

MAX17504

4.5V~60V、3.5A、高効率、同期整流
ステップダウンDC-DCコンバータ、補償内蔵

概要

デュアルMOSFET内蔵の高効率、高電圧、同期整流ステップダウンコンバータのMAX17504/MAX17504Sは、4.5V~60V入力力で動作します。このデバイスは、最大3.5Aで0.9V~90% V_{IN} 出力電圧を供給します。全出力電圧範囲での内部補償によって、外付け部品が不要です。-40℃~+125℃でのフィードバック(FB)のレギュレーション精度は±1.1%です。このデバイスは、エクスポーズドパッドを備えた鉛(Pb)フリーの小型(5mm x 5mm) TQFNパッケージで提供されます。シミュレーションモデルが利用可能です。

このデバイスは、ピーク電流モード制御アーキテクチャを採用し、MODE機能を使用してパルス幅変調(PWM)、パルス周波数変調(PFM)、または断続モード(DCM)制御方式でデバイスを動作させることができます。PWM動作は、全負荷にわたって一定の周波数動作を提供するため、スイッチング周波数に敏感なアプリケーションで役立ちます。PFM動作は、負のインダクタ電流をディセーブルにし、さらに軽負荷時にはパルスをスキップして高効率を実現します。DCMは、軽負荷時に、パルスのスキップではなく、負のインダクタ電流をディセーブルにするだけで、PFMモードよりもさらに軽負荷まで一定の周波数動作を提供します。DCM動作は、PWMモードとPFMモードの間に位置する効率性能を提供します。MAX17504Sはより低い最小オン時間を提供し、より高いスイッチング周波数とより小型のソリューションサイズを可能にします。

設定可能なソフトスタート機能によって、入力の突入電流を低減することができます。また、所望の入力電圧レベルでデバイスをオンにすることができる出力イネーブル/低電圧ロックアウト端子(EN/UVLO)も備えています。出力電圧の安定化を問題なく達成すると、オーブンドレインRESET端子は、遅延を備えたパワーグッド信号をシステムに提供します。

アプリケーション

- 産業用電源
- 分散電源レギュレーション
- 基地局電源
- 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
- 汎用PoL (Point-of-Load)

利点と特長

- 外付け部品の排除によるコストの削減
 - ショットキーなしの同期動作による高効率とコスト削減
 - 内部補償によってすべての出力電圧で安定した動作
 - 全セラミックコンデンサソリューション：わずか8つの外付け部品による超小型レイアウト
- DC-DCレギュレータの在庫数を削減
 - 広い入力電圧範囲：4.5V~60V
 - 出力電圧：0.9V~90% V_{IN}
 - 全温度範囲で最大3.5Aを供給
 - 外部同期によって調整可能な周波数：100kHz~2.2MHz
 - MAX17504Sはより高い動作周波数が可能
 - 5mm x 5mmの20ピンTQFNパッケージで提供
- 消費電力を低減
 - ピーク効率：90%以上
 - PFMおよびDCMモードによって軽負荷時の高効率を実現
 - シャットダウン電流：2.8μA (typ)
- 高信頼性動作
 - ヒカップモード電流制限とオートリトライ起動
 - 出力電圧監視内蔵(オーブンドレインRESET端子)
 - 抵抗で設定可能なEN/UVLOスレッシュホールド
 - 可変ソフトスタートとプリバイアス起動
 - 40℃~+125℃の高い工業用周囲動作温度範囲/
-40℃~+150℃のジャンクション温度範囲

型番はデータシートの最後に記載されています。

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

V_{IN} to PGND	-0.3V to +65V	SGND to PGND.....	-0.3V to +0.3V
EN/UVLO to SGND	-0.3V to +65V	LX Total RMS Current	±5.6A
LX to PGND.....	-0.3V to ($V_{IN} + 0.3V$)	Output Short-Circuit Duration	Continuous
BST to PGND	-0.3V to +70V	Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ\text{C}$) (multilayer board)	
BST to LX.....	-0.3V to +6.5V	TQFN (derate 33.3mW/°C above $T_A = +70^\circ\text{C}$).....	2666.7mW
BST to V_{CC}	-0.3V to +65V	Junction Temperature.....	+150°C
FB, CF, RESET, SS, MODE, SYNC,		Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
RT to SGND	-0.3V to +6.5V	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
V_{CC} to SGND	-0.3V to +6.5V	Soldering Temperature (reflow)	+260°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Package Information

PACKAGE TYPE: 20 TQFN	
Package Code	T2055+4
Outline Number	21-0140
Land Pattern Number	90-0009
THERMAL RESISTANCE, FOUR-LAYER BOARD	
Junction to Ambient (θ_{JA})	30°C/W
Junction to Case (θ_{JC})	2°C/W

For the latest package outline information and land patterns (footprints), go to www.maximintegrated.com/jp/packages. Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maximintegrated.com/jp/thermal-tutorial.

Note 1: Junction temperature greater than +125°C degrades operating lifetimes.

Electrical Characteristics

($V_{IN} = V_{EN/UVLO} = 24V$, $R_{RT} = 40.2k\Omega$ (500kHz), $C_{VCC} = 2.2\mu\text{F}$, $V_{PGND} = V_{SGND} = V_{MODE} = V_{SYNC} = 0V$, LX = SS = $\overline{\text{RESET}}$ = open, V_{BST} to $V_{LX} = 5V$, $V_{FB} = 1V$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to +125°C, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ\text{C}$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
INPUT SUPPLY (V_{IN})						
Input Voltage Range	V_{IN}		4.5		60	V
Input Shutdown Current	I_{IN-SH}	$V_{EN/UVLO} = 0V$ (shutdown mode)		2.8	4.5	μA
Input Quiescent Current	I_{Q_PFM}	$V_{FB} = 1V$, MODE = RT= open		118		
		$V_{FB} = 1V$, MODE = open		162		
	I_{Q_DCM}	DCM mode, $V_{LX} = 0.1V$		1.16	1.8	mA
I_{Q_PWM}	Normal switching mode, $f_{SW} = 500\text{kHz}$, $V_{FB} = 0.8V$		9.5			

Electrical Characteristics (continued)

($V_{IN} = V_{EN/UVLO} = 24V$, $R_{RT} = 40.2k\Omega$ (500kHz), $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $V_{PGND} = V_{SGND} = V_{MODE} = V_{SYNC} = 0V$, $LX = SS = \overline{RESET} =$ open, V_{BST} to $V_{LX} = 5V$, $V_{FB} = 1V$, $T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
ENABLE/UVLO (EN/UVLO)						
EN/UVLO Threshold	V_{ENR}	$V_{EN/UVLO}$ rising	1.19	1.215	1.24	V
	V_{ENF}	$V_{EN/UVLO}$ falling	1.068	1.09	1.111	
EN/UVLO Input Leakage Current	I_{EN}	$V_{EN/UVLO} = 0V$, $T_A = +25^\circ C$	-50	0	+50	nA
LDO						
V_{CC} Output Voltage Range	V_{CC}	$6V < V_{IN} < 60V$, $I_{VCC} = 1mA$	4.75	5	5.25	V
		$1mA \leq I_{VCC} \leq 25mA$				
V_{CC} Current Limit	$I_{VCC-MAX}$	$V_{CC} = 4.3V$, $V_{IN} = 6V$	26.5	54	100	mA
V_{CC} Dropout	V_{CC-DO}	$V_{IN} = 4.5V$, $I_{VCC} = 20mA$	4.2			V
V_{CC} UVLO	V_{CC_UVR}	V_{CC} rising	4.05	4.2	4.3	V
	V_{CC_UVF}	V_{CC} falling	3.65	3.8	3.9	
POWER MOSFET AND BST DRIVER						
High-Side nMOS On-Resistance	R_{DS-ONH}	$I_{LX} = 0.3A$		165	325	m Ω
Low-Side nMOS On-Resistance	R_{DS-ONL}	$I_{LX} = 0.3A$		80	150	m Ω
LX Leakage Current	I_{LX_LKG}	$V_{LX} = V_{IN} - 1V$, $V_{LX} = V_{PGND} + 1V$, $T_A = +25^\circ C$	-2		+2	μA
SOFT-START (SS)						
Charging Current	I_{SS}	$V_{SS} = 0.5V$	4.7	5	5.3	μA
FEEDBACK (FB)						
FB Regulation Voltage	V_{FB_REG}	MODE = SGND or MODE = V_{CC}	0.89	0.9	0.91	V
		MODE = open	0.89	0.915	0.936	
FB Input Bias Current	I_{FB}	$0 < V_{FB} < 1V$, $T_A = +25^\circ C$	-50		+50	nA
MODE						
MODE Threshold	V_{M-DCM}	MODE = V_{CC} (DCM mode)	$V_{CC} - 1.6$			V
	V_{M-PFM}	MODE = open (PFM mode)	$V_{CC}/2$			
	V_{M-PWM}	MODE = GND (PWM mode)	1.4			
CURRENT LIMIT						
Peak Current-Limit Threshold	$I_{PEAK-LIMIT}$		4.4	5.1	5.85	A
Runaway Current-Limit Threshold	$I_{RUNAWAY-LIMIT}$		4.9	5.7	6.7	A
Valley Current-Limit Threshold	$I_{SINK-LIMIT}$	MODE = open or MODE = V_{CC}	-0.16	0	+0.16	A
		MODE = GND	-1.8			
PFM Current-Limit Threshold	I_{PFM}	MODE = open	0.6	0.75	0.9	A

Electrical Characteristics (continued)

($V_{IN} = V_{EN/UVLO} = 24V$, $R_{RT} = 40.2k\Omega$ (500kHz), $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $V_{PGND} = V_{SGND} = V_{MODE} = V_{SYNC} = 0V$, $LX = SS = \overline{RESET} =$ open, V_{BST} to $V_{LX} = 5V$, $V_{FB} = 1V$, $T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.) (Note 2)

