



MAX77726/MAX77727

22V、3A 同期整流式降圧コンバータ（超音波モード付き）

概要

MAX77726/MAX77727 は、サイズと効率が重視されるナノパワー（超低消費電力）アプリケーション向けの電源ソリューションを可能にします。4.6A のインダクタ・ピーク電流保護機能を備え、最大 3A の出力電流を供給できます。簡略アプリケーション回路図を参照してください。

MAX77726 の出力電圧は、VSEL ピンを介して、4 つの特定の出力電圧に論理的に設定できます。物理的なイネーブル・ピンとモード・ピンの設定により、直感的な制御が可能です。

MAX77727 の出力電圧は、I²C を介してプログラムできます。モード切替えも可能であり、I²C インターフェースを介して選択とステータス読出しが可能です。

アプリケーション

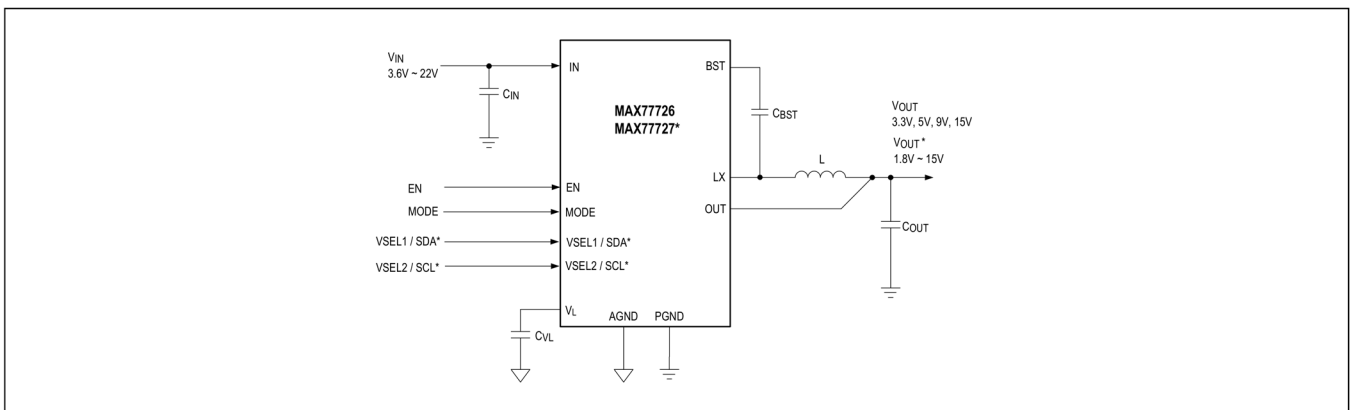
- USB 給電デバイス
- ポータブル電子機器
- 12V 分散電源バスのアプリケーション

機能と利点

- 入力電圧範囲：3.6V~22V
- 出力電圧範囲：1.8V~15V
- 低消費電流と高効率
 - シャットダウン電流：100nA
 - 低消費電力モードでの自己消費電流：800nA
 - ピーク効率：96%
- 50mΩ と 45mΩ のパワー-MOSFET を内蔵
- インダクタのピーク電流制限：最大 4.6A
- MAX77726：2本の VSEL ピンを使用してレギュレーション目標電圧（3.3V、5V、9V、15V）を選択可能
- MAX77727：I²C を介して出力電圧を 1.8V~15V の範囲でプログラム可能（1.8V~4.9V の範囲では分解能 100mV、5V~15V の範囲では分解能 250mV）
- MAX77726：超音波モードをピンで選択可能
- MAX77727：強制 PWM モードを I²C で選択可能
- 出力のアクティブ放電機能
- 使いやすく、かつ小さなソリューション・サイズ
 - サイクルごとのインダクタ・ピーク電流制限、UVLO、出力短絡、過熱の保護機能
 - 12ピン、0.4mm ピッチ、高さ 0.65mm のウェハレベル・パッケージ（WLP）
 - チップ型のインダクタとセラミック・コンデンサを使用
- 1.32mm × 1.77mm、12-WLP、0.4mm ピッチのパッケージ

型番は、データシートの末尾に記載しています。

簡略アプリケーション回路図



絶対最大定格

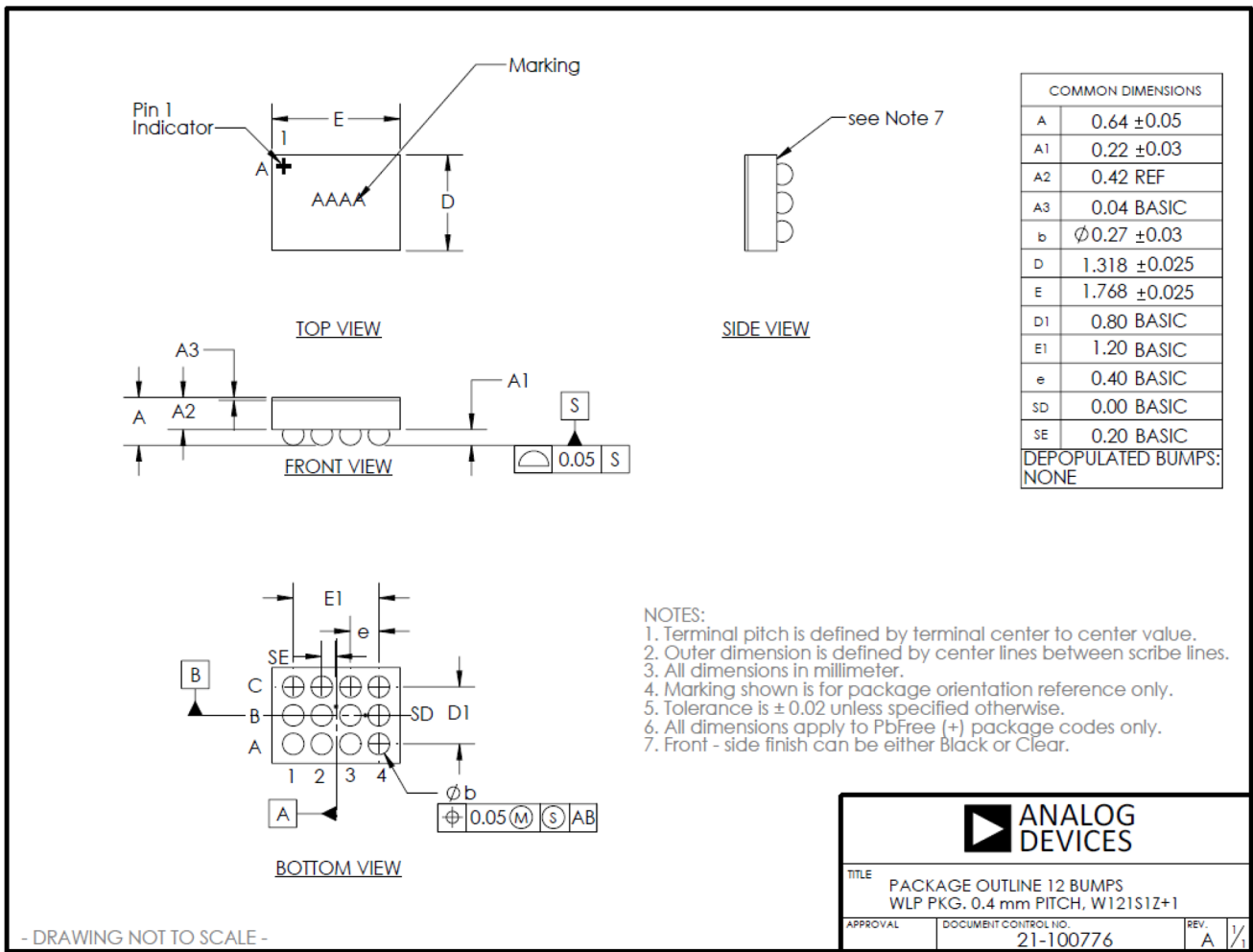
IN, LX~PGND.....	-0.3V~26.0V	連続消費電力 (T _A =+70°C) (+70°C を超えると 13.73m W/°C で ディレーティング)	1098mW
BST~LX (Note 1).....	-0.3V~2.0V	ジャンクション温度範囲	-40°C~+125°C
PGND~AGND.....	-0.3V~0.3V	最高ジャンクション温度	150°C
V _L ~AGND	-0.3V~2.0V	保管温度範囲	-65°C~+150°C
OUT~AGND	-0.3V~16.0V	はんだ処理温度 (リフロー)	+260°C
EN~AGND.....	-0.3V~26.0V		
MODE, VSEL1, VSEL2, SDA, SCL~AGND	-0.3V~6.0V		

Note 1 : LX ピンは、GND および IN との間に内部クランプを備えています。これらのダイオードには、スイッチング遷移時に順方向バイアスをかけることができます。

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、この仕様の動作の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。

パッケージ

Package Code	W121S1Z+1
Outline Number	21-100776
Land Pattern Number	Refer to Application Note 1891
Thermal Resistance, Four Layer Board:	
Junction-to-Ambient (θ _{JA})	72.82°C/W
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ _{JC})	N/A



最新のパッケージ外形図とランド・パターン（フットプリント）に関しては、www.analog.com/packages で確認してください。パッケージ・コードの「+」、「#」、「-」は RoHS 対応状況のみを示します。パッケージ図面は異なる末尾記号が示されている場合がありますが、図面は RoHS 状況に関わらず該当のパッケージについて図示しています。

