

# LT8708 多相システム向け、80Vの同期4スイッチ昇降圧DC/DCスレーブ・コントローラ

## 特長

- LT8708のスレーブ・チップが電力を追加供給
- 電流レギュレーションによる、LT8708の平均出力電流との良好な電流マッチング
- 4本のピンでLT8708と簡単に並行動作が可能
- LT8708と同期起動
- LT8708と同じ導通モード
- 同期整流動作: 効率: 最大98%
- 周波数範囲: 100kHz~400kHz
- 高電圧ピンのスペースを確保した40ピン(5mm×8mm) QFNパッケージを採用

## アプリケーション

- 高電圧昇降圧コンバータ
- 双方向充電システム
- 48Vの車載システム

全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

## 概要

LT<sup>®</sup>8708-1は、高性能の昇降圧スイッチング・レギュレータ・コントローラで、LT8708と並行動作してLT8708システムに電力と位相を追加供給します。LT8708-1は常にマスタLT8708のスレーブとして動作し、マスタと同じ電流または電力を提供することができます。1つのマスタに1つ以上のスレーブを接続し、システム全体の電力または電流を増やすことができます。

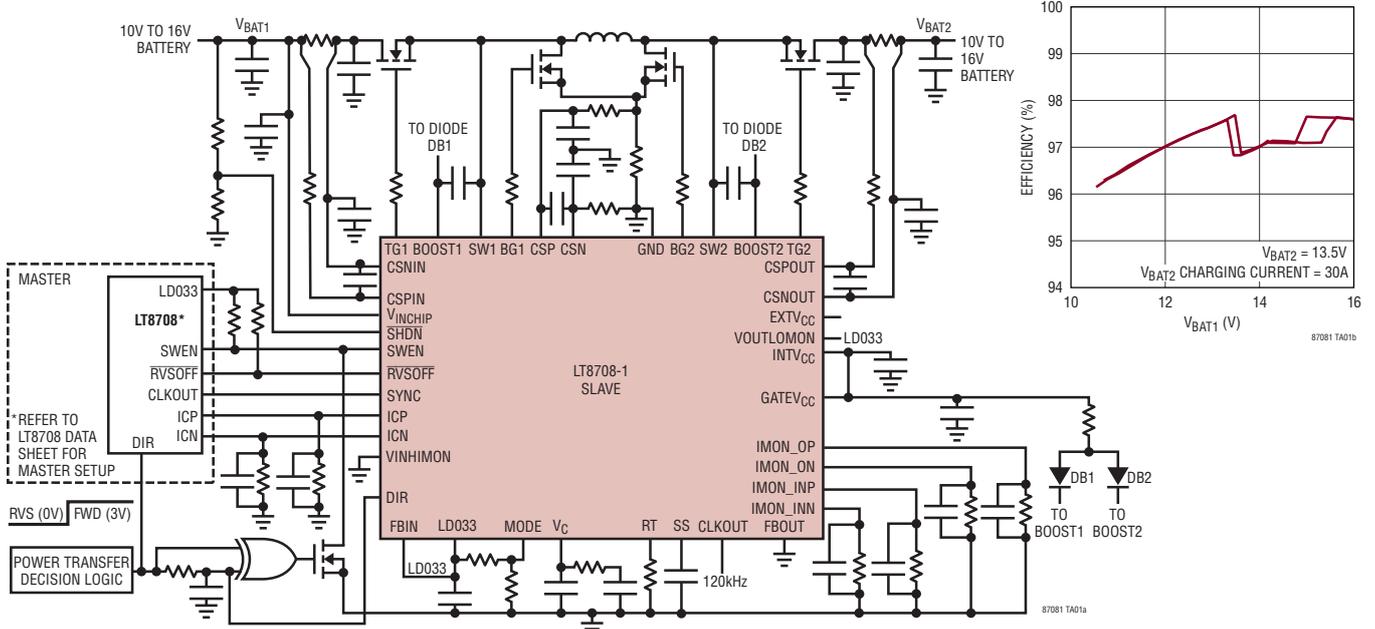
LT8708-1はLT8708と同じ導通モードになるため、LT8708-1でマスタと同じ方向に電流と電力を導通できます。マスタはLT8708多相システムの電流および電圧制限を全体的に制御し、スレーブはその制限に従います。