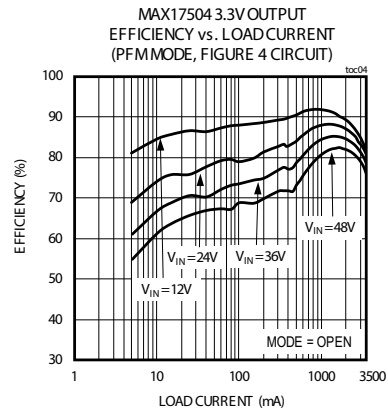
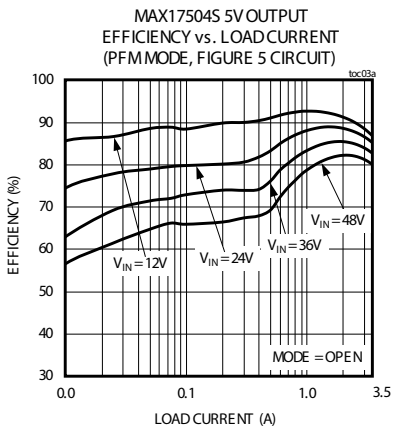
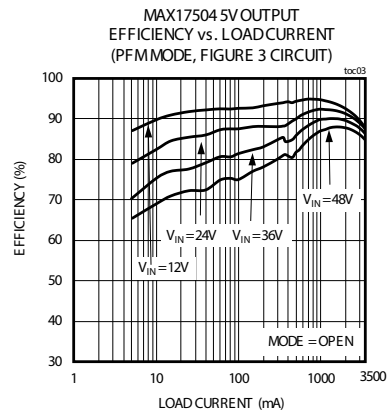
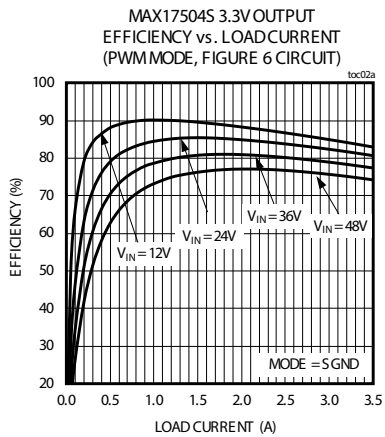
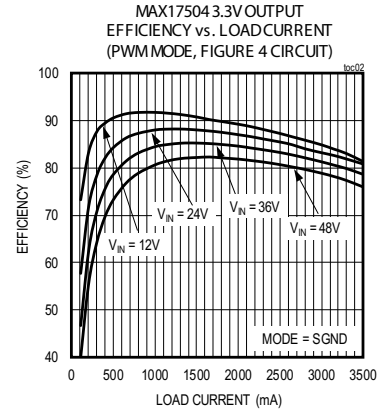
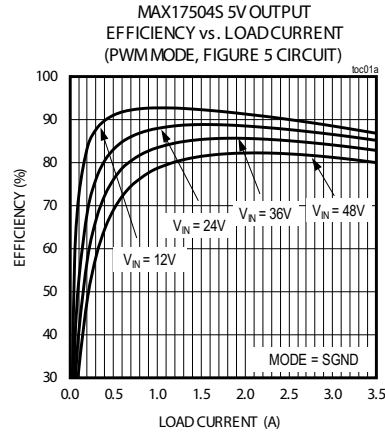
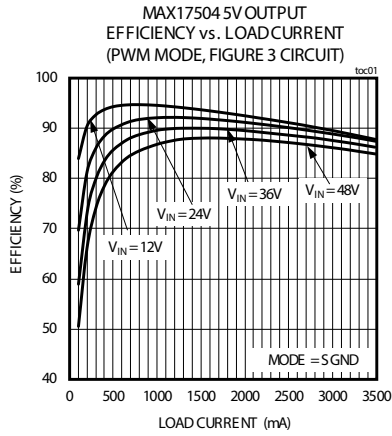
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
RT AND SYNC						
Switching Frequency	f_{SW}	$R_{RT} = 210k\Omega$	90	100	110	kHz
		$R_{RT} = 102k\Omega$	180	200	220	
		$R_{RT} = 40.2k\Omega$	475	500	525	
		$R_{RT} = 8.06k\Omega$	1950	2200	2450	
		$R_{RT} = OPEN$	460	500	540	
SYNC Frequency Capture Range		f_{SW} set bt R_{RT}	1.1 x f_{SW}		1.4 x f_{SW}	kHz
SYNC Pulse Width			50			ns
SYNC Threshold	V_{IH}		2.1			V
	V_{IL}				0.8	
V_{FB} Undervoltage Trip Level to Cause Hiccup	$V_{FB-HICF}$		0.56	0.58	0.6	V
HICCUP Timeout		(Note 3)		32768		Cycles
Minimum On-Time	t_{ON-MIN}	MAX17504			135	ns
		MAX17504S		55	80	ns
Minimum Off-Time	$t_{OFF-MIN}$		140		160	ns
LX Dead Time				5		ns
RESET						
\overline{RESET} Output Level Low		$I_{RESET} = 1mA$			0.4	V
\overline{RESET} Output Leakage Current		$T_A = T_J = +25^\circ C$, $V_{RESET} = 5.5V$	-0.1		+0.1	μA
V_{OUT} Threshold for \overline{RESET} Assertion	V_{FB-OKF}	V_{FB} falling	90.5	92	94	%
V_{OUT} Threshold for \overline{RESET} Deassertion	V_{FB-OKR}	V_{FB} rising	93.8	95	97.2	%
\overline{RESET} Deassertion Delay After FB Reaches 95% Regulation				1024		Cycles
THERMAL SHUTDOWN						
Thermal Shutdown Threshold		Temperature rising		165		$^\circ C$
Thermal Shutdown Hysteresis				10		$^\circ C$

Note 2: All limits are 100% tested at $+25^\circ C$. Limits over temperature are guaranteed by design.

Note 3: See the [Overcurrent Protection/HICCUP Mode](#) section for more details.

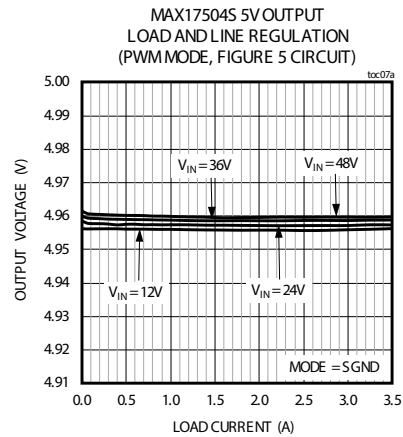
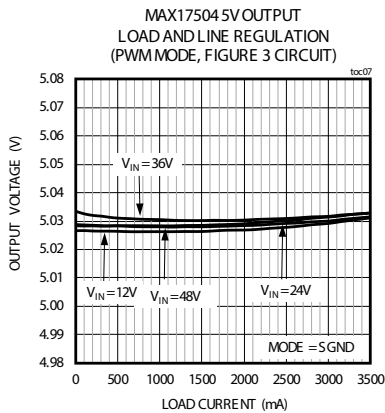
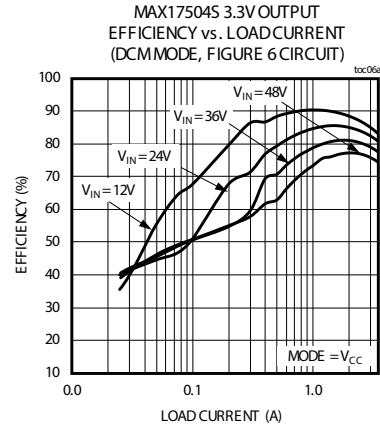
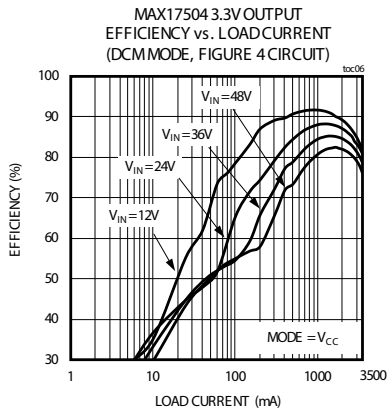
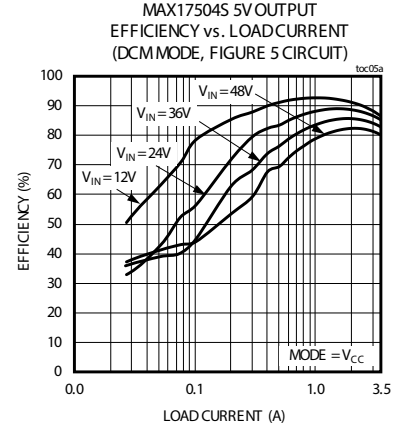
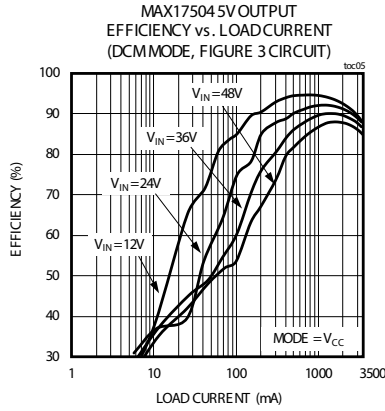
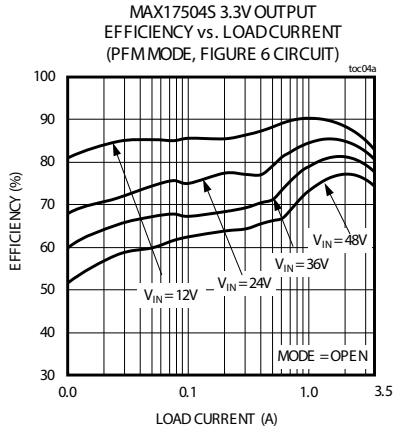
標準動作特性

($V_{IN} = V_{EN}/UV_{LO} = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)



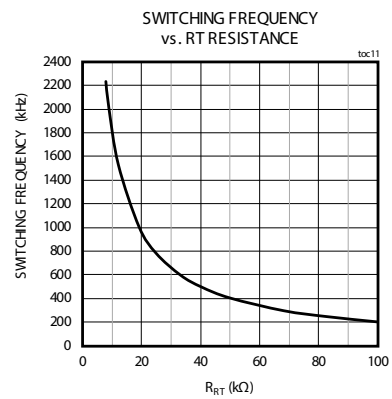
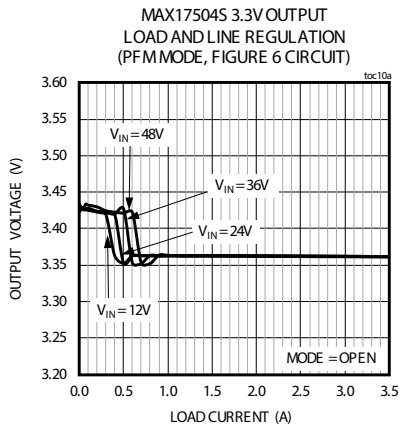
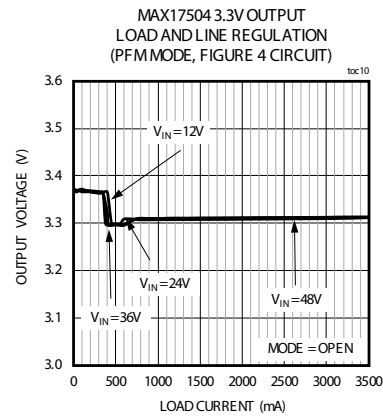
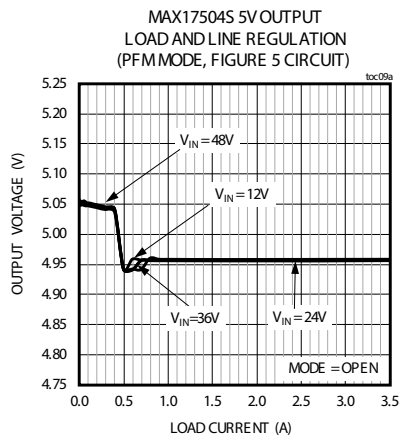
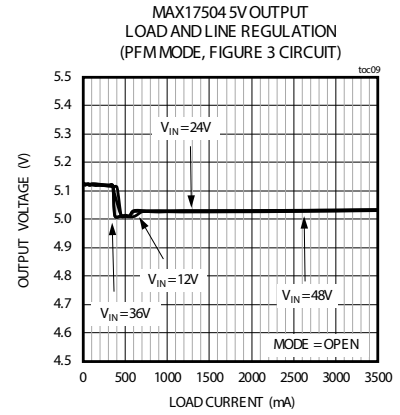
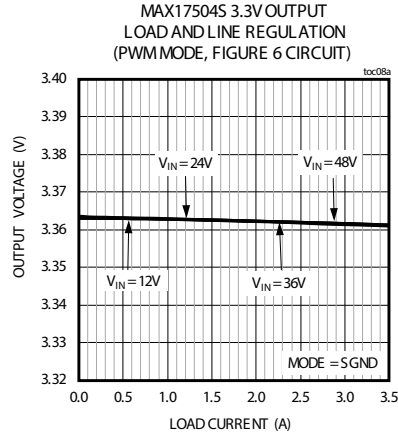
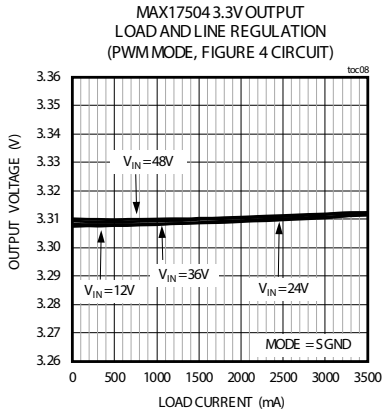
標準動作特性(続き)

($V_{IN} = V_{EN}/UV_{LO} = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)