パッケージの熱抵抗は、JEDEC 規格 JESD51-7 に記載の方法で 4 層基板を使用して求めたものです。パッケージの熱に対する考慮事項の詳細については、www.analog.com/thermal-tutorial を参照してください。

電气的特性

($T_A \approx T_J$, $V_{IN} = 9V$, $V_{OUT} = 3.3V$ 、代表値は $T_A \approx T_J = +25^\circ C$ の値です。制限値は $T_J = +25^\circ C$ で 100%製品テストがなされています。MAX77726/MAX77727 は $T_A \approx T_J$ となるようなパルス負荷条件下でテストされています。動作温度範囲 ($T_J = -40^\circ C \sim +125^\circ C$) および動作電圧範囲における制限値は、統計的プロセス制御の方法を使用した設計および特性評価により確保されています (Note 2)。)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
INPUT SUPPLY							
Operating Input Voltage Range	V_{IN}			3.6		22.0	V
Undervoltage Lockout (UVLO)	V_{UVLO_R}	V_{IN} rising		3.40	3.50	3.60	V
	V_{UVLO_F}	V_{IN} falling		3.20	3.30	3.40	
Shutdown Current	I_{SD}	EN = low, $V_{IN} < 22V$, $T_J = +25^\circ C$			0.125	0.2	μA
Quiescent Current (LPM)	I_{Q_LPM}	EN = high, LPM, not switching, $T_J = +25^\circ C$			0.8	2.0	μA
Quiescent Current (USM)	$I_{Q_USM_77726}$	EN = high, USM, switching, $T_J = +25^\circ C$			5500		μA
	$I_{Q_USM_77727}$	EN = high, USM, switching, $T_J = +25^\circ C$			2500		
OUTPUT VOLTAGE ACCURACY							
Output Voltage Range	V_{OUT}	Guaranteed by output voltage accuracy		1.8		15.0	V
Output Voltage Shift	V_{OUT_SHIFT}	$V_{OUT} = 5$ to 15V	MAX77726 only		+1		%
Output Voltage Accuracy	V_{OUT_ACC}	During CCM operation		-2.0		+2.0	%
Low-Power Mode Regulation	$V_{OUT_ACC_LPM}$	Percentage of output voltage target level		+1.0	+2.75	+4.0	%
Line Regulation	$\Delta V_{OUT}/\Delta V_{IN}$	$V_{IN} = V_{OUT_TARGET} + 300mV$ to 22V, CCM operation			± 0.1		%/V
Load Regulation	$\Delta V_{OUT}/\Delta I_{OUT}$	During CCM operation			0.35		%/A
POWER STAGE							
High-Side MOSFET Peak Current Limit	I_{LIM}	Note 5		4.2	4.6	5.2	A
High-Side MOSFET On Resistance	R_{DSON_HS}	$I_{LX} = -300mA$			50	90	m Ω
Low-Side MOSFET On Resistance	R_{DSON_LS}	$I_{LX} = 300mA$			45	80	m Ω
SWITCHING CHARACTERISTICS							
Switching Frequency	f_{SW}	$V_{IN} = 9V$, $V_{OUT} = 3.3V$, $L = 2.2\mu H$, during CCM operation			1.2		MHz
Minimum Switching Frequency	f_{SW_MIN}	Pulses initiated by ultrasonic timer; $C_{OUT} = 100\mu F$		27	33		kHz
Maximum Duty Cycle Operation	DC_{MAX}	Note 4			100		%
ACTIVE DISCHARGE							

22V、3A 同期整流式降圧コンバータ（超音波モード付き） MAX77726/MAX77727

($T_A \approx T_J$, $V_{IN} = 9V$, $V_{OUT} = 3.3V$ 、代表値は $T_A \approx T_J = +25^\circ C$ の値です。制限値は $T_J = +25^\circ C$ で 100%製品テストがなされています。MAX77726/MAX77727 は $T_A \approx T_J$ となるようなパルス負荷条件下でテストされています。動作温度範囲 ($T_J = -40^\circ C \sim +125^\circ C$) および動作電圧範囲における制限値は、統計のプロセス制御の方法を使用した設計および特性評価により確保されています (Note 2)。)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Discharge Time	t_{OUT_DIS}	$V_{OUT} = 5V$, EN = low, $C_{OUT} = 100\mu F$, when V_{OUT} discharged to 100mV	Note 4	22		ms
		$V_{OUT} = 15V$, EN = low, $C_{OUT} = 100\mu F$, when V_{OUT} discharged to 100mV	Note 4	51		
TIMING						
Turn-On Delay Time	t_{DLY_EN}	From EN = high to soft-start, $T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$	MAX77726 only	2.5		ms
Soft-Start Time	t_{SS}	$V_{IN} = 9V$, $V_{OUT} = 3.3V$, $L = 2.2\mu H$, $C_{OUT} = 100\mu F$	MAX77726 only Note 4	0.8		ms
EN, MODE, VSEL1, AND VSEL2 SIGNAL LEVELS						
Input High Level	V_{IH}	EN, MODE, VSEL1, VSEL2,	1.0			V
Input Low Level	V_{IL}	MODE, VSEL1, VSEL2		0.4		V
		EN	$T_J = 0^\circ C$ to $+125^\circ C$	0.3	0.35	
Pulldown Resistance		EN, MODE, VSEL1, VSEL2		300		k Ω
THERMAL PROTECTION						
Thermal Shutdown Threshold	T_{SD}	T_J rising		150		$^\circ C$
Thermal Shutdown Hysteresis	T_{SD_HYS}			20		$^\circ C$
SDA AND SCL I/O STAGE (Note 6)						
SCL, SDA Input High Voltage	V_{IH}	SCL, SDA pulled to 1.8V	1.0			V
SCL, SDA Input Low Voltage	V_{IL}	SCL, SDA pulled to 1.8V		0.4		V
SCL, SDA Input Leakage Current	$I_{SCL_SDA_LKG}$	SCL, SDA pulled to 1.8V, $V_{SCL} = V_{SDA} = 0V$ and 6V	-10	+10		μA
SDA Output Low Voltage	V_{OL}	Sinking 3mA		0.4		V
SCL, SDA Pin Capacitance	C_{IN}	SCL, SDA pulled to 1.8V		10		pF
Fall Time from V_{IH} to V_{IL}	t_{FALL}			120		ns
I ² C Enable Time	t_{I2C_EN}	EN = high to first I ² C command		3.5		ms
I²C-COMPATIBLE INTERFACE TIMING (STANDARD AND FAST MODE) (Note 6)						
Clock Frequency	f_{SCL}		0	400		kHz
Hold Time (REPEATED) START Condition	t_{HD_STA}		0.5			μs

22V、3A 同期整流式降圧コンバータ（超音波モード付き） MAX77726/MAX77727

($T_A \approx T_J$, $V_{IN} = 9V$, $V_{OUT} = 3.3V$ 、代表値は $T_A \approx T_J = +25^\circ C$ での値です。制限値は $T_J = +25^\circ C$ で 100%製品テストがなされています。MAX77726/MAX77727 は $T_A \approx T_J$ となるようなパルス負荷条件下でテストされています。動作温度範囲 ($T_J = -40^\circ C \sim +125^\circ C$) および動作電圧範囲における制限値は、統計的プロセス制御の方法を使用した設計および特性評価により確保されています (Note 2)。)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SCL Low Period	t_{LOW}		1.3			μs
SCL High Period	t_{HIGH}		0.6			μs
Setup Time (REPEATED) START Condition	t_{SU_STA}		0.6			μs
Data Hold Time	t_{HD_DAT}		0			ns
Data Setup Time	t_{SU_DAT}		100			ns
Setup Time for STOP Condition	t_{SU_STO}		0.5			μs
Bus Free Time Between STOP and START Conditions	t_{BUF}		1.3			μs
Pulse Width of Suppressed Spikes	t_{SP}	Maximum pulse width of spikes that must be suppressed by the input filter		50		ns

