 1/5 倍とすると

$$CC1 = \frac{5}{2\pi \cdot f_{BWBOOST} \cdot R_Z}$$

高域ノイズを抑制するため、Rz と CC2 によって形成される極を帯域幅の 5 倍にすると、

$$CC2 = \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f_{BWBOOST} \cdot R1}$$

上記は、ELM631FA の安定した動作に必要となる補償回路設計のガイドラインです。しかし、出力電圧と負荷電流レベルの両方の動作条件の範囲が広いため、場合によっては、ELM631FA の最適なパフォーマンスを得るために補償回路を調整する必要があります。

3. コイルの選択

コイルの選択は、過渡動作、ループ安定性に影響します。このことからコイルはスイッチング電源の設計には重要な部品となります。検討が必要な3つの重要なコイル仕様はインダクタンス値、DC 抵抗と飽和電流値です。昇圧モード動作では平均コイル電流は入力電流と同じになります。コイルの最大平均電流がコンバータの最大負荷電流となりコンバータの変換効率 η、最小入力電圧 (V_{INMIN})、出力電圧 (V_{OUT}) などに影響します。コイルの飽和電流仕様は、最大平均電流値より余裕のある大きな値が必要です。コイルの最大平均電流は以下の式となります。

$$I_{LMAX} = I_{OUTMAX} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{INMIN} \cdot \eta}$$

例えば、出力電流が2Aで、効率が90%の場合、最小入力電圧が3.1Vのときにコイルに流れる平均電流は少なくとも8.9Aになります。

コイルのインダクタンス値はリップル電流に直接影響します。パラメータΔI_Lをコイルのピーク間リップル電流とすると、コイルのリップル電流は、出力リップル電流に寄与し、出力コンデンサでフィルタリングする必要があります。従って、高いコイルリップル電流の場合、出力コンデンサの選択に影響します。ΔI_Lの値が高いと、中程度から軽い負荷で不連続モード動作 (DCM) 動作になります。コイルのリップル電流ΔI_Lは、インダクタンスまたは周波数が高くなると減少し、V_{IN}が高くなると増加します。コイルのリップル電流は、以下の式により求めることができます。

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN}}{f_{OSC} \cdot L} \cdot \left(1 - \frac{V_{IN}}{V_{OUT}}\right)$$

ΔI_Lの値を大きくすると、低いインダクタンス値を使用できますが、出力電圧リップルが高くなり、コア損失が大きくなります。リップル電流を設定するための適切な開始点は、$\Delta I_L = 0.3 \sim 0.5 * I_{LMAX}$です。昇圧構成では、最大リップル電流$\Delta I_L$は、50% デューティ比 ($V_{IN}=1/2 \cdot V_{OUT}$) で発生します。ELM631FA 4スイッチ昇降圧コンバータは、1μH ～ 10μH の範囲のコイルで効率的に動作するように最適されています。この範囲以外のコイルを使用して、特定の動作条件で最適化することもできます。

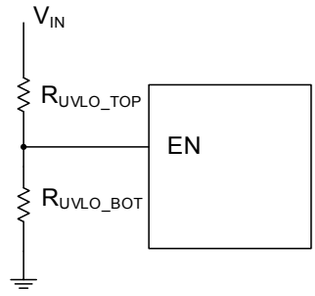
4. 入力コンデンサ

適切なデカップリングのために、高周波特性の良い 0.1μF コンデンサと 22μF 以上の X5R/X7R 特性の積層セラミックコンデンサを VIN 端子と PGND 端子間に並列に接続します。使用用途によっては、入力電圧リップル、過渡応答特性および EMI 要件を満たすために追加のコンデンサが必要となります。C_{IN}の値は電源インピーダンス関連して決められます。一般に、電源インピーダンスが高いほど、大きな入力コンデンサが必要になります。必要な入力コンデンサの量は、デューティ比によっても大きく左右されます。デューティ比高く出力電流が大きい場合では、DC 電流とリップル電流の両方の点で、入力電源に大きな負荷がかかる可能性があります。入力コンデンサには最大の入力電圧以上の耐圧が必要となります。