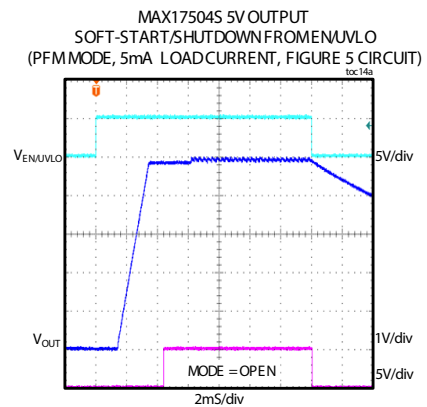
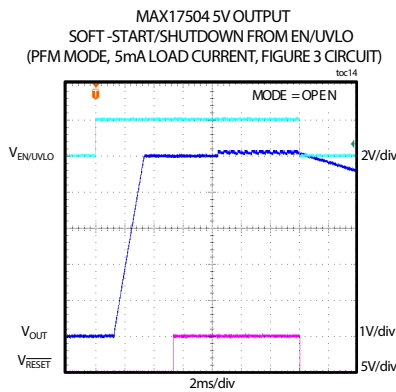
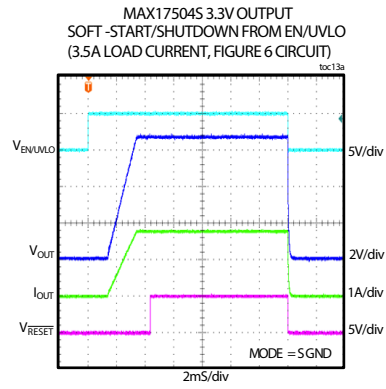
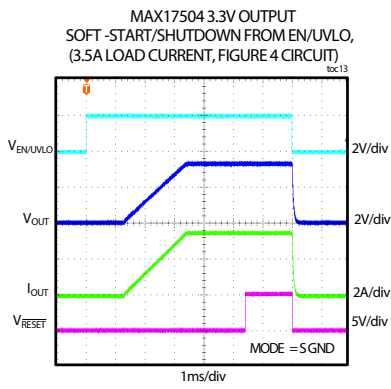
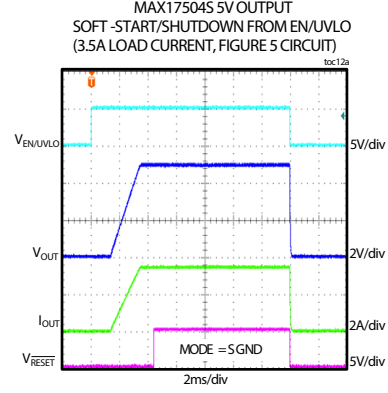
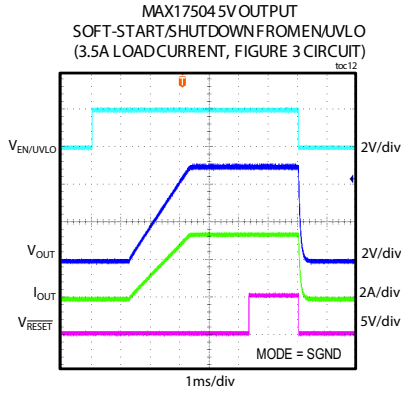
標準動作特性(続き)

($V_{IN} = V_{EN}/UV_{LO} = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)



標準動作特性(続き)

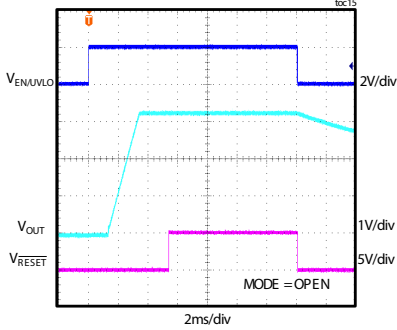
($V_{IN} = V_{EN/UVLO} = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)



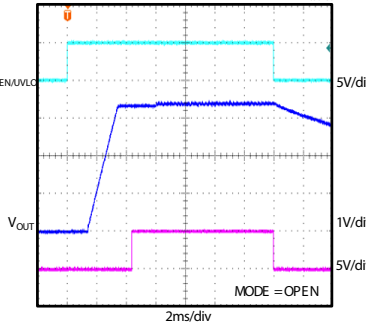
標準動作特性(続き)

($V_{IN} = V_{EN/UVLO} = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)

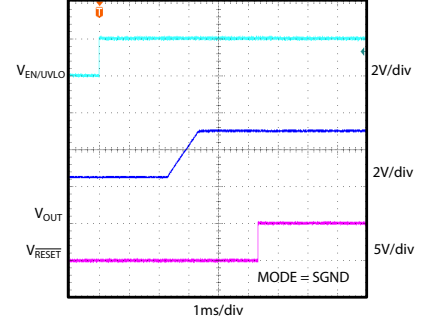
MAX17504 3.3V OUTPUT
SOFT-START/SHUTDOWN FROM EN/UVLO
(PFM MODE, 5mA LOAD CURRENT, FIGURE 4 CIRCUIT)



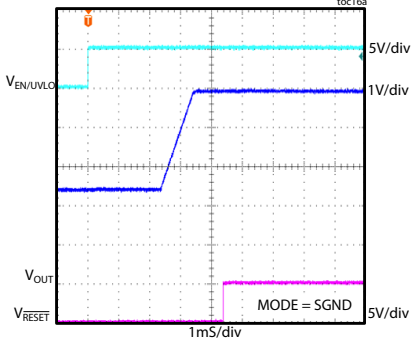
MAX17504S 3.3V OUTPUT
SOFT-START/SHUTDOWN FROM EN/UVLO
(PFM MODE, 5mA LOAD CURRENT, FIGURE 6 CIRCUIT)



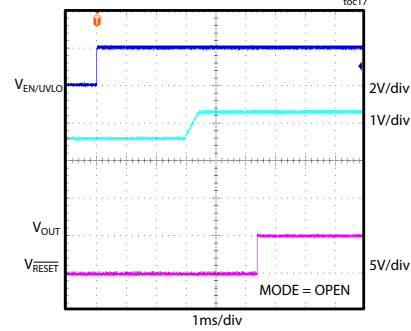
MAX17504 5V OUTPUT
SOFT-START WITH 2.5V PREBIAS
(PWM MODE, FIGURE 3 CIRCUIT)



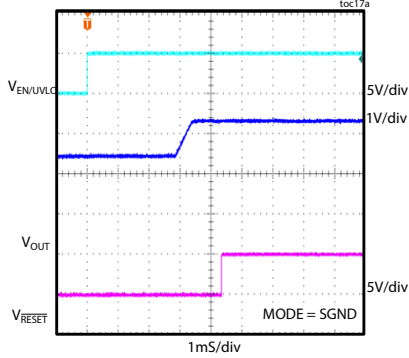
MAX17504S 5V OUTPUT
SOFT-START WITH 2.5V PREBIAS
(PWM MODE, FIGURE 5 CIRCUIT)



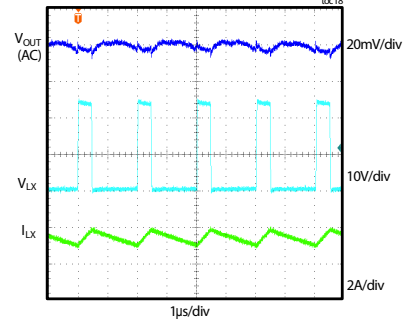
MAX17504 3.3V OUTPUT
SOFT-START WITH 2.5V PREBIAS
(PFM MODE, FIGURE 4 CIRCUIT)



MAX17504S 3.3V OUTPUT
SOFT-START WITH 2.5V PREBIAS
(PWM MODE, FIGURE 6 CIRCUIT)

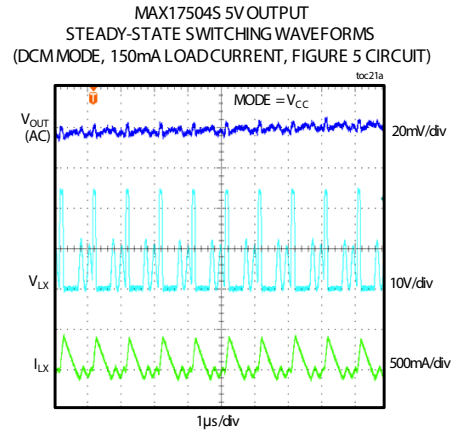
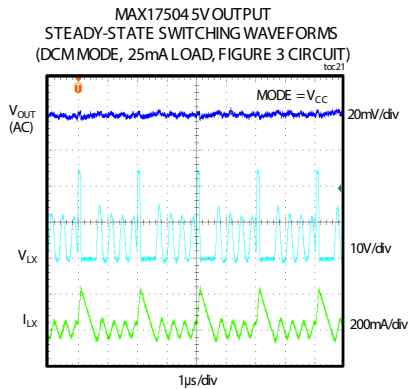
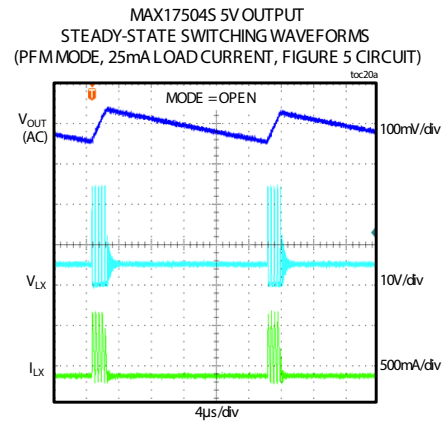
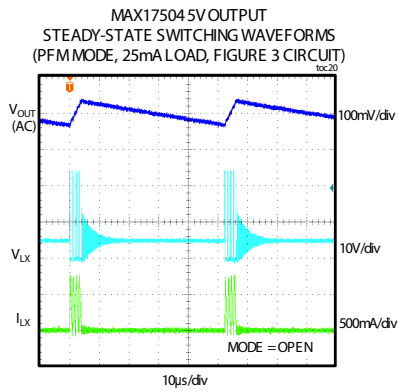
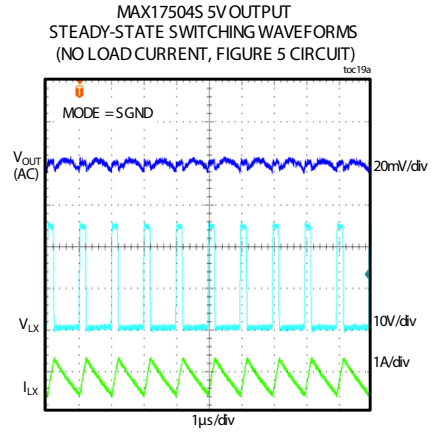
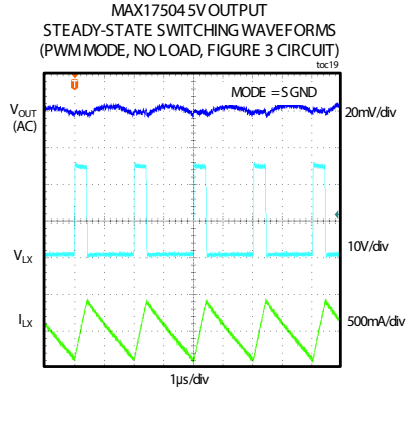
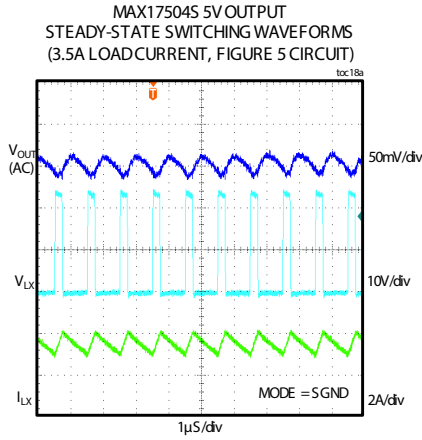


MAX17504 5V OUTPUT
STEADY-STATE SWITCHING WAVEFORMS
(3.5A LOAD CURRENT, FIGURE 3 CIRCUIT)



標準動作特性(続き)

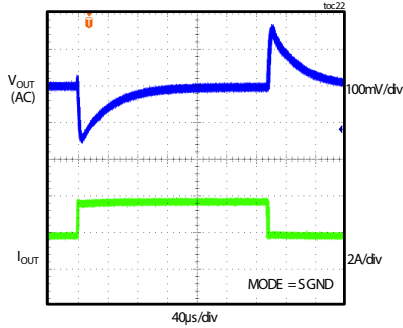
($V_{IN} = V_{EN}/V_{VLO} = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)



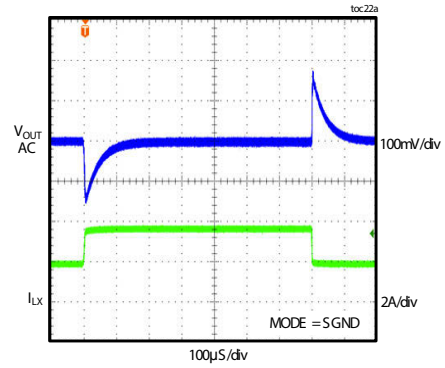
標準動作特性(続き)

($V_{IN} = V_{EN}/V_{VLO} = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)

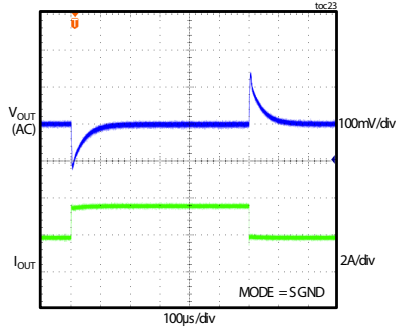
MAX17504 5V OUTPUT
LOAD CURRENT STEPPED FROM 1.75A TO 3.5A
(PWM MODE, FIGURE 3 CIRCUIT)