Note 2 : 具体的な動作条件と、ボード・レイアウト、パッケージの定格熱抵抗値、その他の環境条件により、ここに示す仕様に見合った最大周囲温度が決まります。

Note 3 : リップルは含まれません。

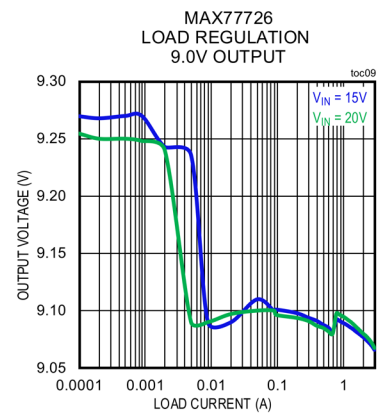
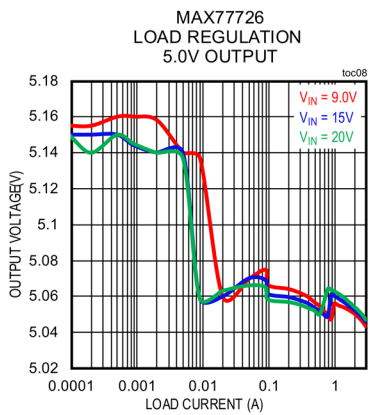
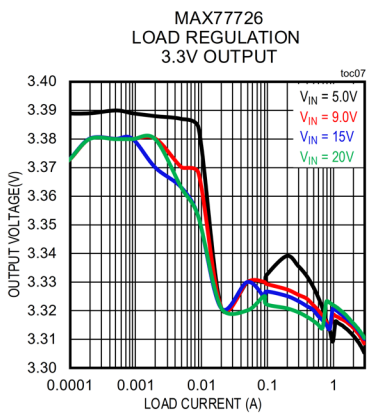
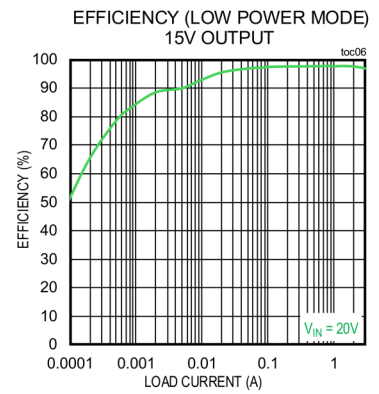
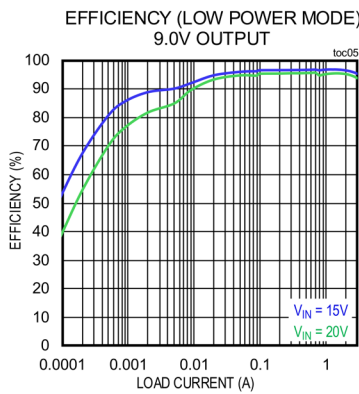
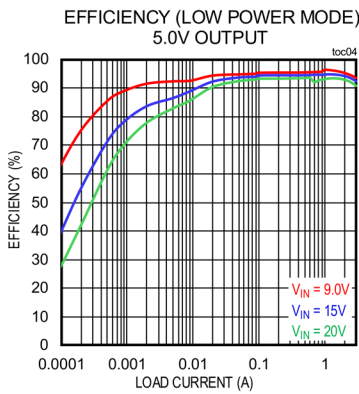
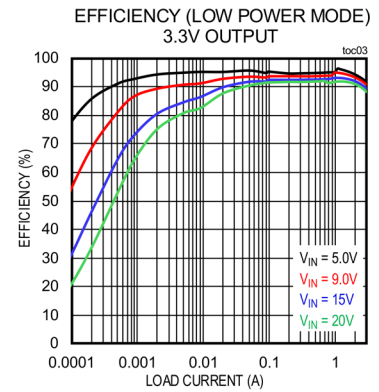
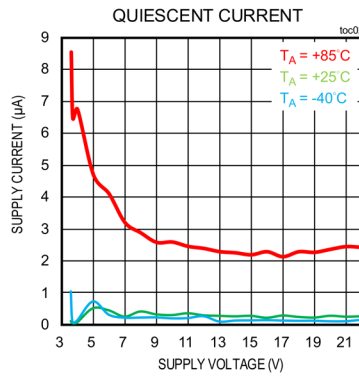
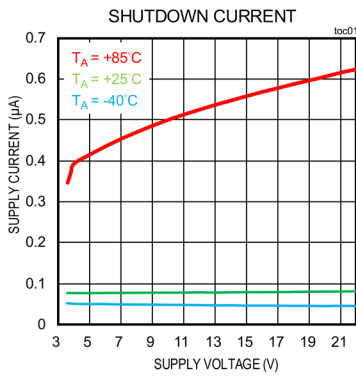
Note 4 : 製品テストの対象外です。設計ガイドラインのみ。

Note 5 : これは DC での測定結果です。

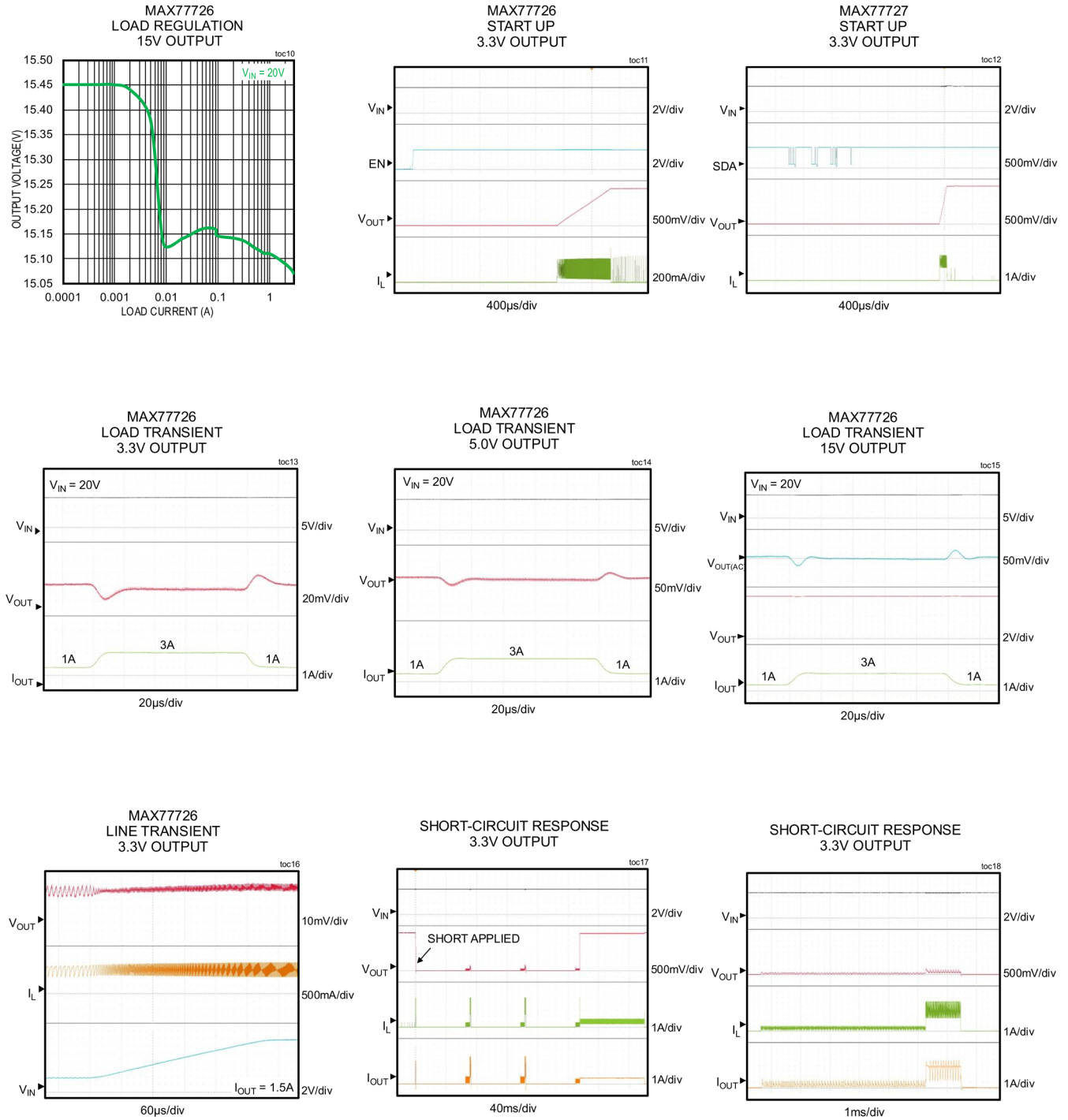
Note 6 : MAX77727 が対象です。設計ガイドラインのみ。製品テストの対象外です。

標準動作特性

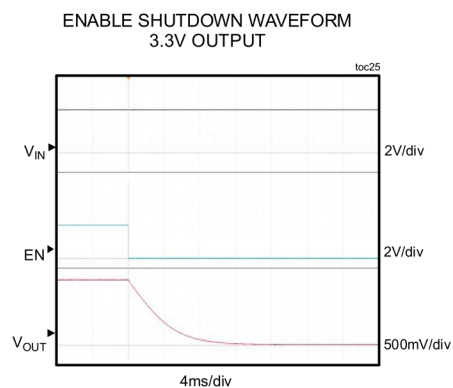
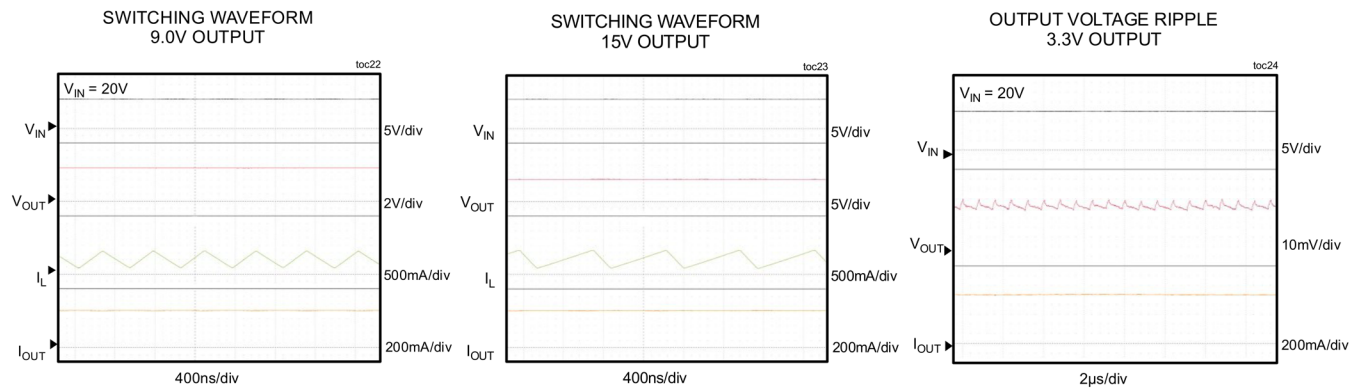
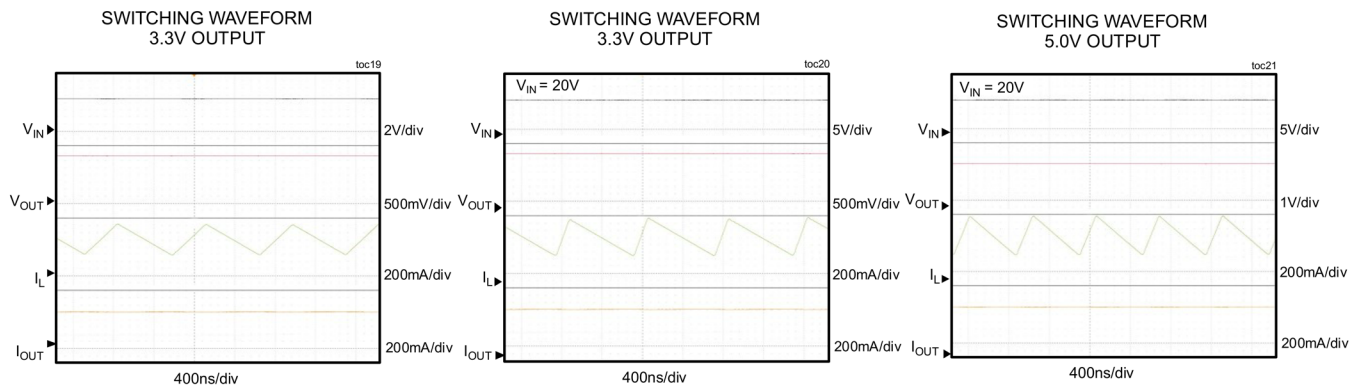
(特に指定のない限り、 $V_{IN} = 9V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、 $L = 2.2\mu H$ (HBLE041H-2R2MS)、 $C_{OUT} = 3 \times 22\mu F + 1 \times 47\mu F$ 、 $T_A = +25^\circ C$ 。)