5. 低電圧誤動作防止機能 (UVLO)

ELM631FA は、EN 端子電圧が、1.45V 以上で動作します。EN 端子電圧が 0.4V 以下の場合、シャットダウンモードになります。シャットダウンモードでは、デバイスの入力電流は 5μA 以下となります。EN 端子電圧が 0.4V より高く 1.35V より低い場合、デバイスはスタンバイモードになります。UVLO の検出電圧調整は EN 端子を使って行います。下図に示すように、UVLO 閾値は、V_{IN}端子と GND 間の抵抗分割器によって設定できます。分圧抵抗の消費電流を 10μA 以上に設定するには、低電位側の UVLO 抵抗器 R_{UVLO_BOT}を 10kΩ～ 200kΩの範囲で選択します。通常は、R_{UVLO_BOT}=100kΩを選択します。高電位側の抵抗器 R_{UVLO_TOP}の値は、VIN ピンでの必要な動作開始電圧 V_{START}に応じて、次の式で計算できます。

$$R_{UVLO_TOP} = R_{UVLO_BOT} \cdot \left(\frac{V_{START}}{V_{EN}} - 1\right) = 100k\Omega \cdot \left(\frac{V_{START}}{1.45V} - 1\right)$$



6. ブートストラップコンデンサ

適切な動作のために、0.1μF ～ 0.22μF の X5R/X7R セラミックコンデンサを BST 端子と SW 端子間に接続します。このコンデンサは、電源側 MOSFET をオンにするためのゲートドライブ電圧を提供します。

7. 出力コンデンサ

昇圧コンバータでは、出力が不連続電流であるため、出力コンデンサ C_{OUT} は、出力電圧リップルと電源経由の di/dt の大きなパルス性ノイズをフィルタできる容量が必要です。VOUT 端子と PGND 端子間にできるだけ近くに X5R/X7R の積層セラミックコンデンサを配置することを推奨します。特定の出力リップル電圧に対して適切なコンデンサを選択するときは、ESR（ 等価直列抵抗）と容量値の影響を考慮する必要があります。単相昇圧コンバータでは出力コンデンサの充放電によるリップル電圧は、次の式で求められます。この値には、出力コンデンサの ESR は考慮されていません。

$$\Delta V_{OUT} = \frac{I_{OUTMAX} \cdot D_{MAX}}{C_{OUT} \cdot f_{SW}} = \frac{I_{OUTMAX} \cdot \dfrac{V_{OUT} - V_{INMIN}}{V_{OUT}}}{C_{OUT} \cdot f_{SW}}$$

ここで、C_{OUT} は出力コンデンサです。

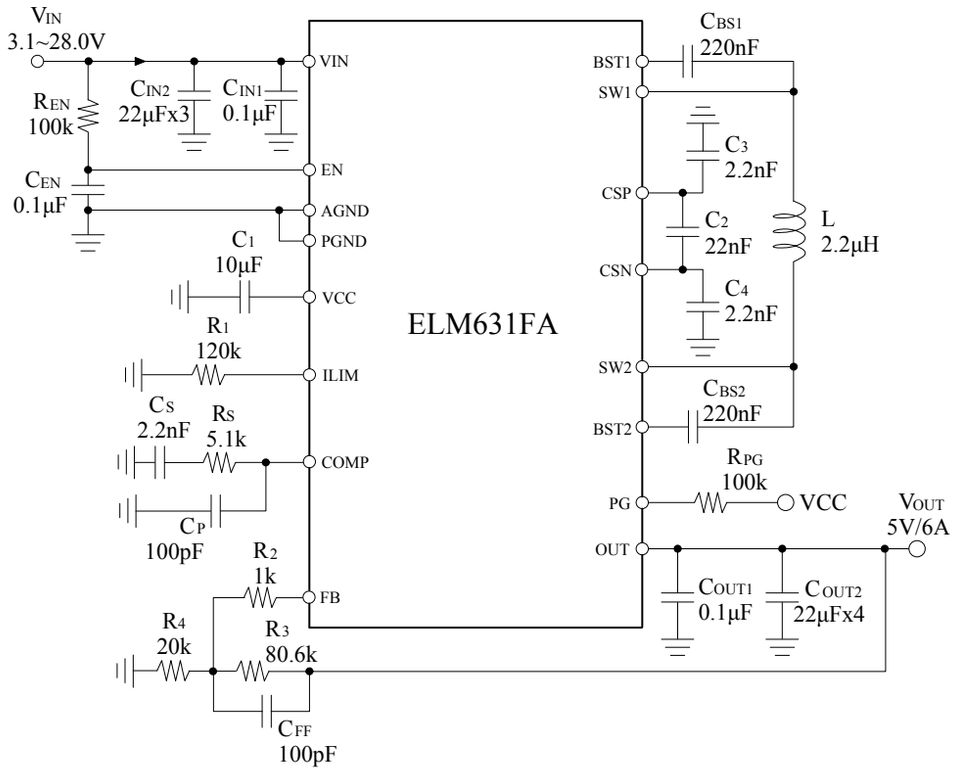
例として、最低電圧 3.1V の電源から 5V を昇圧する場合、スイッチ周波数を 600kHz として、3A の電流を供給するときに 50mV(V_{OUT} の 1%) 以下のリップル電圧に抑えるには、最低でも 38μF の出力コンデンサが必要です。