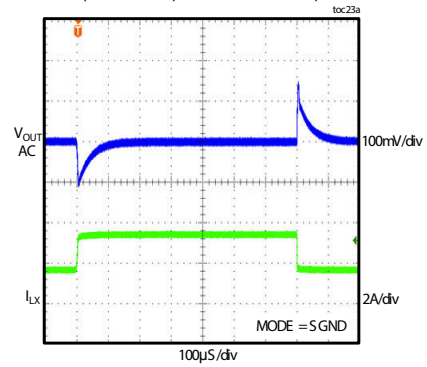
MAX17504S 5V OUTPUT
LOAD CURRENT STEPPED FROM 1.75A TO 3.5A
(PWM MODE, FIGURE 5 CIRCUIT)



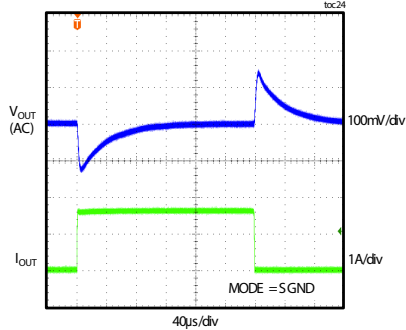
MAX17504 3.3V OUTPUT
LOAD CURRENT STEPPED FROM 1.75A TO 3.5A
(PWM MODE, FIGURE 4 CIRCUIT)



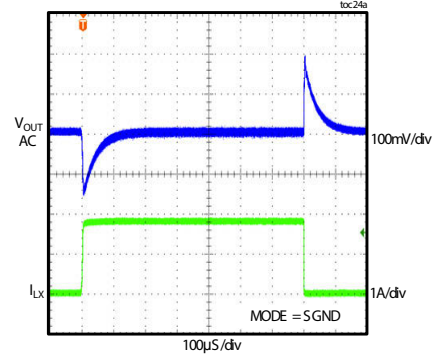
MAX17504S 3.3V OUTPUT
LOAD CURRENT STEPPED FROM 1.75A TO 3.5A
(PWM MODE, FIGURE 6 CIRCUIT)



MAX17504 5V OUTPUT
LOAD CURRENT STEPPED FROM NO LOAD TO 1.75A
(PWM MODE, FIGURE 3 CIRCUIT)

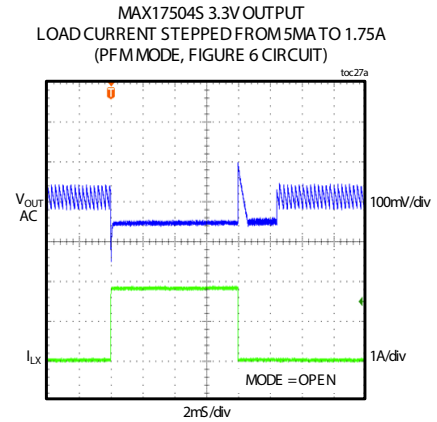
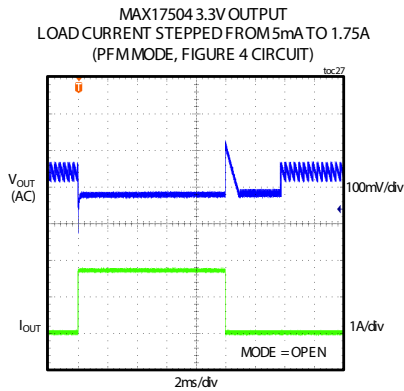
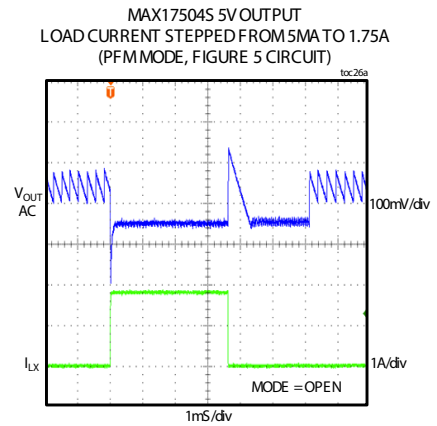
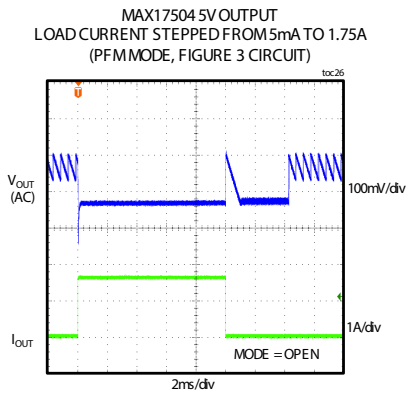
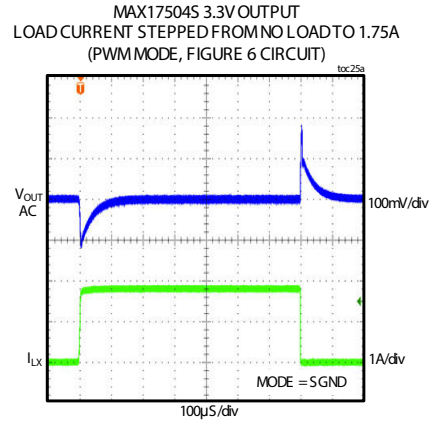
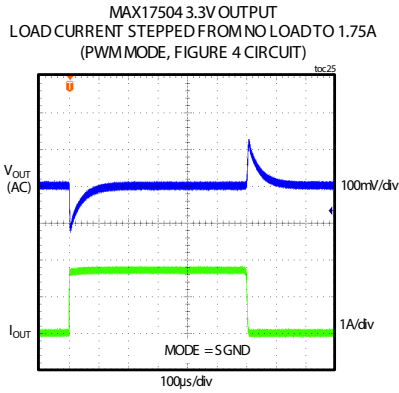


MAX17504S 5V OUTPUT
LOAD CURRENT STEPPED FROM NO LOAD TO 1.75A
(PWM MODE, FIGURE 5 CIRCUIT)



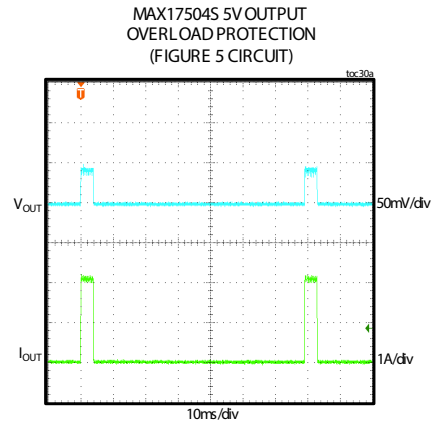
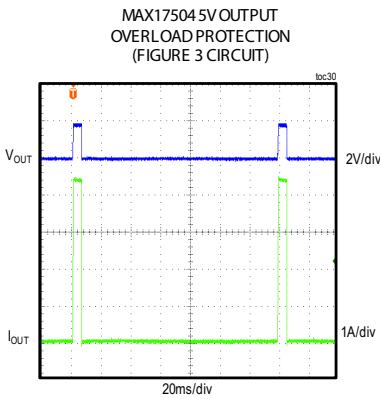
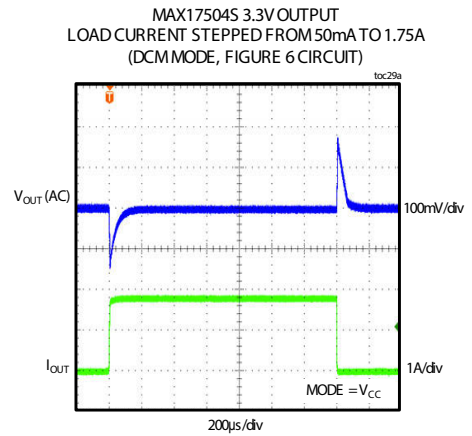
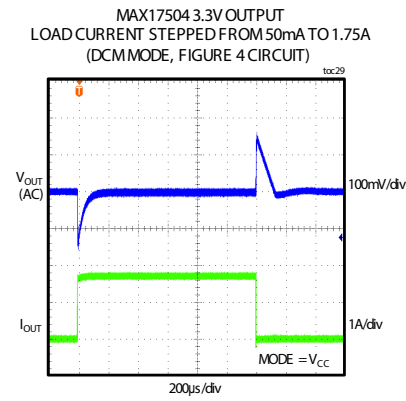
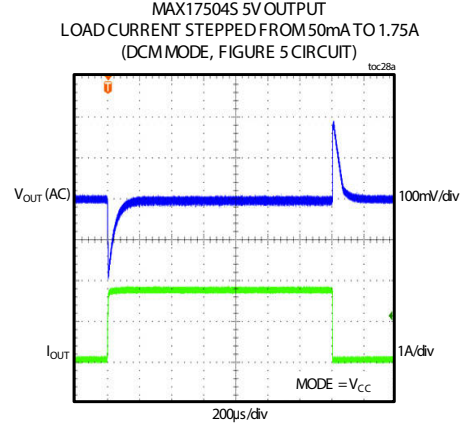
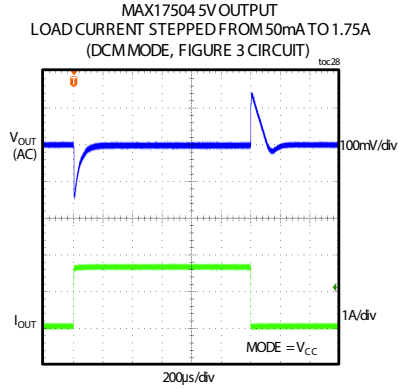
標準動作特性(続き)

($V_{IN} = V_{EN/UVLO} = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)



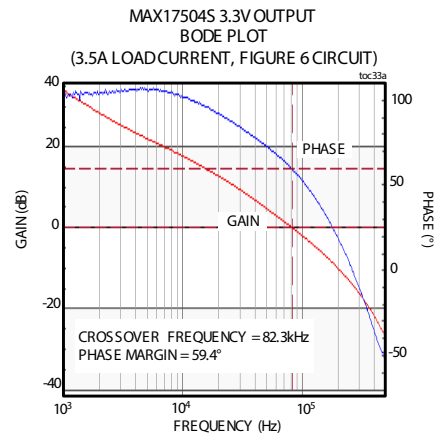
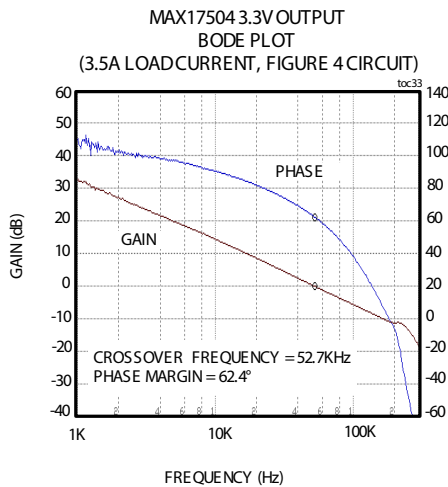
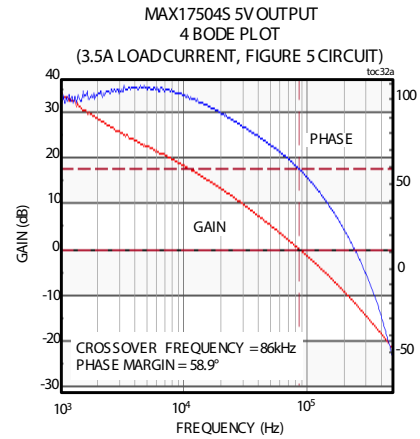
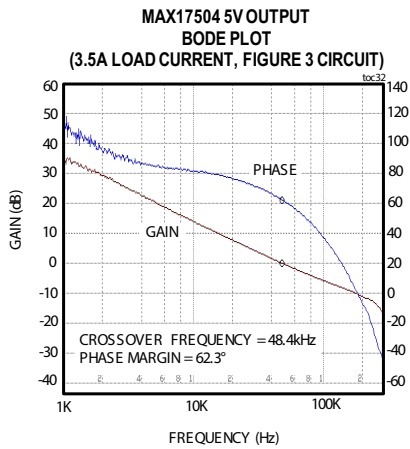
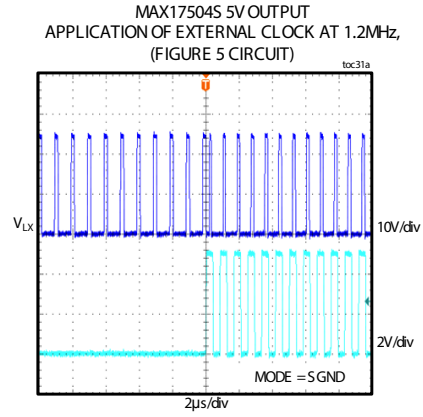
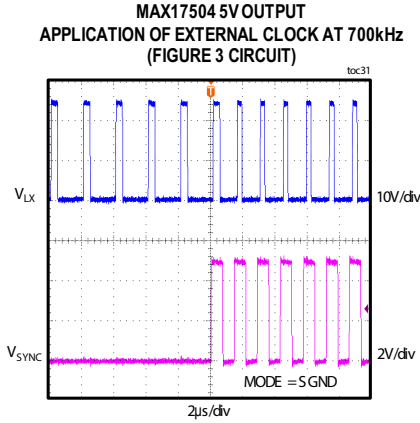
標準動作特性(続き)