LT8708-1は4つの信号同士を接続することでLT8708と簡単に並行動作できます。各スレーブで、個別に設定できる2つの追加電流制限(順方向のV<sub>IN</sub>電流と逆方向のV<sub>IN</sub>電流)を利用できます。

## 標準的応用例

LT8708-1 2相12Vの双方向デュアル・バッテリー・システム (FHCMおよびRHCMを使用)

効率



目次

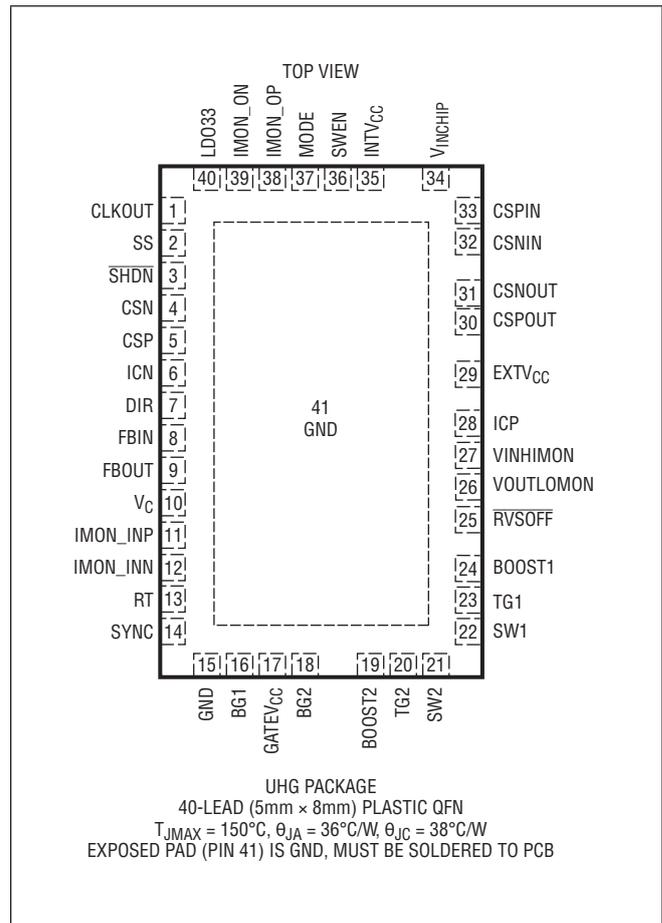
特長.....	1	電流のモニタリングおよび制限.....	21
アプリケーション.....	1	モニタリング: $I_{OUT(SLAVE)}$ .....	21
標準的応用例.....	1	モニタリングおよび制限: $I_{IN(SLAVE)}$ .....	21
概要.....	1	多相クロッキング.....	22
絶対最大定格.....	3	<b>アプリケーション情報.....</b>	<b>23</b>
発注情報.....	3	多相セットアップのクイックスタート.....	23
ピン配置.....	3	クイック・セットアップ: マスタの位相の設計.....	23
電気的特性.....	4	クイック・セットアップ: スレーブの位相の設計... ..	23
代表的な性能特性.....	8	クイック・セットアップ: 評価.....	23
ピン機能.....	10	総位相数の選択.....	23
ブロック図.....	13	動作周波数の選択.....	24
動作.....	14	$C_{IN}$ と $C_{OUT}$ の選択.....	24
LT8708-1とLT8708で共通の機能.....	14	$C_{IN}$ と $C_{OUT}$ の選択: $V_{IN}$ の容量.....	24
LT8708アプリケーションへの位相の追加.....	14	$C_{IN}$ と $C_{OUT}$ の選択: $V_{OUT}$ の容量.....	25
位相の追加: マスタLT8708.....	14	VINHIMON、VOUTLONON、およびRVSOFF.....	25
位相の追加: スレーブLT8708-1.....	16	$I_{IN(SLAVE)}$ 電流制限の構成.....	26
起動.....	17	$I_{OUT(SLAVE)}$ のレギュレーション.....	26
起動: SWENピン.....	17	$I_{OUT(SLAVE)}$ : 回路の説明.....	26
起動: スイッチング・レギュレータの		$I_{OUT(SLAVE)}$ : 構成.....	28
ソフトスタート.....	18	ループ補償.....	28
制御の概要.....	18	電圧ロックアウト.....	29
パワー・スイッチの制御.....	19	回路基板レイアウトのチェックリスト.....	29
一方向および双方向の導通.....	19	設計例.....	29
エラー・アンプ.....	19	<b>標準的応用例.....</b>	<b>31</b>
伝達関数: $I_{OUT(SLAVE)}$ と $I_{OUT(MASTER)}$ .....	20	<b>パッケージ.....</b>	<b>35</b>
伝達関数: CCM.....	21	<b>標準的応用例.....</b>	<b>36</b>
伝達関数: DCM、HCM、Burst Mode動作.....	21	<b>関連製品.....</b>	<b>36</b>