$$C_{OUT} \geqq \frac{I_{OUTMAX} \cdot D_{MAX}}{\Delta V_{OUT} \cdot f_{SW}} = \frac{3A \cdot \dfrac{5V - 3.1V}{5V}}{5V \cdot 1\% \cdot 600kHz} = 38\mu F$$

昇圧または昇降圧コンバータの場合、出力コンデンサにはパルス電流が流れるので、ESR 及び RMS 電流値の要求が満たせるように、複数のコンデンサを並列接続する必要が場合があります。積層セラミックコンデンサは優れた ESR 特性を持ちますが、DC バイアスによる容量減を考慮する必要があります。経年変化、温度、DCバイアスによる容量のディレーティングにより、必要な最小値が増加します。最大使用電圧は、過渡状態での出力リップル電圧とオーバーシュートに対して十分余裕が必要で、出力電圧よりも高くする必要があります。5mΩの ESR を持つ 35V/22μF のセラミックコンデンサを 4 個並列使用する例では、50% ディレーティンされた容量は 44μF となり、計算値の最小値とほぼ等しくなります。

■応用回路図

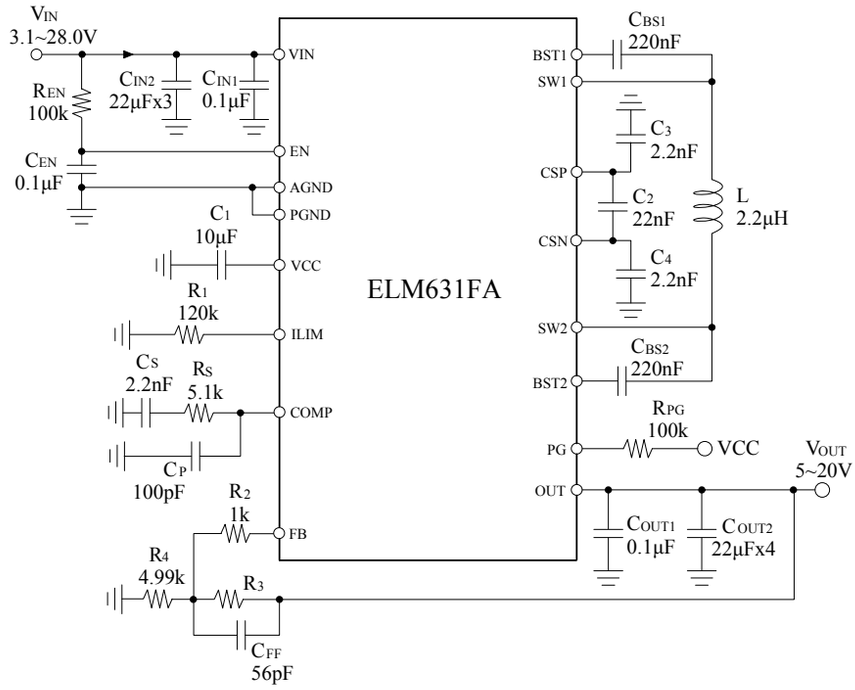
1. 5VOUT 用



評価ボード BOM リスト

数量	部品名	値	説 明	パッケージ
3	CIN1、COUT1 CEN	0.1μF	セラミックコンデンサ、35V、X5R	0603
7	CIN2、COUT2	22μF	セラミックコンデンサ、35V、X5R、Cout2 10V 可	0805
1	L	2.2μH	<10mΩ>10A(SAT) 6Aアプリケーション用	SMD
1	R1	120kΩ	抵抗、±1%	0603
2	REN、RPG	100kΩ	抵抗、±1%	0603
1	R2	1kΩ	抵抗、±1%	0603
1	R3	80.6kΩ	抵抗、±1%	0603
1	R4	20kΩ	抵抗、±1%	0603
1	RS	5.1kΩ	抵抗、±1%	0603
1	CS	2.2nF	セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
2	CP、CFF	100pF	セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
2	CBS1、CBS2	200nF	セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
1	C1	10μF	セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