($V_{IN} = V_{EN}/UVLO = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^{\circ}C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)

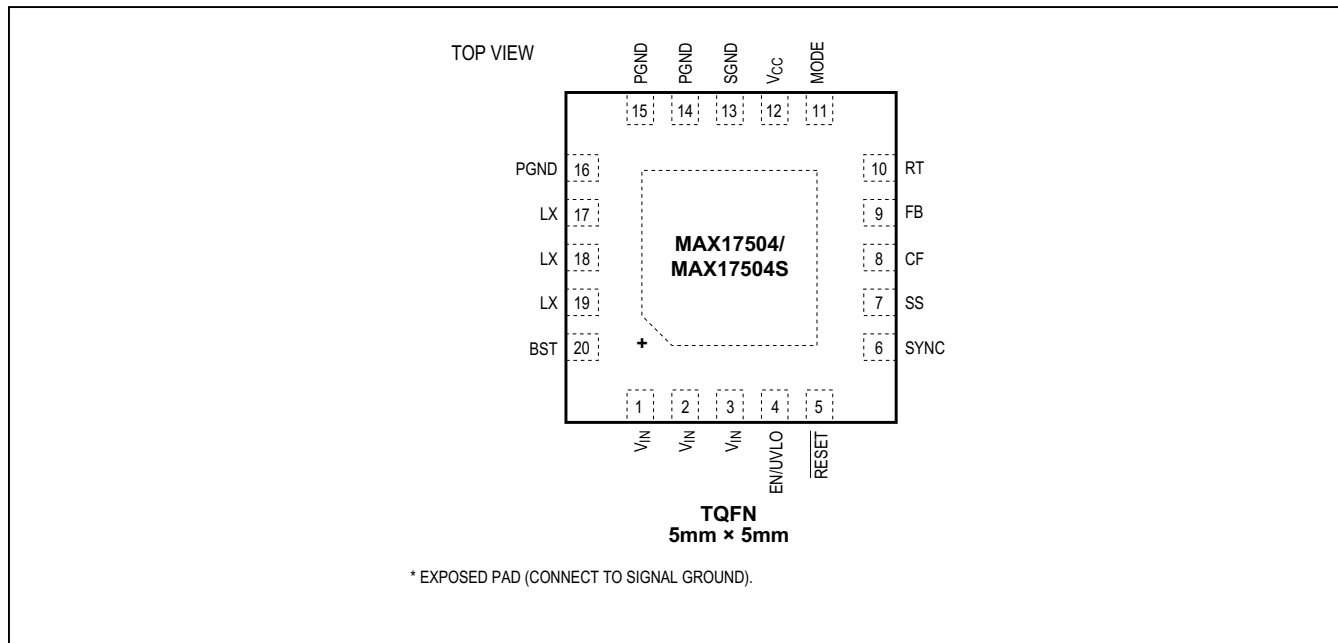


標準動作特性(続き)

($V_{IN} = V_{EN}/UV_{LO} = 24V$, $V_{PGND} = V_{SGND} = 0V$, $C_{VIN} = 2 \times 2.2\mu F$, $C_{VCC} = 2.2\mu F$, $C_{BST} = 0.1\mu F$, $C_{SS} = 12,000pF$, $RT = MODE = open$, $T_A = T_J = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. All voltages are referenced to SGND, unless otherwise noted.)



ピン配置



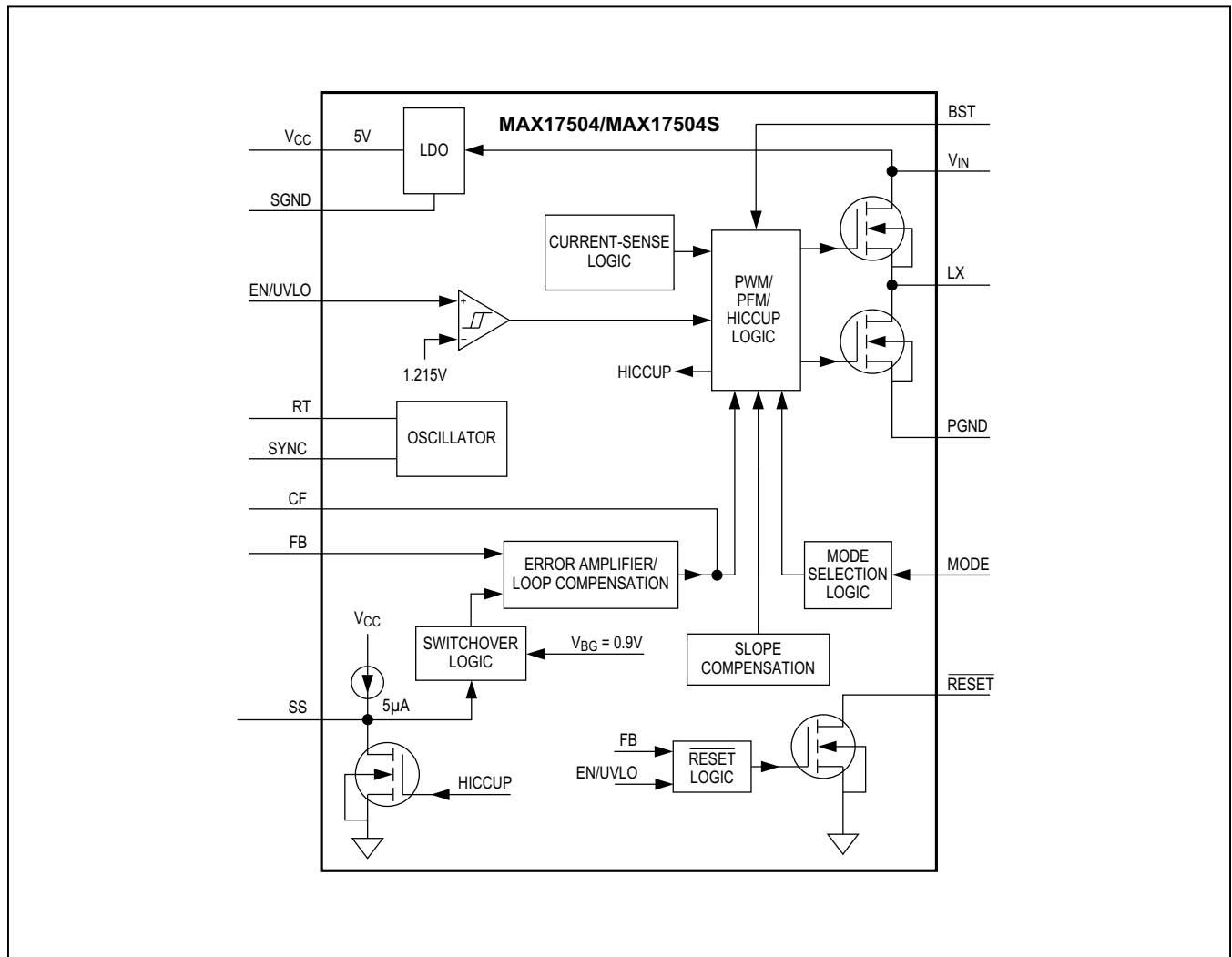
端子説明

端子	名称	機能
1, 2, 3	V _{IN}	電源入力。入力電源の範囲は4.5V~60Vです。各V _{IN} 端子を相互に接続してください。2つの2.2μFのコンデンサでPGNDにデカップリングしてください。これらのコンデンサは、V _{IN} およびPGND端子の近くに配置してください。レイアウトの例については、MAX17504/MAX17504SのEVキットのデータシートを参照してください。
4	EN/UVLO	イネーブル/低電圧ロックアウト。出力電圧をイネーブルするには、EN/UVLOをハイに駆動してください。MAX17504/MAX17504Sがオンになる入力電圧を設定する場合は、V _{IN} とSGND間に接続した抵抗分圧器のセンターに接続してください。常時オンの動作とする場合は、V _{IN} にプルアップしてください。
5	RESET	オープンドレインのRESET出力。RESET出力は、FBが設定値の92%を下回った場合にローになります。RESETは、FBが設定値の95%を上回ってから1024クロックサイクル後にハイになります。
6	SYNC	この端子を使用して、デバイスを外部クロックに同期させることができます。詳細については、「外部周波数同期」の項を参照してください。
7	SS	ソフトスタート入力。SSとSGND間にコンデンサを接続してソフトスタート時間を設定してください。
8	CF	500kHz以下のスイッチング周波数では、CFとFB間にコンデンサを接続してください。スイッチング周波数が500kHzと等しいかそれ以上の場合は、CFをオープンのままにしてください。詳細については、「ループ補償」の項を参照してください。
9	FB	フィードバック入力。出力とSGND間に接続した外付け抵抗分圧器のセンタータップにFBを接続して、出力電圧を設定してください。詳細については、「出力電圧の調整」の項を参照してください。
10	RT	RTとSGND間に抵抗を接続して、レギュレータのスイッチング周波数を設定してください。デフォルトの500kHzの周波数とする場合は、RTをオープンのままにしてください。詳細については、「スイッチング周波数の設定(RT)」の項を参照してください。
11	MODE	MODEはMAX17504/MAX17504SがPWM、PFM、またはDCM動作モードで動作するように設定します。PFM動作(軽負荷時にはパルススキッピング)とする場合は、MODEを未接続のままにしてください。全負荷にわたって固定周波数PWM動作とする場合は、MODEをSGNDに接続してください。DCM動作とする場合は、MODEをV _{CC} に接続してください。詳細については、「モードの選択(MODE)」の項を参照してください。

端子説明(続き)

端子	名称	機能
12	VCC	5V LDO出力。2.2μFのセラミックコンデンサでVCCをSGNDに接続してください。
13	SGND	アナロググランド
14, 15, 16	PGND	電源グランド。各PGND端子を外部で電源グランドプレーンに接続してください。VCCのバイパスコンデンサのグランドリターン経路の位置でSGND端子とPGND端子を相互に接続してください。レイアウトの例については、MAX17504/MAX17504SのEVキットのデータシートを参照してください。
17, 18, 19	LX	スイッチング端子。各LX端子をインダクタのスイッチング側に接続してください。
20	BST	ブーストフライングコンデンサ。BSTとLX間に0.1μFのセラミックコンデンサを接続してください。
—	EP	エクスポーズパッド。SGND端子に接続してください。放熱能力を向上させるために、ICの下の大面積の銅プレーンに接続してください。エクスポーズパッドの下にサーマルビアを追加してください。レイアウトの例については、MAX17504/MAX17504SのEVキットのデータシートを参照してください。

ブロック図



詳細

デュアルMOSFET内蔵の高効率、高電圧、同期整流ステップダウンコンバータのMAX17504/MAX17504Sは、4.5V~60Vの入力で動作します。このデバイスは、最大3.5Aで0.9V~90% V_{IN} 出力電圧を供給します。全出力電圧範囲での内部補償によって、外付け部品が不要です。-40°C~+125°Cでのフィードバック(FB)のレギュレーション精度は±1.1%です。

このデバイスは、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。内蔵のトランスコンダクタンスエラーアンプは積分された誤差電圧を内部ノードに生成し、それによってPWMコンパレータ、ハイサイド電流検出アンプ、およびスロープ補償ジェネレータを使用してデューティサイクルが設定されます。クロックの各立上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または最大デューティサイクルに到達するか、またはピーク電流制限が検出されるまでオンのままになります。ハイサイドMOSFETのオン時間の間は、インダクタ電流が増加します。スイッチングサイクルの後半はハイサイドMOSFETがオフになり、ローサイドMOSFETがオンになります。インダクタ電流の減少とともにインダクタは蓄積されたエネルギーを解放して、出力に電流を供給します。