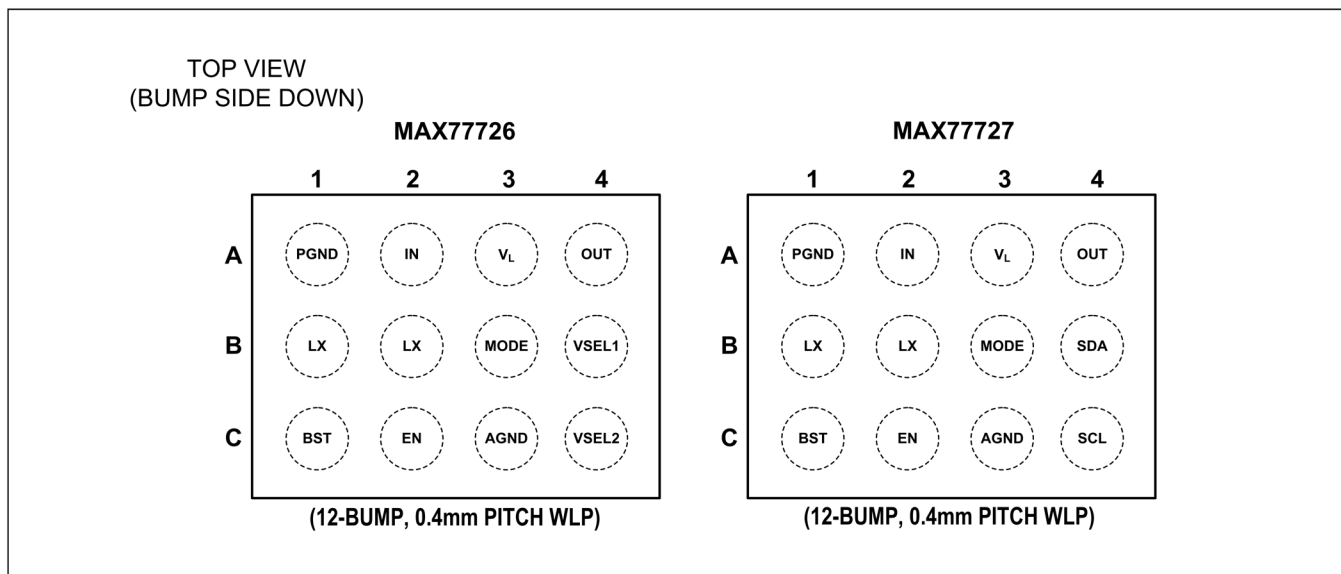
(特に指定のない限り、 $V_{IN} = 9V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、 $L = 2.2\mu H$ (HBLE041H-2R2MS)、 $C_{OUT} = 3 \times 22\mu F + 1 \times 47\mu F$ 、 $T_A = +25^\circ C$ 。)



(特に指定のない限り、 $V_{IN} = 9V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、 $L = 2.2\mu H$ (HBLE041H-2R2MS)、 $C_{OUT} = 3 \times 22\mu F + 1 \times 47\mu F$ 、 $T_A = +25^\circ C$ 。)