1	C2	22nF	セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
2	C3、C4	2.2nF	セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
1	電源 IC	ELM631FA	4 スイッチ昇降圧コンバータ	QFN28-5×5

2. 5 ～ 20VOUT 用



評価ボード BOM リスト

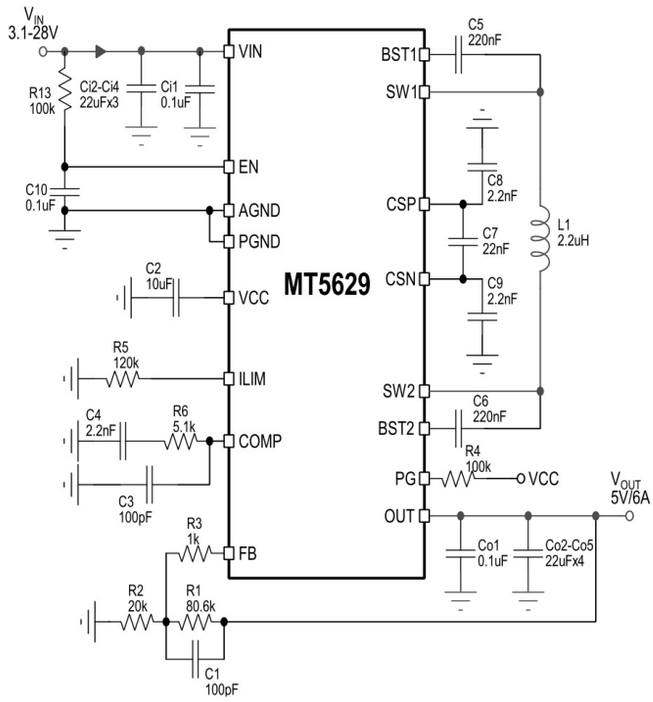
数量	部品名	値		説 明	パッケージ
3	CIN1、COUT1 CEN	0.1μF		セラミックコンデンサ、35V、X5R	0603
7	CIN2、COUT2	22μF		セラミックコンデンサ、35V、X5R	0805
1	L	2.2μH		<10mΩ>10A(SAT) 6Aアプリケーション用	SMD
1	R1	120kΩ		抵抗、±1%	0603
2	REN、RPG	100kΩ		抵抗、±1%	0603
1	R2	1kΩ		抵抗、±1%	0603
1	R3	VOUT=5V	20kΩ	抵抗、±1%	0603
		VOUT=9V	40.2kΩ		
		VOUT=12V	55kΩ		
		VOUT=15V	70.6kΩ		
		VOUT=20V	95.3kΩ		
1	R4	4.99kΩ		抵抗、±1%	0603
1	RS	5.1kΩ		抵抗、±1%	0603
1	CS	2.2nF		セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
1	CP	100pF		セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
1	CFF	56pF		セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
2	CBS1、CBS2	220nF		セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
1	C1	10μF		セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
1	C2	22nF		セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
2	C3、C4	2.2nF		セラミックコンデンサ、10V、X5R	0603
1	電源 IC	ELM631FA		4 スイッチ昇降圧コンバータ	QFN28-5×5