このデバイスはMODE端子を備え、これを使用してデバイスをPWM、PFM、またはDCM制御方式で動作させることができます。このデバイスは、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RESET、および外部周波数同期の各機能を内蔵しています。MAX17504Sはより低い最小オン時間を提供し、より高いスイッチング周波数とより小型のソリューションサイズを可能にします。

モードの選択(MODE)

MODE端子のロジック状態は、 V_{CC} およびEN/UVLOの電圧がそれぞれのUVLO立上りスレッショルドを超え、すべての内部電圧がLXのスイッチングが可能な状態であるときにラッチされます。起動時にMODE端子がオープンの場合、デバイスは軽負荷時にPFMモードで動作します。起動時にMODE端子がグランドに接続されていた場合、デバイスは全負荷にわたって固定周波数PWMモードで動作します。最後に、起動時にMODE端子が V_{CC} に接続されていた場合、デバイスは軽負荷時に固定周波数DCMモードで動作します。通常動作中は、MODE端子の状態変化は無視されます。

PWMモード動作

PWMモードでは、インダクタ電流が負になることが許容されます。PWM動作は全負荷で固定周波数動作を提供するため、スイッチング周波数に敏感なアプリケーションで役立ちます。しかし、PWM動作モードはPFMおよびDCM動作モードと比較して軽負荷時の効率が低くなります。

PFMモード動作

PFM動作モードは負のインダクタ電流を抑止し、さらに軽負荷時にパルスをスキップして高効率を実現します。PFMモードでは、出力が公称電圧の102.3%に上昇するまで各サイクルクロックでインダクタ電流が強制的に固定ピークの750mAになります。出力が公称電圧の102.3%に達すると、ハイサイドとローサイドの両方のFETがオフになり、負荷の放電によって出力が公称電圧の101.1%になるまでデバイスはハイバネート動作に移行します。ハイバネート動作では、内部ブロックの大部分がオフになって自己消費電流を低減します。出力が公称電圧の101.1%を下回ったあと、デバイスはハイバネート動作を終了し、すべての内部ブロックをオンにして、公称出力電圧の102.3%に達するまでエネルギーパルスを出力に供給する処理を再開します。

PFMモードの長所は、電源からの自己消費電流が小さくなるため軽負荷時の効率が向上することです。短所は、PWMまたはDCM動作モードと比べて出力電圧リップルが大きく、軽負荷時にスイッチング周波数が一定でないことです。

DCMモード動作

DCM動作モードは、軽負荷時にパルスをスキップせず負のインダクタ電流の抑止のみを行うことによって、PFMモードよりも軽負荷までの固定周波数動作を特長とします。DCM動作は、PWMモードとPFMモードの中間の効率性能を提供します。

リニアレギュレータ(V_{CC})

内蔵リニアレギュレータ(V_{CC})は公称5Vの電源を提供し、内部ブロックおよびローサイドMOSFETドライバに給電します。リニアレギュレータの出力(V_{CC})を2.2 μ FのセラミックコンデンサでSGNDに接続してください。MAX17504/MAX17504Sは、 V_{CC} が3.8V (typ)を下回った場合に内蔵リニアレギュレータをディセーブルする低電圧ロックアウト回路を採用しています。

スイッチング周波数の設定(RT)

MAX17504/MAX17504Sのスイッチング周波数は、RTとSGND間に接続した抵抗を使用することによって100kHz~2.2MHzに設定可能です。スイッチング周波数(f_{sw})とRT端子に接続する抵抗(R_{RT})の関係は、次式によって示されます。

$$R_{RT} \approx \frac{21 \times 10^3}{f_{sw}} - 1.7$$

ここで、 R_{RT} の単位はk Ω で、 f_{sw} の単位はkHzです。RT端子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である500kHzで動作します。一般的なスイッチング周波数に対するRTの抵抗値の例については、[表1](#)を参照してください。

表1. スイッチング周波数とRTの抵抗の関係

SWITCHING FREQUENCY (kHz)	RT RESISTOR (kΩ)
500	OPEN
100	210
200	102
400	49.9
1000	19.1
2200	8.06

動作入力電圧範囲

所定の出力電圧に対する最小および最大動作入力電圧は、以下のように計算してください。

$$V_{IN(MIN)} = \frac{V_{OUT} + (I_{OUT(MAX)} \times (R_{DCR} + 0.15))}{1 - (f_{SW(MAX)} \times t_{OFF(MAX)})} + (I_{OUT(MAX)} \times 0.175)$$

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

ここで、 V_{OUT} は安定状態の出力電圧、 $I_{OUT(MAX)}$ は最大負荷電流、 R_{DCR} はインダクタのDC抵抗、 $f_{SW(MAX)}$ は最大スイッチング周波数、 $t_{OFF(MAX)}$ はワーストケースの最小スイッチオフ時間(160ns)、 $t_{ON(MIN)}$ はワーストケースの最小スイッチオン時間(MAX17504は135ns、MAX17504Sは80ns)です。

外部周波数同期(SYNC)

MAX17504/MAX17504Sの内部発振器は、SYNC端子の外部クロック信号への同期が可能です。外部同期クロック周波数は $1.1 \times f_{SW} \sim 1.4 \times f_{SW}$ の範囲である必要があります。ここで f_{SW} はRTの抵抗によって設定される周波数です。外部クロックのハイの最小パルス幅は50ns以上にしてください。詳細については、「[Electrical Characteristics \(電気的特性\)](#)」の表の「RT AND SYNC (RTおよびSYNC)」の項を参照してください。

過電流保護/ヒカップモード

MAX17504/MAX17504Sは、過負荷および出力短絡状態においてデバイスを保護する堅牢な過電流保護方式を備えています。ハイサイドスイッチ電流が5.1A (typ)の内部制限を超えると、サイクル単位のピーク電流制限がハイサイドMOSFETをオフにします。ハイサイドスイッチ電流の5.7A (typ)の暴走電流制限は、ステップダウンコンバータのオンの期間に累積したインダクタ電流の回復に利用可

能な出力電圧が不足している場合に高入力電圧/短絡の条件下でデバイスを保護します。1回の暴走電流制限の発生によってヒカップモードがトリガされます。さらに、障害状態によってソフトスタート完了後の任意の時点でフィードバック電圧が0.58V (typ)に低下した場合、ヒカップモードがトリガされます。ヒカップモードでは、32,768クロックサイクルのヒカップタイムアウト時間にわたりスイッチングを停止することによってコンバータが保護されます。ヒカップタイムアウト時間の経過後、ソフトスタートが再試行されます。過負荷状態でソフトスタートが試みられた場合、フィードバック電圧が0.58Vを超えないと、デバイスは設定されたスイッチング周波数の半分でスイッチングすることに注意してください。ヒカップ動作モードによって、出力短絡状態での低消費電力が確保されます。

RESET出力

MAX17504/MAX17504Sは、出力電圧を監視するRESETコンパレータを内蔵しています。RESET出力はオープンドレインのため、外付けのプルアップ抵抗が必要です。RESETは、レギュレータ出力が設計上の公称レギュレーション電圧の95%を上回ってから1024スイッチングサイクル後にハイ(ハイインピーダンス)になります。RESETは、レギュレータ出力電圧が公称レギュレーション電圧の92%を下回った場合にローになります。サーマルシャットダウン時も、RESETはローになります。

プリバイアス出力

MAX17504/MAX17504Sがプリバイアス出力に対して起動する場合、コンバータが出力から電流をシンクしないように、ハイサイドとローサイドの両方のスイッチがオフになります。ハイサイドと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、その時点でスイッチングが開始されず。その後、出力電圧が内部リファレンスに沿って目標値までスムーズに増加します。

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は、MAX17504/MAX17504S内の消費電力を制限します。デバイスの接合部温度が+165°Cを超えた時点で、内部の温度センサーがデバイスをシャットダウンして、デバイスの温度を低下させます。接合部温度が10°C低下すると、温度センサーはデバイスを再びオンにします。サーマルシャットダウン中に、ソフトスタートがリセットされます。通常動作時の不要なサーマルシャットダウンのトリガを防止するために、消費電力を慎重に評価してください(「[消費電力](#)」の項を参照)。

アプリケーション情報

入力コンデンサの選択

入力フィルタコンデンサは電源からのピーク電流を低減するとともに、回路のスイッチングによって発生する入力ノイズおよび電圧リップルを軽減します。入力コンデンサで要求されるRMS電流(I_{RMS})は、次式によって定義されます。

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

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倍に等しい($V_{IN} = 2 \times V_{OUT}$)ときに最大値となるため、 $I_{RMS(MAX)} = I_{OUT(MAX)}/2$ です。

長期的信頼性を最大にするために、RMS入力電流において+10°C以下の温度上昇を示す入力コンデンサを選択してください。高いリップル電流能力を備えた低ESRのセラミックコンデンサを入力に使用してください。産業アプリケーションでは、温度安定性の高いX7Rのコンデンサが推奨されます。次式を使用して入力容量を計算してください。

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

ここで、 $D = V_{OUT}/V_{IN}$ はコントローラのデューティ比、 f_{SW} はスイッチング周波数、 ΔV_{IN} は許容可能な入力電圧リップル、 η は効率です。

ソースがMAX17504/MAX17504Sの入力から遠い位置にあるアプリケーションの場合は、長い入力電源経路のインダクタンスと入力セラミックコンデンサによる発振の可能性があるので、セラミックコンデンサと並列に電解コンデンサを追加して必要なダンピングを提供してください。

インダクタの選択

MAX17504/MAX17504Sによる動作のためには、インダクタンス値(L)、インダクタ飽和電流(I_{SAT})、およびDC抵抗(R_{DCR})の、3つの主要なインダクタのパラメータを指定する必要があります。スイッチング周波数および出力電圧によって、次のようにインダクタ値が決定されます。

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

ここで、 V_{OUT} および f_{SW} は公称値です。

許容可能な大きさで可能な限りDC抵抗値が小さい、計算結果の値に最も近い低損失のインダクタを選択してください。飽和が発生する可能性を確実にピーク電流制限値である5.1Aより上のみとするために、インダクタの飽和電流定格(I_{SAT})は十分に高い値にする必要があります。

出力コンデンサの選択

産業アプリケーションでは、温度変化に対する安定性からX7Rセラミック出力コンデンサが広く使用されます。出力コンデンサは、出力電圧偏差が出力電圧変化の3%に抑えられるように、通常はアプリケーションの最大出力電流の50%のステップ負荷をサポートする大きさに設定されます。必要最小限の出力容量は次のように計算することができます。

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

$$t_{RESPONSE} = \left(\frac{0.33}{f_C} + \frac{1}{f_{SW}} \right)$$

ここで、 I_{STEP} は負荷電流ステップ、 $t_{RESPONSE}$ はコントローラの応答時間、 ΔV_{OUT} は許容可能な出力電圧偏差、 f_C は目標のクローズドループクロスオーバー周波数、 f_{SW} はスイッチング周波数です。MAX17504では、スイッチング周波数が500kHzに等しいかそれ以下の場合、 f_C は f_{SW} の1/9になるように選択してください。スイッチング周波数が500kHz以上の場合、 f_C に55kHzを選択してください。MAX17504Sでは、スイッチング周波数が1MHzに等しいかそれ以下の場合、 f_C は f_{SW} の1/10になるように選択してください。スイッチング周波数が1MHz以上の場合、 f_C に100kHzを選択してください。

出力コンデンサを選択するときには、DC電圧によるセラミックコンデンサのデレーティングを考慮する必要があります。デレーティング曲線は、セラミックコンデンサの全主要ベンダーから提供されています。

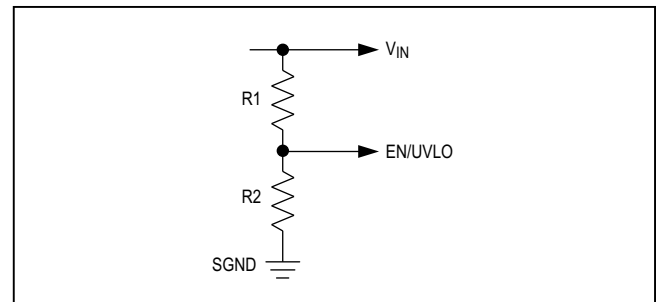


図1. 入力低電圧ロックアウトの設定

ソフトスタートコンデンサの選択

MAX17504/MAX17504Sは、突入電流を低減するための調整可能なソフトスタート動作を実装しています。SS端子とSGND間に接続するコンデンサによって、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})によって、次のように必要最小限のソフトスタートコンデンサが決定されます。