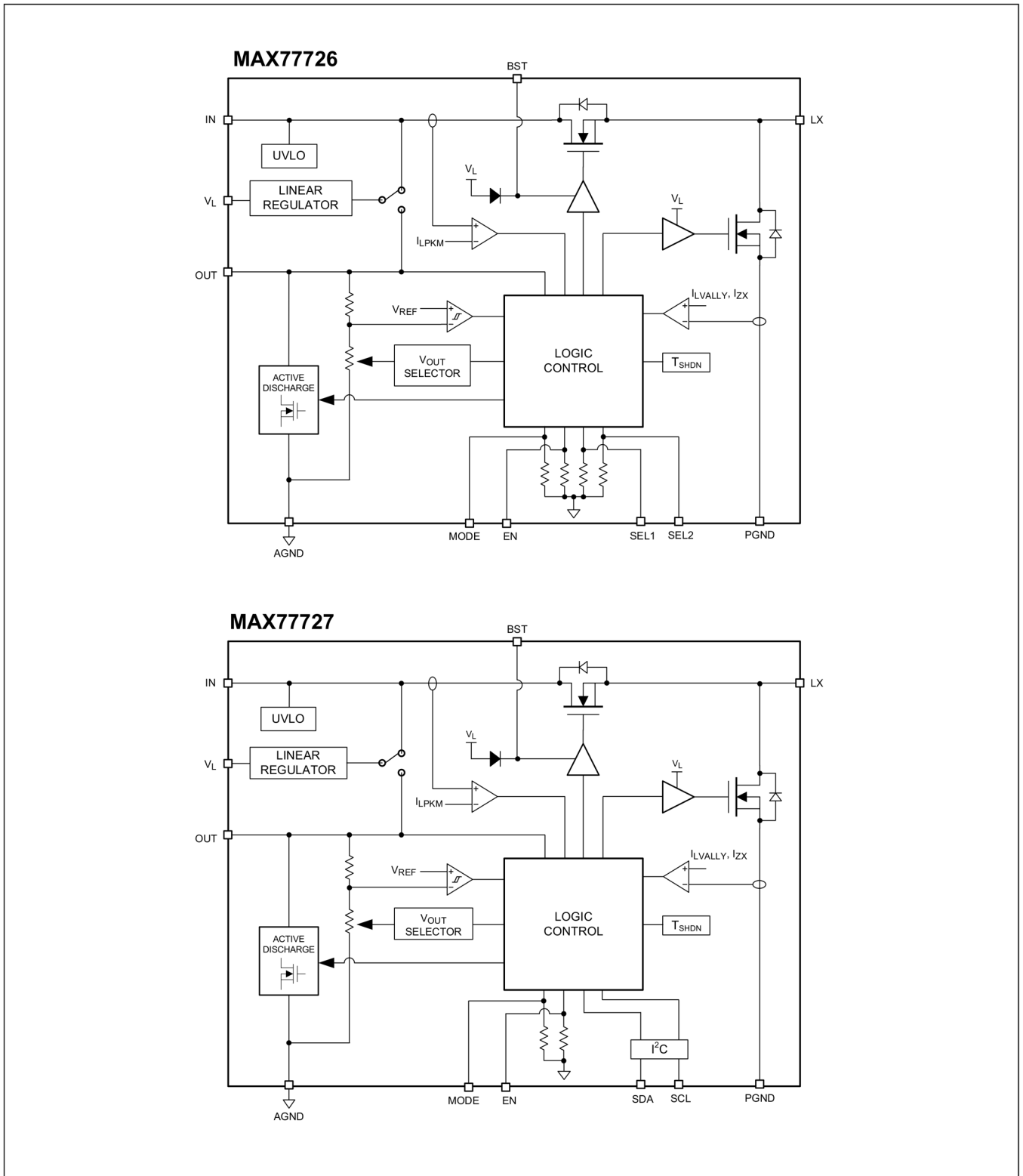
ピン配置



端子説明

端子	名称	機能	タイプ
A1	PGND	電源グランド・ピン。システムのグランドに接続します。	Ground
A2	IN	入力電源ピン。このピンは、10μF のセラミック・コンデンサを使って、グランドにバイパスします。コンデンサは、IN ピンと PGND ピンに短い配線で接続します。アプリケーション固有の要件によって、追加の容量が必要になる場合があります。	Power
A3	VL	1.8V 内部レギュレータの出力ピン。このピンと AGND の間には 1.0μF のコンデンサを接続してください。	Power
A4	OUT	出力電圧検出ピン。出力電圧のコンデンサまたはリモート・システム電圧の検出点に接続します。	Analog
B1, B2	LX	スイッチング・ノード・ピン。このピンと出力電圧ノードの間にインダクタを接続します。	Power
B3	MODE	MAX77726 : 軽負荷状態で超音波モード (USM) と低消費電力モード (LPM) を選択するモード選択ピン。このピンは、ソフトスタートが終了し、出力がレギュレーションに達した後に有効になります。300kΩ のプルダウン抵抗を内蔵しています。 MAX77727 : MODE ピンは AGND に接続します。レジスタを使用して LPM、USM、FPWM のモードを切り替えます。	Digital
B4	VSEL1	MAX77726 : 電圧選択ピン 1。300kΩ のプルダウン抵抗を内蔵しています。	Digital
B4	SDA	MAX77727 : I ² C データ入出力。	Digital
C1	BST	ハイサイド MOSFET を駆動するブートストラップ・ピン。LX ピンと BST ピンの間には、ループ・インダクタンスを最小限に抑えた状態で 0.22μF のコンデンサを接続してください。	Power
C2	EN	イネーブル入力ピン。このピンの電圧を 1.0V より高くすると、コンバータがイネーブルされます。このピンの電圧を 0.3V より低くすると、デバイスがディスエーブルされます。ディスエーブルされると、出力はアクティブ放電回路を経由して放電されます。この機能を使わない場合は、IN に接続してください。300kΩ のプルダウン抵抗を内蔵しています。	Digital
C3	AGND	アナログ・グランド・ピン。システムのグランド・ネットに接続します。	Ground
C4	VSEL2	MAX77726 : 電圧選択ピン 2。300kΩ のプルダウン抵抗を内蔵しています。	Digital
C4	SCL	MAX77727 : I ² C クロック入力。	Digital

機能ブロック図



詳細説明

MAX77726/MAX77727 は小型で高効率のナノパワー降圧 DC/DC コンバータです。この降圧コンバータは同期整流と内部電流モード補償を使用しており、3.6V~22V の入力電源電圧で動作します。詳細については、[機能ブロック図](#)を参照してください。

MAX77726/MAX77727 は電流制御のヒステリシス・トポロジを使用しています。この降圧コンバータは、インダクタ電流を検出して疑似固定インダクタ・リップル電流を実現し、これにより標準動作条件下 ($V_{IN} = 9V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、 $2.2\mu H$ インダクタを使用) の CCM 動作でスイッチング周波数は約 1.2MHz になります。スイッチング周波数は動作条件に応じて変動し、疑似固定インダクタ電流リップルに対応します。

DCM 動作時には、降圧コンバータはインダクタ電流が目標の電流制限スレッシュホールドに達するまでハイサイド MOSFET をオンにします。その後はローサイド MOSFET をオンにして、インダクタ電流が I_{LX} を下回る（ゼロ交差）までインダクタに蓄えられたエネルギーを供給します。負荷電流の増加によってゼロ交差が検出されなくなると、降圧コントローラはピーク電流制限スレッシュホールドを引き上げて、同じプロセスを繰り返します。ゼロ交差が検出されなくなると、デバイスは CCM に遷移します。

OUT ピンで検出された出力電圧が、低消費電力モードの目標出力電圧レベルの一定のパーセンテージ ($V_{OUT_ACC_LPM}$) に達すると、降圧コンバータは低消費電力モードに遷移し、インダクタ電流のゼロ交差が検出されるたびに制御回路をオフにします。低消費電力モードでは、40ms ごとにコントローラがウェイクアップして、出力電圧がまだ $V_{OUT_ACC_LPM}$ より高いかどうかをチェックします。降圧コントローラがウェイクアップしているときに出力電圧が $V_{OUT_ACC_LPM}$ に達すると、LX のスイッチングを開始します。出力電圧が $V_{OUT_ACC_LPM}$ より 10mV 低くなると、降圧コントローラは直ちに低消費電力モードを終了します。

出カインネーブル制御

MAX77726 には、デバイスをオンにするために使用する EN ピンがあります。このピンは、別の電源に接続することも、IN にプルアップすることもできます。EN ピンがハイに引き上げられると、MAX77726 はソフトスタート・プロセスを開始し、降圧コンバータを目標の出力電圧に近づけようとします。EN ピンがローになると、MAX77726 は直ちにスイッチングを停止し、[出力電圧のアクティブ放電](#)のセクションに示す出力電圧のアクティブ放電回路をオンにします。MAX77727 には ENABLE レジスタもあり、デフォルトではディスエーブルになっています。これは、PC インターフェースでオンにする必要があります。EN の機能については[表 1](#)を参照してください。

表 1. MAX77726 と MAX77727 のインネーブル

	ENABLE PIN	ENABLE REGISTER	BUCK CONVERTER
MAX77726	0	X	Disabled
	1	X	Enabled
MAX77727	0	X	Disabled
	1	0	Disabled
	1	1	Enabled

起動

MAX77726 と MAX77727 のいずれでも、EN ピンがロジック・ハイになると、内部リファレンス回路とバイアス回路がスタートアップし、出力電圧の目標レベルが OTP メモリから読み込まれます。MAX77727 では、I²C 機能も有効になります。インネーブル・コマンドが与えられると（MAX77726 では EN ピン、MAX77727 では EN レジスタ）、2.5ms 前後のスタートアップ遅延時間で降圧コンバータがソフトスタートを開始します。ソフトスタート機能の目的は、（出力コンデンサに向かう突入電流により）降圧コンバータでの入力電源からの電流引き込みが過剰になるのを防止することです。起動が開始すると、スタートアップ・タイマーが約 5ms（代表値）の計時を開始します。この期間中、起動を完了させるために OCP 機能は無効化されます。タイマーの時間が経過すると、OCP 検出が有効になります。アプリケーション条件に応じて、電流供給能力に十分な設計マージンを確保する必要があります。

シャットダウン

EN ピン（あるいは EN レジスタ）がロジック・ロー・スレッシュホールドにプルダウンされると、降圧コンバータはスイッチングを停止して、出力が放電されるまで出力電圧放電回路をオンにします。

目標出力電圧

MAX77726 には VSEL1 ピンと VSEL2 ピンがあり、これらに様々なロジック・レベルを与えることにより、手軽に出力電圧の設定が可能です。3.3V、5V、9V、15V のプリセット電圧をサポートしています。VSEL ピンの設定の詳細については、[表 2](#)を参照してください。

22V、3A 同期整流式降圧コンバータ（超音波モード付き） MAX77726/MAX77727

一方、MAX77727 のデフォルト出力電圧は 1.8V で、電圧の調整には I²C 通信が必要です。調整の分解能は、1.8V~4.9V では 100mV 刻み、5V~15V では 250mV 刻みです。ハイからローへの遷移は、OUT のアクティブ放電回路を使用して行われます。上記以外の目標電圧レベルが必要な場合は、アナログ・デバイセズにお問い合わせください。

出力電圧の補償

大電流アプリケーションへの対応として、MAX77726 には出力電圧の自動オフセット機構が備えられており、全負荷範囲にわたって ($V_{OUT} = 5V \sim 15V$) 安定化出力電圧を 1% 高くします。例えば、出力が 5V にプログラムされているとき、デバイスは出力を約 5.05V にします。この意図的なオフセットにより、電力供給パスでの抵抗による電圧降下を補償し、全負荷条件でもポイントオブロードでの電圧を仕様範囲内に維持できるようにします。この出力電圧の補償は MAX77726 の高電圧レンジ ($V_{OUT} = 5V \sim 15V$) にのみ適用されることに注意してください。MAX77727 の高電圧に関する要件については、アナログ・デバイセズにお問い合わせください。

スイッチ電流制限

MAX77726/MAX77727 には、ハイサイド MOSFET におけるサイクルごとのスイッチ電流制限値 (ILIM) があります。ピーク電流制限がトリガされると、降圧コンバータは直ちにハイサイド MOSFET をオフにし、ローサイド MOSFET がインダクタ電流の放電を開始します。ハイサイド MOSFET は、インダクタ電流が ILIM の 50% に達するまでオフのままになります。ピーク電流制限イベントが 128 回以上連続して検出された場合、MAX77726/MAX77727 はヒックアップ・モードになり、ハイサイドとローサイド両方の MOSFET を約 60ms の間オフにしてから、改めてスタートアップを試みます。ローサイド MOSFET でゼロ交差が検出されると、OUT ピンの電圧がその目標出力電圧を下回るまで、ハイサイド MOSFET とローサイド MOSFET の両方がオフになります (LX ノードが高インピーダンス状態)。

出力配線パターンが長く、過度の寄生インダクタンスが存在すると、過電流保護 (OCP) イベント時に V_{OUT} で負の電圧トランジェントが発生し、デバイスを損傷する可能性があります。このような負のリングングを抑制するために、出力に外付けのショットキー・バリア・ダイオード (SBD) を配置して、クランプ保護を行うことを推奨します。