## 絶対最大定格

(Note 1)

$V_{CSP} - V_{CSN}$ 、 $V_{CSPIN} - V_{CSNIN}$ 、 $V_{CSPOUT} - V_{CSNOUT}$ .....	-0.3V~0.3V
CSP、CSNの電圧 .....	-0.3V~3V
$V_C$ の電圧 (Note 2) .....	-0.3V~2.2V
RT、FBOUT、SSの電圧 .....	-0.3V~5V
IMON_INP、IMON_INN、IMON_OP、 IMON_ON、ICP、ICNの電圧 .....	-0.3V~5V
SYNCの電圧 .....	-0.3V~5.5V
INTV <sub>CC</sub> 、GATEV <sub>CC</sub> の電圧 .....	-0.3V~7V
$V_{BOOST1} - V_{SW1}$ 、 $V_{BOOST2} - V_{SW2}$ .....	-0.3V~7V
SWEN、RVSOFFの電圧 .....	-0.3V~7V
SWENの電流 .....	0.5mA
RVSOFFの電流 .....	1mA
FBIN、SHDNの電圧 .....	-0.3V~30V
VINHIMONの電圧 .....	-0.3V~30V
VOUTLOMONの電圧 .....	-0.3V~5V
DIR、MODEの電圧 .....	-0.3V~5V
CSNIN、CSPIN、CSPOUT、CSNOUTの電圧 .....	-0.3V~80V
$V_{INCHIP}$ 、EXTV <sub>CC</sub> の電圧 .....	-0.3V~80V
SW1、SW2の電圧 .....	81V (Note 6)
BOOST1、BOOST2の電圧 .....	-0.3V~87V
BG1、BG2、TG1、TG2 .....	(Note 5)
LD033、CLKOUT .....	(Note 8)
動作ジャンクション温度範囲	
LT8708-1E (Note 3, 8) .....	-40°C~125°C
LT8708-1I (Note 3, 8) .....	-40°C~125°C
LT8708-1H (Note 3, 8) .....	-40°C~150°C
保存温度範囲 .....	-65°C~150°C

## ピン配置



## 発注情報

鉛フリー仕上げ	テープ&リール	製品マーキング*	パッケージ	温度範囲
LT8708EUHG-1#PBF	LT8708EUHG-1#TRPBF	87081	40ピン(5mm×8mm)プラスチックQFN	-40°C~125°C
LT8708IUHG-1#PBF	LT8708IUHG-1#TRPBF	87081	40ピン(5mm×8mm)プラスチックQFN	-40°C~125°C
LT8708HUHG-1#PBF	LT8708HUHG-1#TRPBF	87081	40ピン(5mm×8mm)プラスチックQFN	-40°C~150°C

更に広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。\*温度グレードは出荷時のコンテナのラベルで識別されます。