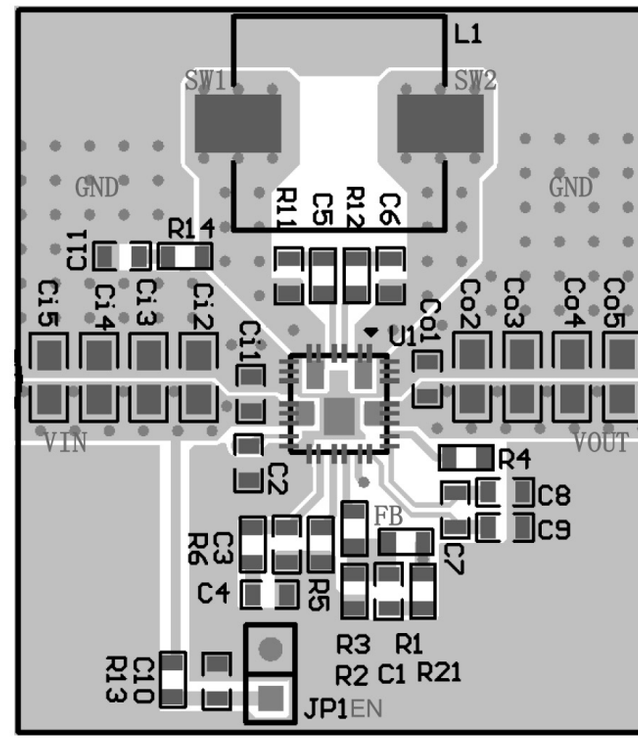
■PCB レイアウト上の注意点

特に高電圧と高電流動作を扱う応用回路では、PCB レイアウト設計が非常に重要となります。高周波輻射ノイズ (EMI) を低減するためには、高周波のスイッチング経路の配線レイアウトに配慮する必要があります。SW 端子に接続するすべての配線パターンは長さと面積を最小にします。EMI と制御不安定性を発生する可能性がある PCB の GND 面への電磁結合を最少にするためです。