出力電圧のアクティブ放電

MAX77726/MAX77727 が EN ピン、EN レジスタ、UVLO フォルト・イベント発生のいずれかによってディスエーブルされると、アクティブ放電回路が作動し、出力コンデンサに蓄えられたエネルギーを放電します。アクティブ放電回路が作動すると、OUT ピンと AGND の間にオープン・ループ電流源 (FET) が接続されます。FET による放電構造であるため、放電電流は安定化されません。MOSFET 固有の特性により、 V_{OUT} (すなわち V_{DS}) によっても放電電流が影響を受けます。 $V_{OUT} = 15V$ においては、放電電流は代表値で約 50mA で、最大電流は約 200mA です (設計により確保)。システム設計にあたっては、パワーダウン・シーケンスの挙動を注意深く検証し、放電電流のばらつきが大きいことを考慮し、MOSFET の消費電力が適切であるか評価します。

低電圧ロックアウト

動作中に入力電圧が UVLO 立下がりスレッショルド (V_{UVLO_F}) を下回ると、MAX77726/MAX77727 は直ちに降圧出力をディスエーブルします。EN ピンがハイに保持されていれば、入力電圧が UVLO の立上がりスレッショルド (V_{UVLO_R}) を上回ると、MAX77726/MAX77727 は起動の手順を自動的に再開します。

サーマル・シャットダウン

ジャンクション温度が 150°C (代表値) を超えると降圧コンバータ出力がディスエーブルされて、ジャンクション温度がサーマル・シャットダウン・ヒステリシス・レベル (代表値 130°C) を下回るまで再スタートできなくなります。

アプリケーション情報

電圧の選択 (MAX77726)

出力電圧は表 2 に従って選択されます。

表 2. VSEL ピンと VOUT の設定

VSEL1	VSEL2	V _{OUT} (V)
H	H	15.0
H	L	9.0
L	H	3.3
L	L	5.0

VSEL1 ピンと VSEL2 ピンには、300kΩ のプルダウン抵抗が内蔵されています。

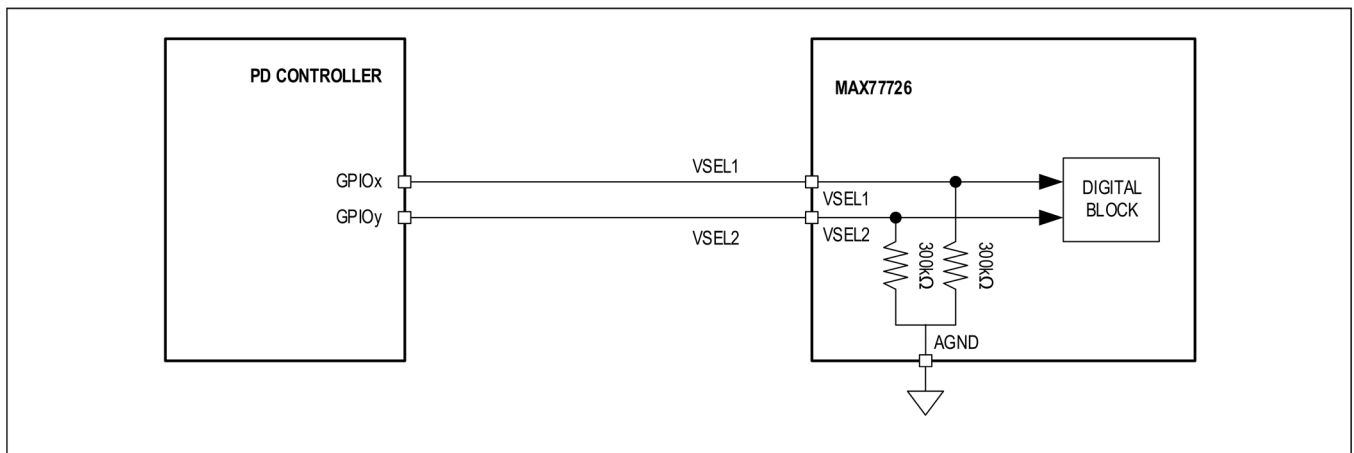


図 1. VSELx のプルダウン抵抗

モード選択

MAX77726/MAX77727 デバイスでは、自己消費電流が非常に低い低消費電力モード（LPM）に加えて、超音波モード（USM）と強制 PWM モード（FPWM）を含めた柔軟な動作モードのオプションが提供されています。表 3 は、MAX77726 と MAX77727 で USM や FPWM にするための設定オプションを示しています。

- **USM**：超音波モード（USM）では、33kHz（代表値）の最小スイッチング周波数でシームレスにコンバータが動作し、軽負荷動作時に音響ノイズの妨害が発生しないようにします。超音波モードの選択は、MODE ピンの設定または MODE レジスタの設定により行います。
- **FPWM**：コンバータは出力負荷の全範囲にわたり一定のスイッチング周波数を維持し、高速な過渡応答と良好なリップル性能が得られます。インダクタ電流はオフ時には負（逆電流）になることが許容され、連続導通モード（CCM）を維持します。これにより、軽負荷時や無負荷の条件でもスイッチング周波数を一定に維持できます。FPWM 機能は現在 MAX77727 のみで有効です。MAX77726 での FPWM のサポートについては、アナログ・デバイセズにお問い合わせください。

表 3. MAX77726/MAX77727 での LPM/USM/FPWM の選択

	MODE PIN STATE	BCK_CFG2 BIT [6]	BCK_CFG1 BIT [5]	OPERATION
MAX77726	0	N/A	N/A	Low Power Mode
	1	N/A	N/A	Ultrasonic Mode
MAX77727	0	0	0	Low Power Mode
	0	1	0	Ultrasonic Mode
	0	0	1	Forced PWM Mode

ドロップアウト・モードの選択

ハイサイド MOSFET のオン時間が約 20μs を超過すると、MAX77726/MAX77727 は自動的にドロップアウト・モードに入ります。一般的にこの条件は、 V_{IN} が V_{OUT} に近くなり、コンバータが通常の降圧スイッチング動作を継続できなくなったときに発生します。ドロップアウト・モードでは、ハイサイド MOSFET は完全にオンになり、 V_{OUT} は V_{IN} から伝導損失を減じた電圧に追随します。

V_{IN} が V_{OUT} に接近すると、内部の制御メカニズムの作用により、降圧モード（DCM/CCM/USM）のスイッチング周波数は徐々に低下し、非常に低い周波数帯になる場合があります。降圧モードとドロップアウト・モードの間での周波数帯の振動を防止するために、十分な電圧ヘッドルームを維持することを推奨します。例えば V_{OUT} を V_{IN} より 1.5V 以上低くします ($V_{OUT} \leq V_{IN} - 1.5V$)。

ドロップアウト・モード動作では、 V_{IN} は目標の V_{OUT} レベルと同一以下になっているはずですが、高負荷時には、実効入力容量が負荷電流を維持する必要があり、特に注意を払う必要があります。ドロップアウト動作時に安定した入力電圧リップルを維持するために、（DC バイアスと部品の許容誤差を計算に入れたうえで）実効入力容量を 10μF より大きくすることを推奨します。

インダクタの選択

インダクタは、最大ピーク電流制限設定値 (ILIM) 以上の飽和電流を持つものを選択してください。飽和電流が低く DCR 定格が高いインダクタは、物理的に小さい傾向があります。DCR 値が高いと、降圧効率が低下します。インダクタの実効電流定格（温度の上昇が確認できる電流値）は、予想されるシステム負荷電流に基づいて選択します。降圧コンバータが電圧レギュレーションを維持できるように、選択するインダクタの値は、ピーク・インダクタ・リップル電流 (I_{PEAK}) がハイサイド MOSFET のピーク電流制限値 (I_{LIM}) より低くなるようにします。デバイスの動作範囲全体に対し、2.2μH の値のインダクタを推奨します。

入力コンデンサの選択

入力容量 (C_{IN}) を十分な量にすると、V_{IN} リップルを最小化できます。一般的な降圧動作では、2μF の実効容量を維持できるよう、入力コンデンサ (C_{IN}) には公称 10μF のコンデンサを選択します。ドロップアウト・モード動作時の C_{IN} の要件については、[ドロップアウト・モードの選択](#)のセクションを参照してください。これより大きな値のものを用いると、コンバータのデカップリングは改善されますが、電圧源接続時の突入電流が大きくなります。C_{IN} は降圧動作時に入力電源から流れ込む電流のピーク値を減少させ、システムのスイッチング・ノイズを除去します。

出力コンデンサの選択

降圧コンバータの安定動作のためには、十分な出力容量 (C_{OUT}) が必要です。C_{OUT} の実効値は、動作時の降圧出力から見た実際の容量値です。C_{OUT} の実効値は、コンデンサの初期許容誤差、温度による変動、DC バイアスによるディレーティングを考慮して、慎重に選択する必要があります。X5R または X7R の誘電体を用いたセラミック・コンデンサはサイズが小さく、低 ESR で温度係数も小さいので、これらのコンデンサの使用を強く推奨します。どのセラミック・コンデンサも、DC バイアス電圧があるとディレーティングします (DC バイアス増加に伴い実効容量が低減)。一般的に、ケース・サイズの小さなコンデンサはケース・サイズの大きなものと比較して、この低下度合いが大きくなります (0603 のケース・サイズの方が 0402 より高性能)。メーカーのデータシートを参照し、慎重に実効容量を検討してください。詳細については、チュートリアル 5527 を参照してください。または、サポートに関してアナログ・デバイセズにお問い合わせください。

適切な出力電圧リップルを確保し、FBHI スレッショルドが誤ってトリガされないようにするため、出力コンデンサは実効最小容量の要件を満たす必要があります。表 4 は、無負荷条件での各 V_{OUT} 区間について代表的な最小 C_{OUT} を示しています。最終的な出力容量値の決定にあたっては、システム設計者は実負荷プロファイルとアプリケーションでの DVS 範囲を評価する必要があります。