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

ソフトスタート時間(t_{SS})とSSに接続するコンデンサ(C_{SS})の関係は、次式によって示されます。

$$t_{SS} = C_{SS} / (5.55 \times 10^{-6})$$

たとえば、2msのソフトスタート時間を設定する場合、12nFのコンデンサをSS端子とSGND間に接続してください。

入力低電圧ロックアウトレベルの設定

MAX17504/MAX17504Sは、調整可能な入力低電圧ロックアウトレベルを備えています。MAX17504/MAX17504Sをオンにする電圧は、V_{IN}とSGND間に接続した抵抗分圧器で設定します。抵抗分圧器のセンターノードをEN/UVLOに接続してください。

R1に3.3MΩを選択し、R2を次のように計算してください。

$$R2 = \frac{R1 \times 1.215}{(V_{INU} - 1.215)}$$

ここで、V_{INU}はMAX17504/MAX17504Sをオンにする電圧です。V_{INU}が0.8 × V_{OUT}以上であることを確保してください。外部信号源でEN/UVLO端子を駆動する場合、信号源の出力とEN/UVLO端子の間に1kΩ(min)の直列抵抗を配置し、ライン上の電圧リンギングを低減することが推奨されます。

ループ補償

MAX17504/MAX17504Sは内部でループ補償されています。しかし、スイッチング周波数が500kHz以下の場合、0402のコンデンサ(C6)をCF端子とFB端子間に接続してください。表2を使用してC6の値を選択してください。

出力電圧の調整

出力コンデンサの正の端子(V_{OUT})とSGND間に接続した抵抗分圧器で、出力電圧を設定してください(図2を参照)。抵抗分圧器のセンターノードをFB端子に接続してください。

以下の手順を使用して抵抗分圧器の値を選択してください。

出力とFB間の抵抗R3を、次のように計算してください。

$$R3 = \frac{216 \times 10^3}{f_C \times C_{OUT}}$$

ここで、R3の単位はkΩ、クロスオーバー周波数f_Cの単位はkHz、出力コンデンサC_{OUT}の単位はμFです。MAX17504では、スイッチング周波数が500kHzに等しいかそれ以下の場合、f_Cはスイッチング周波数(f_{SW})の1/9になるように選択してください。スイッチング周波数が500kHz以上の場合、f_Cに55kHzを選択してください。MAX17504Sでは、スイッチング周波数が1MHzに等しいかそれ以下の場合、f_Cはf_{SW}の1/10になるように選択してください。スイッチング周波数が1MHz以上の場合、f_Cに100kHzを選択してください。

FBとSGND間の抵抗R4を、次のように計算してください。

$$R4 = \frac{R3 \times 0.9}{(V_{OUT} - 0.9)}$$

表2. さまざまなスイッチング周波数でのC6コンデンサの値

SWITCHING FREQUENCY RANGE (kHz)	C6 (pF)
200 to 300	2.2
300 to 400	1.2
400 to 500	0.75

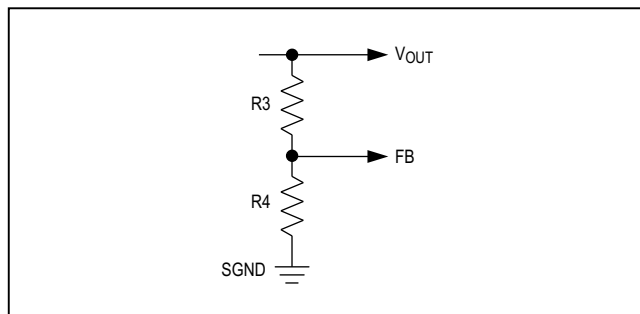


図2. 出力電圧の設定

消費電力

特定の動作条件において、デバイスの温度上昇につながる電力損失は次のように概算されます。

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

$$P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$$

ここで、 P_{OUT} は総出力パワー、 η はコンバータの効率、 R_{DCR} はインダクタのDC抵抗値です(標準的な動作条件での効率の詳細については、「[標準動作特性](#)」を参照)。

多層基板の場合、パッケージの熱性能の測定基準は以下に示すとおりです。

$$\theta_{JA} = 30^\circ\text{C/W}$$

$$\theta_{JC} = 2^\circ\text{C/W}$$

MAX17504/MAX17504Sの接合部温度は、任意の最大周囲温度(T_{A_MAX})について次式から概算することができます。

$$T_{J_MAX} = T_{A_MAX} + (\theta_{JA} \times P_{LOSS})$$

適切なヒートシンクの使用によってMAX17504/MAX17504Sのエキスポーズドパッドが確実に所定の温度(T_{EP_MAX})に維持される熱管理システムを備えたアプリケーションの場合は、任意の最大周囲温度でのMAX17504/MAX17504Sの接合部温度を次式から概算することができます。

$$T_{J_MAX} = T_{EP_MAX} + (\theta_{JC} \times P_{LOSS})$$

+125°C以上のジャンクション温度は、動作寿命を劣化させます。

PCBレイアウトのガイドライン

パルス電流を搬送するすべての接続は、非常に短く、できる限り太くする必要があります。電流が高di/dtのため、これらの接続のインダクタンスは絶対的な最小限に維持する必要があります。電流を搬送するループのインダクタンスはそのループに囲まれる面積に比例するため、ループの面積を非常に小さくした場合、インダクタンスが減少します。さらに、電流ループ領域を小さくすることで放射EMIが低減されます。

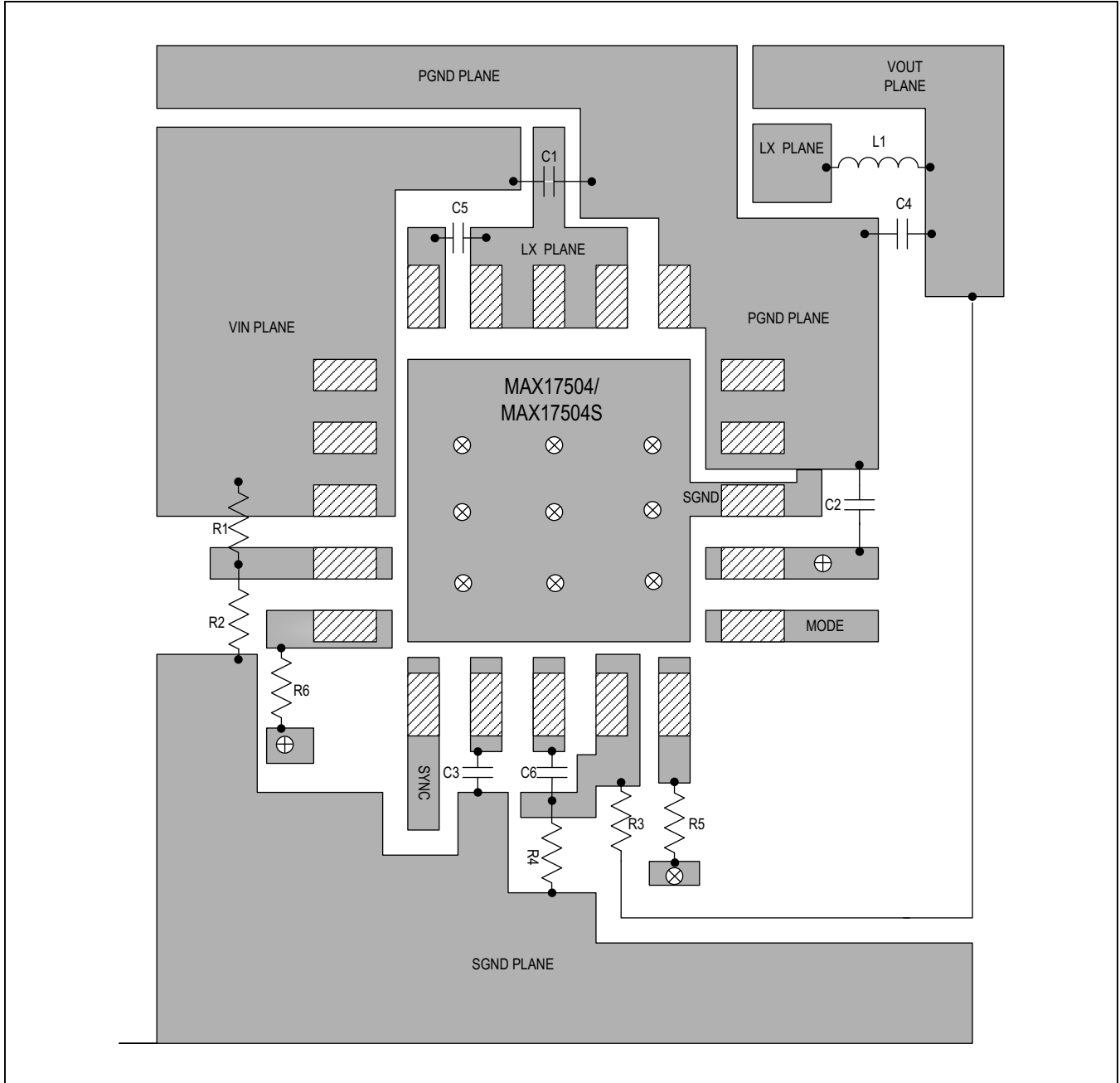
セラミック入力フィルタコンデンサは、ICの V_{IN} 端子の近くに配置してください。これによって、可能な限り多くのトレースのインダクタンス効果が除去され、よりクリーンな電源電圧がICに提供されます。トレースのインピーダンスの影響を低減するために、 V_{CC} 端子のバイパスコンデンサも端子の近くに配置してください。

ICの周囲の回路を配線するときには、アナログ小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分離する必要があります。これらは、スイッチング動作が最小となる位置(通常は V_{CC} のバイパスコンデンサのリターン端子)で相互に接続してください。これはアナロググラウンドを低ノイズに維持する上で役立ちます。グラウンドプレーンはできる限り連続した、切れ目のない状態を維持してください。大スイッチング電流を搬送するトレースを、グラウンドプレーンの切れ目の上にじかに配置しないでください。

PCBレイアウトは、設計の熱性能にも影響します。効率的な放熱のために、デバイスのエキスポーズドパッドの下で複数のサーマルビアを大面積のグラウンドプレーンに接続してください。

初回での成功を保証するレイアウト例については、www.maximintegrated.com/jpで提供されているMAX17504の評価キットのレイアウトを参照してください。