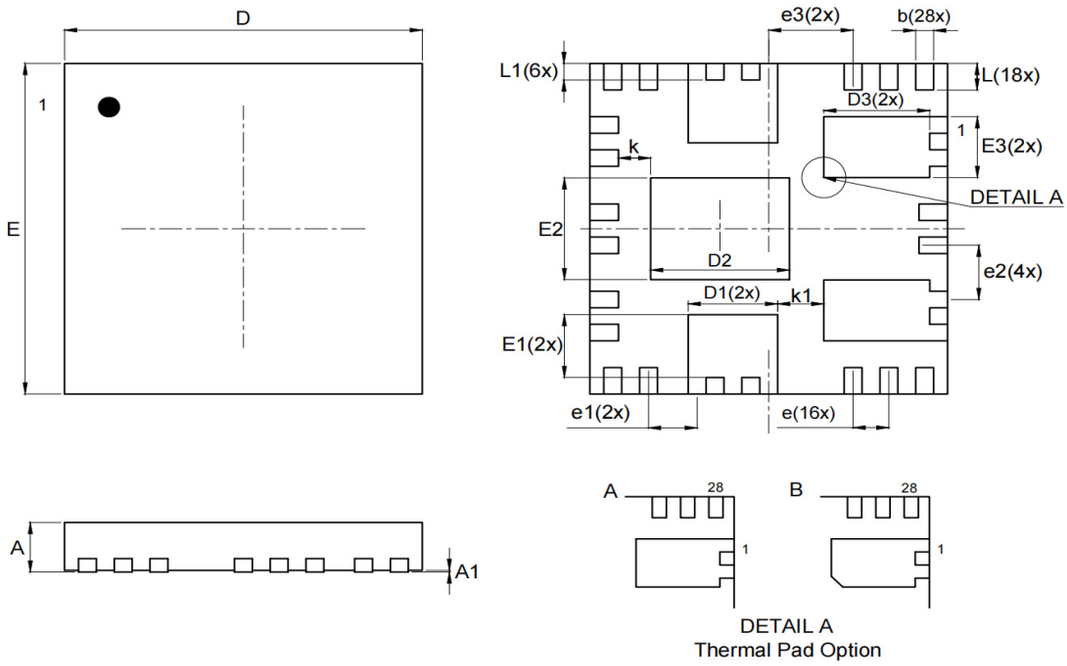
次のレイアウトルールを確認ください：

1. GND 面へのインピーダンスを下げ、EMI 防止と電源システムの効率向上を図るため、入力コンデンサと出力コンデンサ及び ELM631FA の PGND 端子を同じ GND 面に接続します。
2. AGND と PGND は分けて配線し、AGND へのノイズ混入を避けるため 1 点で接続します。これにより AGND へのノイズ結合による ELM631FA の不安定動作を回避します。
3. CSP 端子と CSN 端子の配線パターンは、コモンモードノイズを除去するため差動入力のように対称配線にします。また、SW1、SW2 配線パターンからできるだけ距離を取り、配線間の電磁結合により発生する電流制限機能の誤動作を防ぎます。コイルの直流抵抗または検出抵抗器でケルビン接続を使用して、正確な電流検出を確保します。
4. SW1 端子と SW2 端子と PGND 端子とブートストラップ端子 BST1、BST2 端子は小信号配線から距離を取ります。