表 4. 推奨される実効出力容量の最小値

V _{OUT} RANGE (V)	RECOMMENDED MINIMUM EFFECTIVE OUTPUT CAPACITANCE (μF)
1.8 ≤ V _{OUT} < 3.3	120
3.3 ≤ V _{OUT} < 5	80
5 ≤ V _{OUT} < 15	60
V _{OUT} = 15	20

C_{OUT} を大きいものにすると、出力リップルと負荷過渡応答が改善します。その一方で設計者は、ソフトスタート期間の起動突入電流への影響を評価し、ループ安定化のために十分な位相マージンが残っているかを検証する必要があります。起動に関する設計上の考慮事項に関する追加的なガイドについては、[起動](#)のセクションを参照してください。表 5 は、代表的な無負荷アプリケーションに対する推奨最大 C_{OUT} を示しています。表 5 に示す容量の範囲外で動作するアプリケーションについては、アナログ・デバイセズにお問い合わせいただき、包括的なシステム・レベルの評価を実施してください。

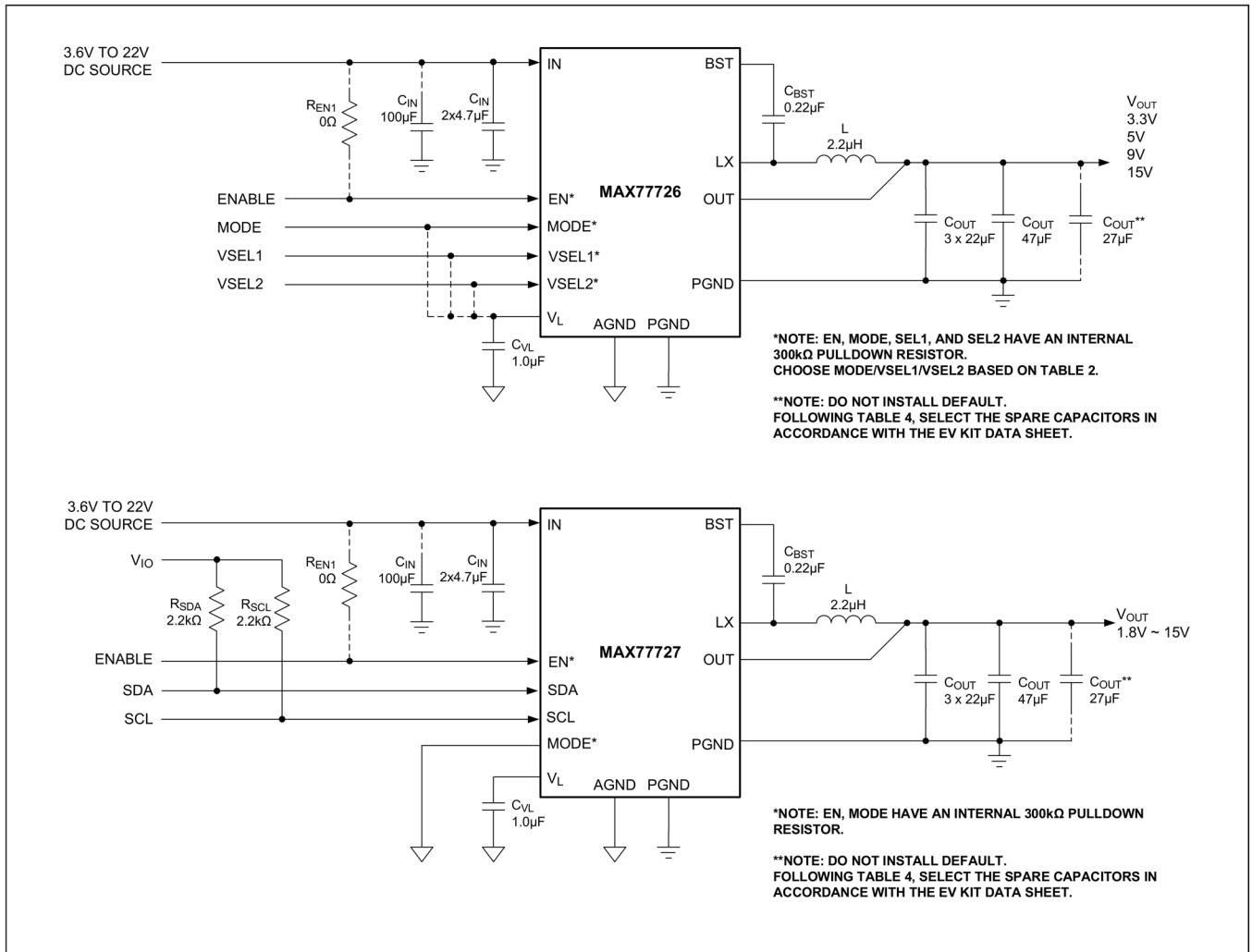
表 5. 推奨される実効出力容量の最大値

V _{OUT} RANGE (V)	RECOMMENDED MAXIMUM EFFECTIVE OUTPUT CAPACITANCE (μF)
1.8 ≤ V _{OUT} ≤ 4.9	200
5 ≤ V _{OUT} ≤ 15	100

ブートストラップ・コンデンサの選択

スイッチ MOSFET の内部ゲート駆動を正しくバイアスするには、十分なブートストラップ容量が必要です。ブートストラップ・コンデンサ C_{BST} は値が 0.22μF のものを選択します。電圧定格が 2.5V 以上であることを確認してください。MOSFET のゲート・ドライバ電源を安定させるためには、1.8V DC バイアスでの最小実効容量を 0.18μF (おおむね 0.22μF の 20%減) より大きくすることを推奨します。

標準アプリケーション回路



レイアウトのガイドライン

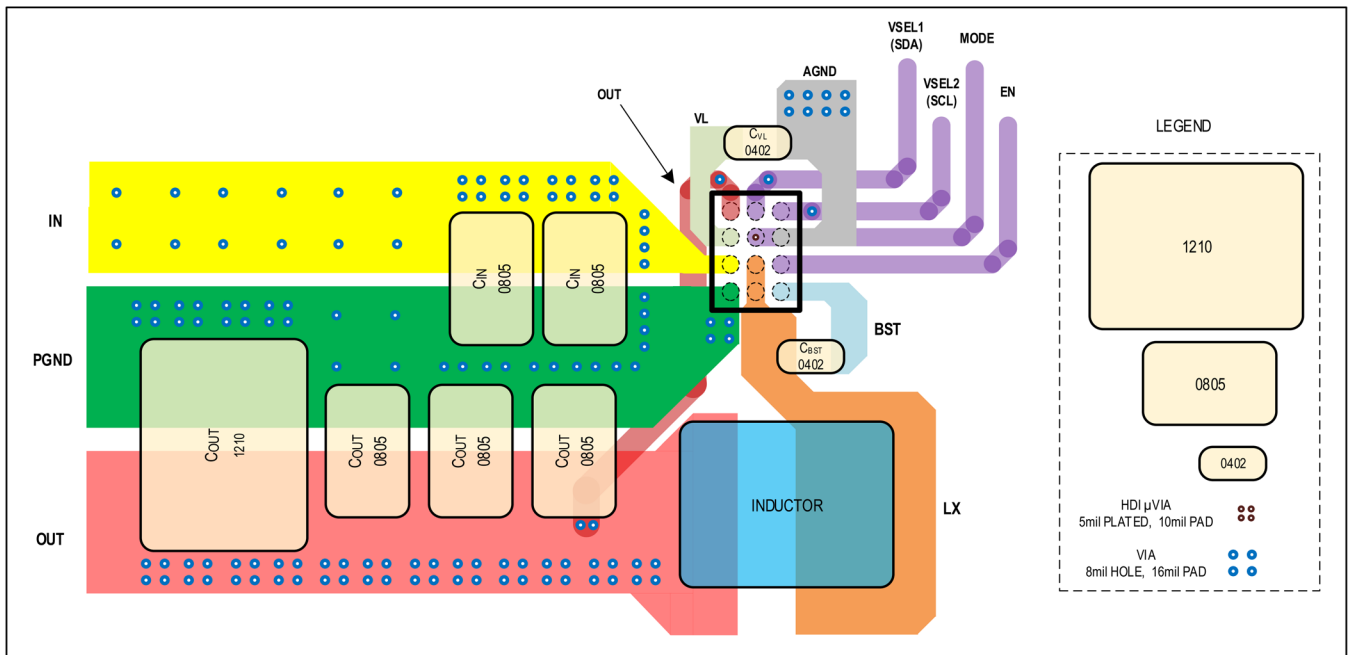


図 2. レイアウトのガイドライン

優れた PCB レイアウトにより、スイッチング損失や伝導損失が低減し、電力の流れがスムーズになり、制御信号が整うため、製品の性能が最適化されます。MAX77726/MAX77727 のピン配置では、電力と信号のステージが分離されており、クリーンなレイアウトが可能です。これを踏まえて、図 2 にはアナログ・デバイセス推奨の MAX77726/MAX77727 の PCB レイアウトを示しています。ここに示したのは HDI PCB レイアウトのみですので、非 HDI の PCB に関するサポートについては、アナログ・デバイセスにお問い合わせください。