テープ&リールの仕様。一部のパッケージは、#TRMPBF接尾部の付いた指定の販売経路を通じて500個入りのリールで供給可能です。

## 電気的特性

●は、規定動作ジャンクション温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。

注記がない限り、 $V_{\text{INCHIP}} = 12\text{V}$ 、 $\text{SHDN} = 3\text{V}$ 、 $\text{DIR} = 3.3\text{V}$ 。(Note 3)。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>電圧源およびレギュレータ</b>						
$V_{\text{INCHIP}}$ Operating Voltage Range	$\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$	●	5.5		80	V
	$\text{EXTV}_{\text{CC}} = 7.5\text{V}$	●	2.8		80	V
$V_{\text{INCHIP}}$ Quiescent Current	Not Switching, $V_{\text{EXTV}_{\text{CC}}} = 0$ SWEN = 3.3V SWEN = 0V			4.7	7.5	mA
				2.45	4.5	mA
$V_{\text{INCHIP}}$ Quiescent Current in Shutdown	$V_{\text{SHDN}} = 0\text{V}$			0	1	$\mu\text{A}$
$\text{EXTV}_{\text{CC}}$ Switchover Voltage	$I_{\text{INTV}_{\text{CC}}} = -20\text{mA}$ , $V_{\text{EXTV}_{\text{CC}}}$ Rising	●	6.15	6.4	6.6	V
$\text{EXTV}_{\text{CC}}$ Switchover Hysteresis				0.2		V
$\text{INTV}_{\text{CC}}$ Current Limit	Max Current Draw from $\text{INTV}_{\text{CC}}$ and LD033 Pins Combined. Regulated from $V_{\text{INCHIP}}$ or $\text{EXTV}_{\text{CC}}$ (12V) $\text{INTV}_{\text{CC}} = 5.25\text{V}$ $\text{INTV}_{\text{CC}} = 4.4\text{V}$	●	90	127	165	mA
		●	28	42	55	mA
$\text{INTV}_{\text{CC}}$ Voltage	Regulated from $V_{\text{INCHIP}}$ , $I_{\text{INTV}_{\text{CC}}} = 20\text{mA}$	●	6.1	6.3	6.5	V
	Regulated from $\text{EXTV}_{\text{CC}}$ (12V), $I_{\text{INTV}_{\text{CC}}} = 20\text{mA}$	●	6.1	6.3	6.5	V
$\text{INTV}_{\text{CC}}$ Load Regulation	$I_{\text{INTV}_{\text{CC}}} = 0\text{mA}$ to $50\text{mA}$			-0.5	-1.5	%
$\text{INTV}_{\text{CC}}$ , $\text{GATEV}_{\text{CC}}$ Undervoltage Lockout	$\text{INTV}_{\text{CC}}$ Falling, $\text{GATEV}_{\text{CC}}$ Connected to $\text{INTV}_{\text{CC}}$	●	4.45	4.65	4.85	V
$\text{INTV}_{\text{CC}}$ , $\text{GATEV}_{\text{CC}}$ Undervoltage Lockout Hysteresis	$\text{GATEV}_{\text{CC}}$ Connected to $\text{INTV}_{\text{CC}}$			160		mV
$\text{INTV}_{\text{CC}}$ Regulator Dropout Voltage	$V_{\text{INCHIP}} - V_{\text{INTV}_{\text{CC}}}$ , $I_{\text{INTV}_{\text{CC}}} = 20\text{mA}$			245		mV
LD033 Pin Voltage	5mA from LD033 Pin	●	3.23	3.295	3.35	V
LD033 Pin Load Regulation	$I_{\text{LD033}} = 0.1\text{mA}$ to $5\text{mA}$			-0.25	-1	%
LD033 Pin Current Limit	SYNC = 3V	●	12	17.25	22	mA
LD033 Pin Undervoltage Lockout	LD033 Falling		2.96	3.04	3.12	V
LD033 Pin Undervoltage Lockout Hysteresis				35		mV
<b>スイッチング・レギュレータの制御</b>						
Maximum Current Sense Threshold ( $V_{\text{CSP}} - V_{\text{CSN}}$ )	Boost Mode, Minimum M3 Switch Duty Cycle	●	76	93	110	mV
Maximum Current Sense Threshold ( $V_{\text{CSN}} - V_{\text{CSP}}$ )	Buck Mode, Minimum M2 Switch Duty Cycle	●	68	82	97	mV
Maximum Current Sense Threshold ( $V_{\text{CSN}} - V_{\text{CSP}}$ )	Boost Mode, Minimum M3 Switch Duty Cycle	●	79	93	108	mV
Maximum Current Sense Threshold ( $V_{\text{CSP}} - V_{\text{CSN}}$ )	Buck Mode, Minimum M2 Switch Duty Cycle	●	72	84	96	mV
Gain from $V_{\text{C}}$ to Max Current Sense Voltage ( $V_{\text{CSP}} - V_{\text{CSN}}$ ) (A5 in the Block Diagram)	Boost Mode			135		mV/V
	Buck Mode			-135		mV/V
$\text{SHDN}$ Input Voltage High	$\text{SHDN}$ Rising to Enable the Device	●	1.175	1.221	1.275	V
$\text{SHDN}$ Input Voltage High Hysteresis				40		mV
$\text{SHDN}$ Input Voltage Low	Device Disabled, Low Quiescent Current (LT8708E-1, LT8708I-1) (LT8708H-1)	●			0.35	V
		●			0.3	V
$\text{SHDN}$ Pin Bias Current	$V_{\text{SHDN}} = 3\text{V}$ $V_{\text{SHDN}} = 12\text{V}$			0	1	$\mu\text{A}$
				14	22	$\mu\text{A}$
SWEN Rising Threshold Voltage		●	1.156	1.208	1.256	V
SWEN Threshold Voltage Hysteresis				22		mV
SWEN Output Voltage Low	$I_{\text{SWEN}} = 200\mu\text{A}$ $\text{SHDN} = 0\text{V}$ or $V_{\text{INCHIP}} = 0\text{V}$ $\text{SHDN} = 3\text{V}$	●		0.9	1.1	V
		●		0.2	0.5	V
SWEN Internal Pull-Down Release Voltage	$\text{SHDN} = 3\text{V}$	●	0.75	0.8		V