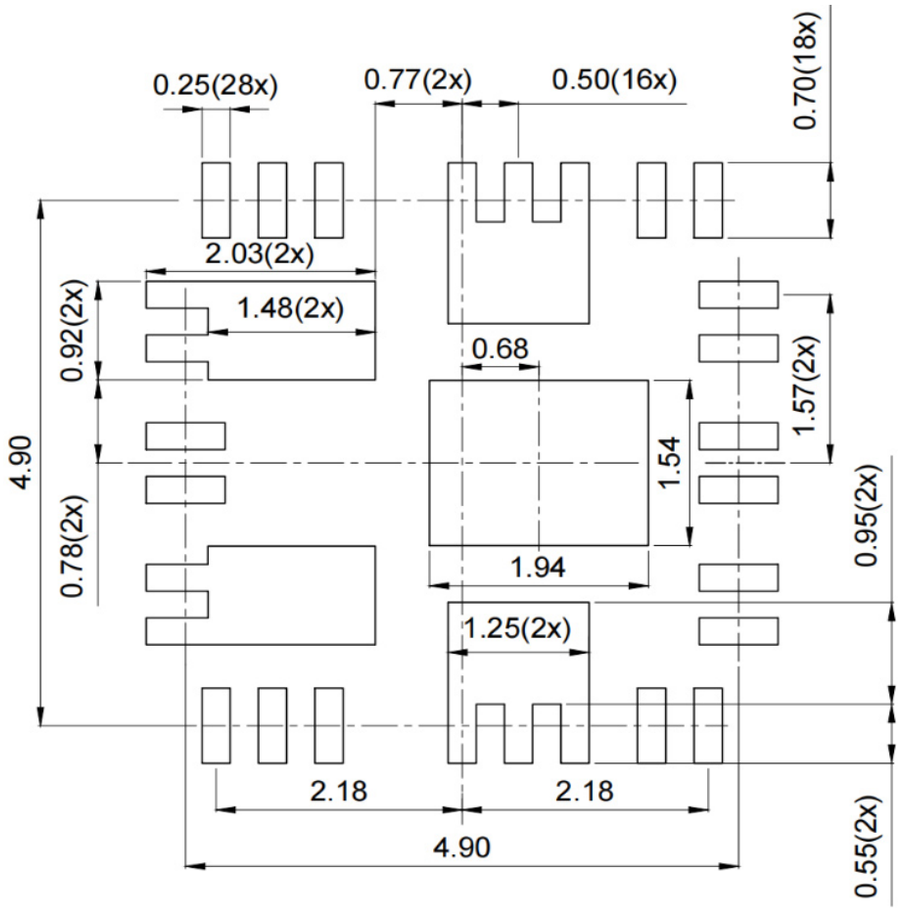
■QFN28-5×5 外形寸法



記号	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	0.70	0.80	0.028	0.031
A1	0.00	0.05	0.000	0.002
b	0.20	0.30	0.008	0.012
D	4.90	5.10	0.193	0.201
E	4.90	5.10	0.193	0.201
L	0.35	0.45	0.014	0.018
L1	0.20	0.30	0.008	0.012
D1	1.20	1.30	0.047	0.051
D2	1.89	1.99	0.074	0.078
D3	1.43	1.53	0.056	0.060
E1	0.90	1.00	0.035	0.039
E2	1.49	1.59	0.059	0.063
E3	0.87	0.97	0.034	0.038
k	0.40	0.50	0.016	0.020
k1	0.59	0.70	0.023	0.028
e	0.50 BSC		0.020 BSC	
e1	0.68 BSC		0.027 BSC	
e2	0.82 BSC		0.032 BSC	
e3	1.18 BSC		0.046 BSC	

■QFN28-5×5 ランドパターン

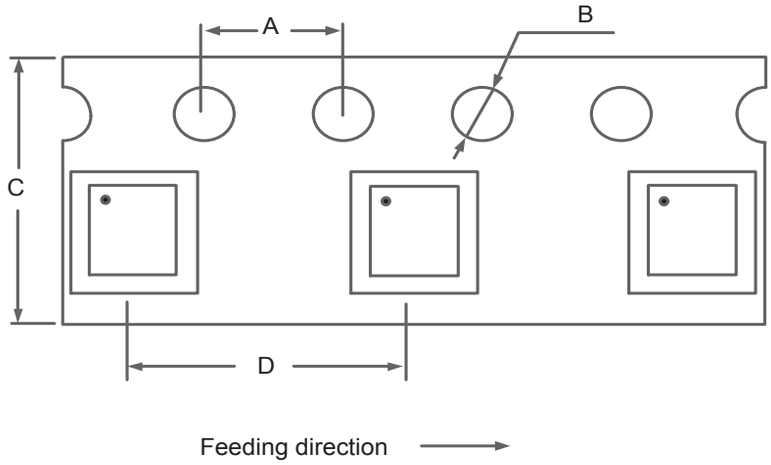
単位：mm



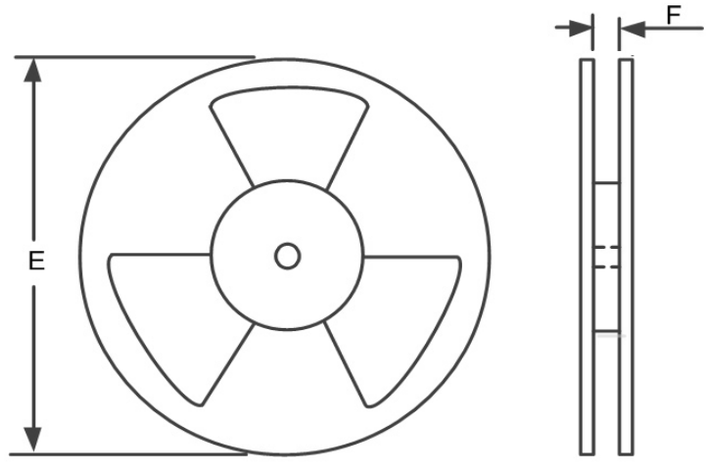
参考値

■QFN28-5×5 リール＆キャリアテープ寸法

• テーピング方向 / キャリアテープ情報



• リール情報



• 寸法の詳細

PKG Type	A	B	C	D	E	F	Q'ty/Reel
QFN28-5×5	4.0 mm	1.5 mm	12.0 mm	8.0 mm	13 inches	13.0 mm	5,000