以下に、PCB レイアウトの要点を示します。

- 入出力コンデンサは IC ピンに近づけて配置します：IC は高周波数で動作するため、このレイアウトによりループ・インダクタンスに起因するリンギングが最小化され、過渡応答が改善されます。更に、C_{OUT} を IC に近づけて配置することを推奨します。C_{OUT} を経由して流れる AC リップル電流もあるからです。C_{OUT} が遠すぎると、パスの長さにより ACR 損失が増加します。
- BST コンデンサは、できるだけ IC に近づけて配置してください：BST コンデンサは、内蔵ハイサイド (HS) スイッチに V_{GS} 電圧を与えます。HS ドライバの電力品質を維持できるよう、ピンのできるだけ近くに配置します。
- LX ノードの配置：降圧回路の LX ノードの dv/dt は大きいため、LX パスには最上層を使用し、その直下に PGND 層をシールドとして設けることを推奨します。これによって同軸ケーブル効果が生じて放射干渉を防止できます。
- 出力検出：OUT は出力電圧帰還ピンであり、MLCC (C_{OUT}) に接続し、ケルビン接続で IC に接続を戻します。これはアクティブ放電パスとしても機能します。そのため、この経路の通電容量について注意を払う必要があります。
- ビアの配置：ビアの数と直径は動作周波数に依存します。表皮効果のため、高周波数では直径を小さくし数を増やすことが望まれます。また、PCB の厚さや層数などの要因でも変化します。更に、信頼性のためには、WLP パッケージの垂直方向の IC ピンの下では、機械的な孔あけではなくレーザー孔あけによるビアのみを使用します。
- PGND と AGND の配置：PGND バンプは、ピンに隣接して配置したビアを介して PCB の低インピーダンス・グラウンド・プレーンに接続します。PGND の島はホット・ループを遮るおそれがあるため、PGND の島を形成することのないようにしてください。AGND と AGND の島は PCB の低インピーダンス・グラウンド・プレーン (PGND と同じネット) に接続します。
- セラミック・コンデンサの DC 電圧ディレーティングを見逃さないようにしてください：コンデンサの値とケース・サイズを慎重に選択します。詳細情報については、MAX77726/MAX77727 IC のデータシートの出力コンデンサの選択のセクションとチュートリアル 5527 を参照してください。

レジスタ・マップ

FUNC

I²C スレーブ・アドレス

MAX77727 のスレーブ・アドレスは 1 つです。最下位ビットは、読出し/書込みインジケータです（読出しの場合は 1、書込みの場合は 0）。

- PMIC (SID) : 0x44/0x45

ADDRESS	NAME	MSB							LSB
PMIC_FUNC									
0x00	PMIC_ID[7:0]	ID[7:0]							
0x01	PMIC_REV[7:0]	PMIC_REV_RSVD_7_4[3:0]				REV[3:0]			
0x02	VOUT[7:0]	HVOUT	VOUT_SPR_6	VOUT[5:0]					
0x03	BCK_CNFG1[7:0]	-	-	FPWM	-	-	-	-	-
0x04	BCK_CNFG2[7:0]	BUCK_DIS	MODE	-	-	-	-	-	-
0x09	STATUS_LATCH[7:0]	-	-	-	-	-	PLIM	TLIM	VIN_UVLO

レジスタの詳細

PMIC_ID (0x00)

PMIC ID

BIT	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	ID[7:0]							
Reset	0x72							
Access Type	Read Only							

ビットフィールド	ビット	説明
ID	7:0	MAX77727 の ID

PMIC_REV (0x01)

PMIC リビジョン

BIT	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	PMIC_REV_RSVD_7_4[3:0]				REV[3:0]			

Reset		
Access Type	Read Only	Read Only

ビットフィールド	ビット	説明
PMIC_REV_RSVD_7_4	7:4	スペア・ビット、機能なし
REV	3:0	PMIC シリコン・リビジョン

VOUT (0x02)

出力電圧の選択

BIT	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	HVOUT	VOUT_SPR_6	VOUT[5:0]					
Reset								
Access Type	Write, Read	Write, Read	Write, Read					

ビットフィールド	ビット	説明	デコード		
			Value	Enumeration	Decode
HVOUT	7	降圧コンバータ 電圧レンジの高/低選択	0x0		Low voltage range
			0x1		High voltage range
VOUT_SPR_6	6	スペア・ビット、機能なし			
VOUT	5:0	降圧コンバータの出力電圧	Value	HVOUT = 0	HVOUT = 1
			0x0	1.8	5.0
			0x1	1.8	5.0
			0x2	1.8	5.0
			0x3	1.8	5.0
			0x4	1.8	5.0
			0x5	1.8	5.0
			0x6	1.8	5.0
0x7	1.8	5.0			

ビットフィールド	ビット	説明	デコード		
			0x8	1.9	5.25
			0x9	2.0	5.5
			0xA	2.1	5.75
			0xB	2.2	6.0
			0xC	2.3	6.25
			0xD	2.4	6.5
			0xE	2.5	6.75
			0xF	2.6	7.0
			0x10	2.7	7.25
			0x11	2.8	7.5
			0x12	2.9	7.75
			0x13	3.0	8.0
			0x14	3.1	8.25
			0x15	3.2	8.5
			0x16	3.3	8.75
			0x17	3.4	9.0
			0x18	3.5	9.25
			0x19	3.6	9.5
			0x1A	3.7	9.75
			0x1B	3.8	10.0
			0x1C	3.9	10.25
			0x1D	4.0	10.5
			0x1E	4.1	10.75
			0x1F	4.2	11.0
			0x20	4.3	11.25
			0x21	4.4	11.5

ビットフィールド	ビット	説明	デコード		
			0x	ビット	値
			0x22	4.5	11.75
			0x23	4.6	12.0
			0x24	4.7	12.25
			0x25	4.8	12.5
			0x26	4.9	12.75
			0x27	4.9	13.0
			0x28	4.9	13.25
			0x29	4.9	13.5
			0x2A	4.9	13.75
			0x2B	4.9	14.0
			0x2C	4.9	14.25
			0x2D	4.9	14.5
			0x2E	4.9	14.75
			0x2F	4.9	15.0
			0x30	4.9	15.0
			0x31	4.9	15.0
			0x32	4.9	15.0
			0x33	4.9	15.0
			0x34	4.9	15.0
			0x35	4.9	15.0
			0x36	4.9	15.0
			0x37	4.9	15.0
			0x38	4.9	15.0
			0x39	4.9	15.0
			0x3A	4.9	15.0
			0x3B	4.9	15.0

ビットフィールド	ビット	説明	デコード		
			Value	Enumeration	Decode
			0x3C	4.9	15.0
			0x3D	4.9	15.0
			0x3E	4.9	15.0
			0x3F	4.9	15.0

BCK_CNFG1 (0x03)

降圧コンバータ制御レジスタ 1

BIT	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	–	–	FPWM	–	–	–	–	–
Reset	–	–		–	–	–	–	–
Access Type	–	–	Write, Read	–	–	–	–	–

ビットフィールド	ビット	説明	デコード		
			Value	Enumeration	Decode
FPWM	5	強制 PWM モード制御ビット	0x0		Low voltage range
			0x1		High voltage range

BCK_CNFG2 (0x04)

降圧コンバータ制御レジスタ 2

BIT	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	BUCK_DIS	MODE	–	–	–	–	–	–
Reset			–	–	–	–	–	–
Access Type	Write, Read	Write, Read	–	–	–	–	–	–

ビットフィールド	ビット	説明	デコード		
			Value	Enumeration	Decode
BUCK_DIS	7	降圧コンバータのディスエーブル制御	0x0		BUCK is enabled
			0x1		BUCK is disabled

ビットフィールド	ビット	説明	デコード		
			Value	Enumeration	Decode
MODE	6	USM 制御ビット	0x0		Disable USM
			0x1		Enable USM

STATUS_LATCH (0x09)

フォルト・ラッチ・レジスタ

BIT	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	–	–	–	–	–	PLIM	TLIM	VIN_UVLO
Reset	–	–	–	–	–		0x0	0x0
Access Type	–	–	–	–	–	Read Clears All	Read Clears All	Read Clears All

4	ビット	説明	デコード		
			Value	Enumeration	Decode
PLIM	2	ピーク制限フォルト	0x0		No fault. Buck ILIM has not been reached IPK.
			0x1		Fault. Buck ILIM has been reached IPK.
			TLIM	1	サーマル・フォルト
0x1		Thermal Protection. Junction temperature is above the thermal limitation (TLIM) threshold.			
VIN_UVLO	0	入力 UVLO			
			0x1		Fault. Fault occurred at least once since the last time this bit was read.

型番

PART NUMBER	TEMP RANGE	PACKAGE	FEATURES
MAX77726AWC+	-40°C to +125°C	12-WLP	VSEL1 and VSEL2 pins to select among four output voltage levels preprogrammed to 5V, 3.3V, 9V, and 15V.
MAX77726AWC+T	-40°C to +125°C	12-WLP	VSEL1 and VSEL2 pins to select among four output voltage levels preprogrammed to 5V, 3.3V, 9V, and 15V.
MAX77727AAWC+	-40°C to +125°C	12-WLP	Output voltage programmable from 1.8V to 15V through I ² C.
MAX77727AAWC+T	-40°C to +125°C	12-WLP	Output voltage programmable from 1.8V to 15V through I ² C.

+ =鉛 (Pb) フリー/RoHS 準拠のパッケージ。

T はテープのリール巻きを示します。

改訂履歴

版数	改訂日	説明	改訂ページ
0	12/25	市場投入のためのリリース	-