電気的特性

●は、規定動作ジャンクション温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。

注記がない限り、 $V_{\text{INCHIP}} = 12\text{V}$ 、 $\text{SHDN} = 3\text{V}$ 、 $\text{DIR} = 3.3\text{V}$ 。(Note 3)。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
MODE Pin Continuous Conduction Mode (CCM) Threshold		●	0.4		V	
MODE Pin Hybrid DCM/CCM Mode (HCM) Range		●	0.8	1.2	V	
MODE Pin Discontinuous Conduction Mode (DCM) Range		●	1.6	2.0	V	
MODE Pin Burst Mode Operation Threshold		●		2.4	V	
DIR Pin Forward Operation Threshold		●	1.6		V	
DIR Pin Reverse Operation Threshold		●		1.2	V	
RVSOFF Output Voltage Low	$I_{\text{RVSOFF}} = 200\mu\text{A}$	●	0.08	0.5	V	
RVSOFF Falling Threshold Voltage		●	1.155	1.209	1.275	V
RVSOFF Threshold Voltage Hysteresis			165		mV	
Soft-Start Charging Current	$V_{\text{SS}} = 0\text{V}$ $V_{\text{SS}} = 0.5\text{V}$		13 21	19 31	25 41	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
IMON_ON Rising Threshold for FDCM Operation	MODE = 1V (HCM), DIR = 3.3V	●	235	255	280	mV
IMON_ON Falling Threshold for CCM Operation	MODE = 1V (HCM), DIR = 3.3V	●	185	205	235	mV
IMON_INP Rising Threshold for RDCM Operation	MODE = 1V (HCM), DIR = 0V	●	235	255	280	mV
IMON_INP Falling Threshold for CCM Operation	MODE = 1V (HCM), DIR = 0V	●	185	205	235	mV
ICP Rising Threshold for Start Switching		●	485	510	536	mV
ICN Rising Threshold for Start Switching		●	485	510	536	mV
ICP Rising Threshold for Enabling Non-CCM Offset Current		●	680	704	730	mV
ICP Falling Threshold for Disabling Non-CCM Offset Current		●	500	530	560	mV
ICN Rising Threshold for Enabling Non-CCM Offset Current		●	680	704	730	mV
ICN Falling Threshold for Disabling Non-CCM Offset Current		●	500	530	560	mV