MAX17504/MAX17504Sの推奨部品配置



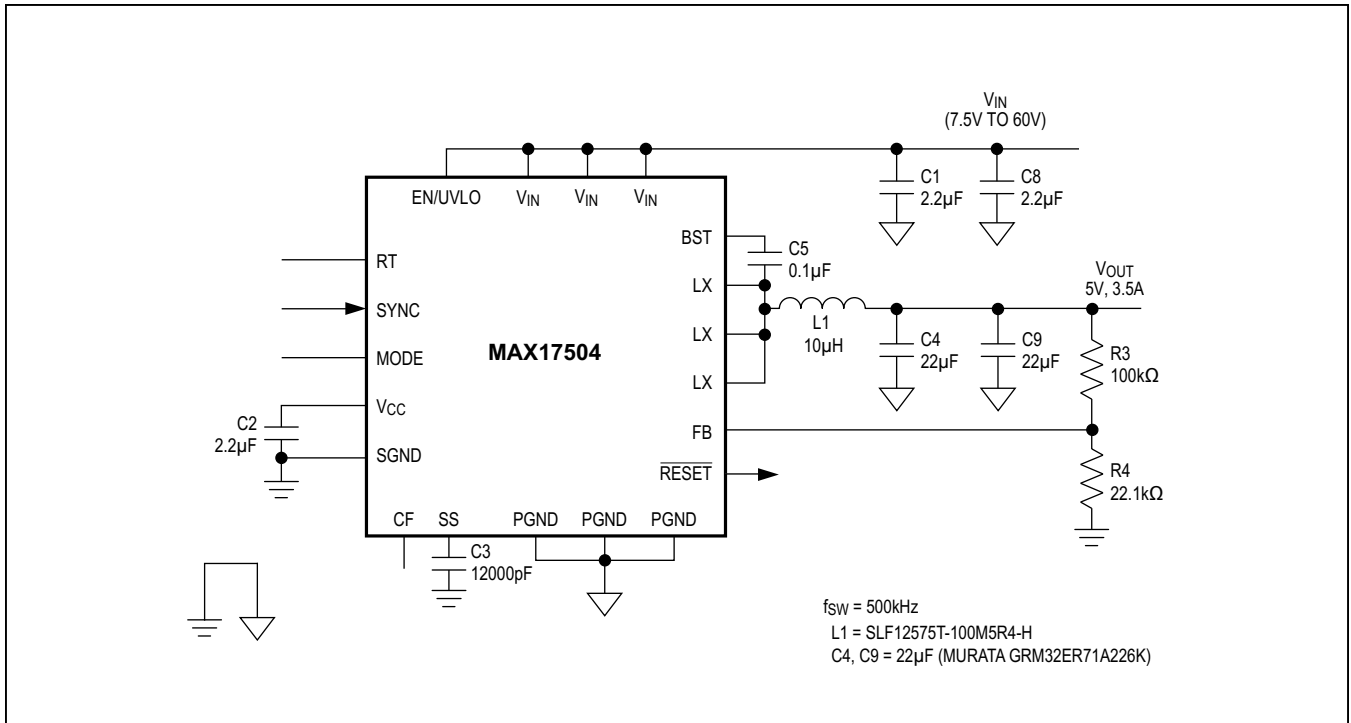


図3. MAX17504の標準アプリケーション回路、5V出力、500kHzスイッチング周波数

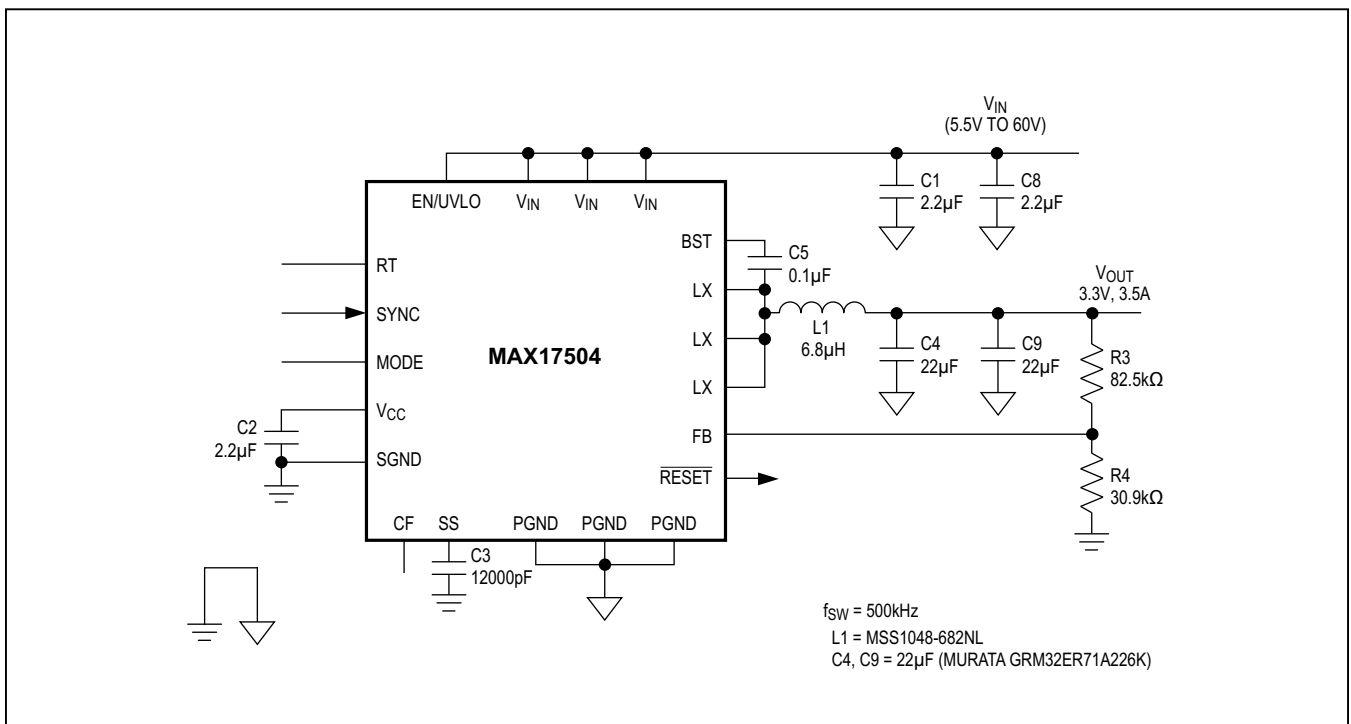


図4. MAX17504の標準アプリケーション回路、3.3V出力、500kHzスイッチング周波数

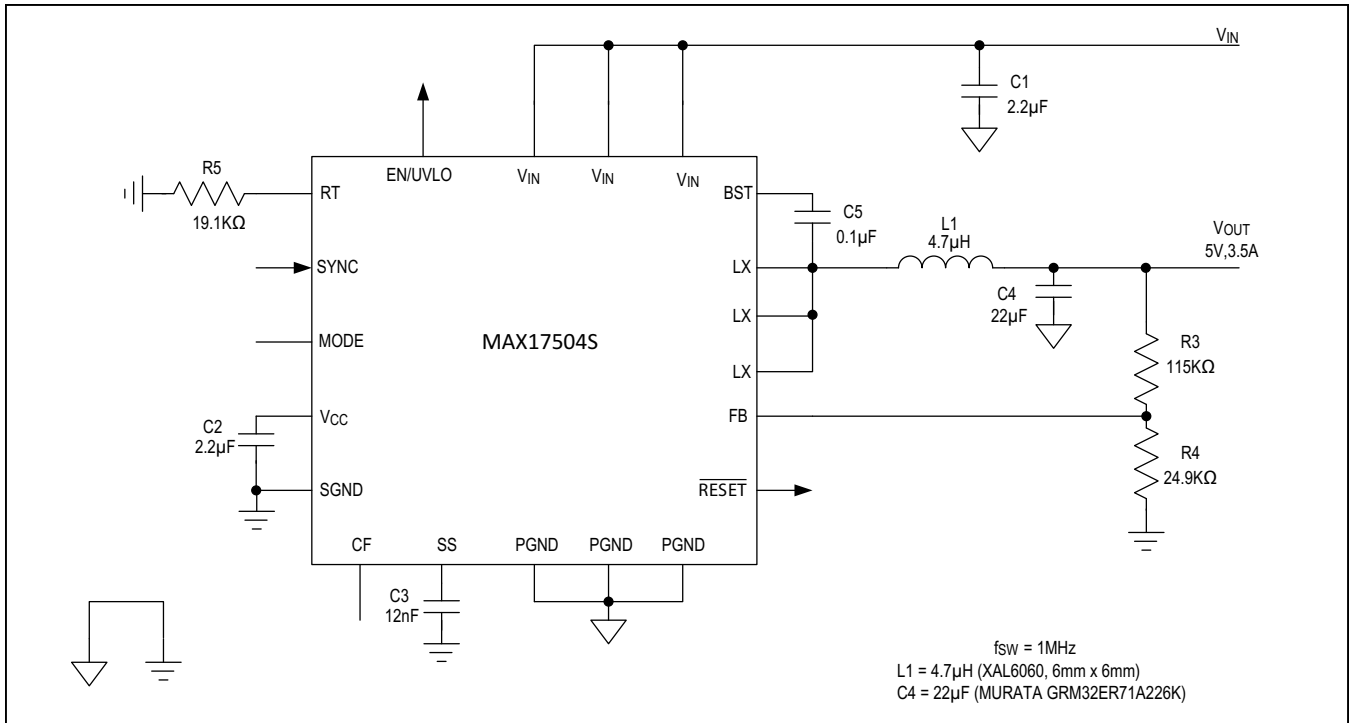


図5. MAX17504Sの標準動作回路、5V出力、1MHzスイッチング周波数

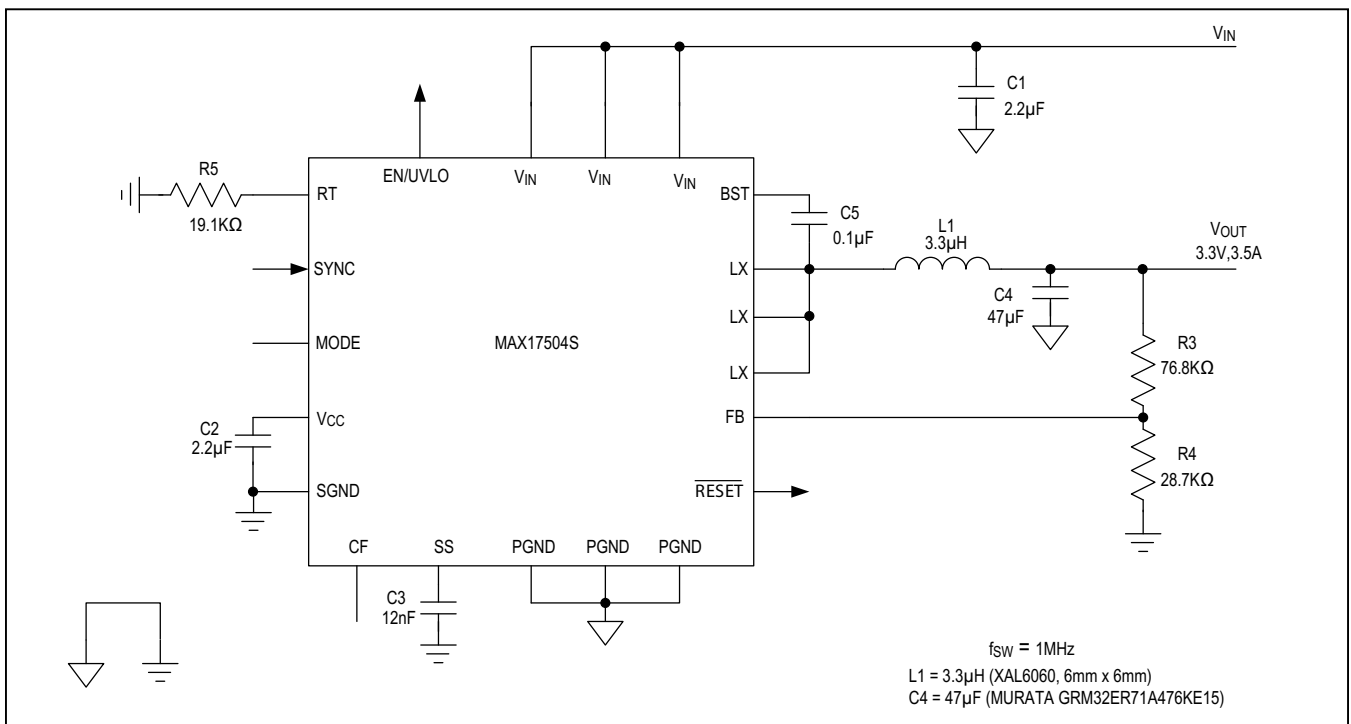


図6. MAX17504Sの標準動作回路、3.3V出力、1MHzスイッチング周波数

型番

PART	PIN-PACKAGE
MAX17504ATP+	20 TQFN-EP* 5mm x 5mm
MAX17504SATP+	20 TQFN-EP* 5mm x 5mm

注：別途記述のある場合を除いて、すべてのデバイスは-40℃～+125℃の温度範囲で動作します。

+は鉛(Pb)フリー/RoHS準拠パッケージを表します。

*EP = エクスポーズドパッド

チップ情報

PROCESS: BiCMOS

改訂履歴

版数	改訂日	説明	改訂ページ
0	11/13	初版	—
1	2/14	TOC32とTOC33、標準アプリケーション回路図を更新	9, 16, 17
2	10/16	データシートにMAX17504Sを追加、ジャンクション温度を更新、TOCを追加	1-17
3	5/17	17504Sをデータシートから削除、「概要」、「利点と特長」、「詳細」、「動作入力電圧範囲」の各項の型番を修正、TOC 1a、5、5a、6、7a、12、12a、13、13a、14a、15a、16a、17a、18a、19a、20a、21a、22、22a、23、23a、24a、25a、26a、27a、30a、32a、図3、4、5、および6を更新、「MAX17504/MAX17504Sの推奨部品配置」を削除	1-26



マキシム・ジャパン株式会社 〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-4 大崎ニューシティ 4号館 20F TEL: 03-6893-6600

Maxim Integratedは完全にMaxim Integrated製品に組み込まれた回路以外の回路の使用について一切責任を負いかねます。回路特許ライセンスは明言されていません。Maxim Integratedは随時予告なく回路及び仕様を変更する権利を留保します。「Electrical Characteristics (電気的特性)」の表に示すパラメータ値 (min、maxの各制限値)は、このデータシートの他の場所で引用している値より優先されます。