電圧レギュレーション・ループ(アンプの位置はブロック図を参照)

Regulation Voltage for FBOUT	Regulate $V_C$ to 1.2V	●	1.193	1.207	1.222	V
Regulation Voltage for FBIN	Regulate $V_C$ to 1.2V	●	1.184	1.205	1.226	V
Line Regulation for FBOUT and FBIN Error Amp Reference Voltage	$V_{\text{INCHIP}} = 12\text{V}$ to 80V, Not Switching			0.002	0.005	%/V
FBOUT Pin Bias Current	Current Out of Pin			15		nA
FBOUT Error Amp EA4 $g_m$				345		$\mu\text{mho}$
FBOUT Error Amp EA4 Voltage Gain				245		V/V
VOUOLOMON Voltage Activation Threshold	Falling	●	1.185	1.207	1.225	V
VOUOLOMON Threshold Voltage Hysteresis				24		mV
VOUOLOMON Pin Bias Current	$V_{\text{VOUOLOMON}} = 1.24\text{V}$ , Current Into Pin $V_{\text{VOUOLOMON}} = 1.17\text{V}$ , Current Into Pin	●	0.8	0.01 1	1.2	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
FBIN Pin Bias Current	Current Out of Pin			10		nA
FBIN Error Amp EA3 $g_m$				235		$\mu\text{mho}$
FBIN Error Amp EA3 Voltage Gain				150		V/V
VINHIMON Voltage Activation Threshold	Rising	●	1.185	1.207	1.23	V
VINHIMON Threshold Voltage Hysteresis				24		mV
VINHIMON Pin Bias Current	$V_{\text{VINHIMON}} = 1.17\text{V}$ , Current Into Pin $V_{\text{VINHIMON}} = 1.24\text{V}$ , Current Out of Pin	●	0.8	0.01 1	1.2	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$

## 電気的特性

●は、規定動作ジャンクション温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。

注記がない限り、 $V_{\text{INCHIP}} = 12\text{V}$ 、 $\text{SHDN} = 3\text{V}$ 、 $\text{DIR} = 3.3\text{V}$ 。(Note 3)。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
電流レギュレーション・ループ(アンプの位置はブロック図を参照)						
Regulation Voltages for IMON_INP and IMON_OP	$V_C = 1.2\text{V}$	● 1.185	1.209	1.231	V	
Regulation Voltages for IMON_INN	$V_C = 1.2\text{V}$	● 1.185	1.21	1.24	V	
Line Regulation for IMON_INP, IMON_INN and IMON_OP Error Amp Reference Voltage	$V_{\text{INCHIP}} = 12\text{V to } 80\text{V}$		0.002	0.005	%/V	
CSPIN Bias Current	$V_{\text{CSPIN}} = 12\text{V}$		0.01		$\mu\text{A}$	
	$V_{\text{CSPIN}} = 1.5\text{V}$		0.01		$\mu\text{A}$	
CSNIN Bias Current	BOOST Capacitor Charge Control Block Not Active $V_{\text{SWEN}} = 3.3\text{V}$ , $V_{\text{CSPIN}} = V_{\text{CSNIN}} = 12\text{V}$ $V_{\text{SWEN}} = 3.3\text{V}$ , $V_{\text{CSPIN}} = V_{\text{CSNIN}} = 1.5\text{V}$ $V_{\text{SWEN}} = 0\text{V}$		84		$\mu\text{A}$	
			4.25		$\mu\text{A}$	
			0.01		$\mu\text{A}$	
CSPIN, CSNIN Common Mode Operating Voltage Range		● 0		80	V	
CSPIN, CSNIN Differential Mode Operating Voltage Range		● -100		100	mV	
IMON_INP Output Current	$V_{\text{CSPIN}} - V_{\text{CSNIN}} = 50\text{mV}$ , $V_{\text{CSNIN}} = 5\text{V}$		67	70	73	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSPIN}} - V_{\text{CSNIN}} = 50\text{mV}$ , $V_{\text{CSNIN}} = 5\text{V}$	●	64.5	70	75.5	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSPIN}} - V_{\text{CSNIN}} = 5\text{mV}$ , $V_{\text{CSNIN}} = 5\text{V}$		22.5	25	27.5	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSPIN}} - V_{\text{CSNIN}} = 5\text{mV}$ , $V_{\text{CSNIN}} = 5\text{V}$	●	20	25	30	$\mu\text{A}$
IMON_INN Output Current	$V_{\text{CSNIN}} - V_{\text{CSPIN}} = 50\text{mV}$ , $V_{\text{CSNIN}} = 5\text{V}$		66	70	74	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSNIN}} - V_{\text{CSPIN}} = 50\text{mV}$ , $V_{\text{CSNIN}} = 5\text{V}$	●	65	70	75	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSNIN}} - V_{\text{CSPIN}} = 5\text{mV}$ , $V_{\text{CSNIN}} = 5\text{V}$		19	25	30.5	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSNIN}} - V_{\text{CSPIN}} = 5\text{mV}$ , $V_{\text{CSNIN}} = 5\text{V}$	●	18	25	32	$\mu\text{A}$
IMON_INP and IMON_INN Max Output Current		● 120			$\mu\text{A}$	
IMON_INP Error Amp EA5 $g_m$			190		$\mu\text{mho}$	
IMON_INP Error Amp EA5 Voltage Gain			130		V/V	
IMON_INN Error Amp EA1 $g_m$	$\text{FBIN} = 0\text{V}$ , $\text{FBOU} = 3.3\text{V}$		190		$\mu\text{mho}$	
IMON_INN Error Amp EA1 Voltage Gain	$\text{FBIN} = 0\text{V}$ , $\text{FBOU} = 3.3\text{V}$		130		V/V	
CSPOUT Bias Current	$V_{\text{CSPOUT}} = 12\text{V}$		0.01		$\mu\text{A}$	
	$V_{\text{CSPOUT}} = 1.5\text{V}$		0.01		$\mu\text{A}$	
CSNOUT Bias Current	BOOST Capacitor Charge Control Block Not Active $V_{\text{SWEN}} = 3.3\text{V}$ , $V_{\text{CSPOUT}} = V_{\text{CSNOUT}} = 12\text{V}$ $V_{\text{SWEN}} = 3.3\text{V}$ , $V_{\text{CSPOUT}} = V_{\text{CSNOUT}} = 1.5\text{V}$ $V_{\text{SWEN}} = 0\text{V}$		83		$\mu\text{A}$	
			4.25		$\mu\text{A}$	
			0.01		$\mu\text{A}$	
CSPOUT, CSNOUT Common Mode Operating Voltage Range		● 0		80	V	
CSPOUT, CSNOUT Differential Mode Operating Voltage Range		● -100		100	mV	
IMON_ON Output Current	$V_{\text{CSNOUT}} - V_{\text{CSPOUT}} = 50\text{mV}$ , $V_{\text{CSNOUT}} = 5\text{V}$		67	70	73	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSNOUT}} - V_{\text{CSPOUT}} = 50\text{mV}$ , $V_{\text{CSNOUT}} = 5\text{V}$	●	65	70	75	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSNOUT}} - V_{\text{CSPOUT}} = 5\text{mV}$ , $V_{\text{CSNOUT}} = 5\text{V}$		22.5	25	27.5	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSNOUT}} - V_{\text{CSPOUT}} = 5\text{mV}$ , $V_{\text{CSNOUT}} = 5\text{V}$	●	20.5	25	29	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSNOUT}} - V_{\text{CSPOUT}} = -5\text{mV}$ , $V_{\text{CSNOUT}} = 5\text{V}$		12.5	15	17.5	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{CSNOUT}} - V_{\text{CSPOUT}} = -5\text{mV}$ , $V_{\text{CSNOUT}} = 5\text{V}$	●	10.5	15	19.5	$\mu\text{A}$
IMON_ON Max Output Current		● 120			$\mu\text{A}$	
CSPOUT-CSNOUT Regulation Voltage	Regulate $V_C$ to 1.2V $R_{\text{IMON\_OP}} = 17.4\text{k}\Omega$ $V_{\text{CSNOUT}} = 12\text{V}$	$\text{ICP} = 1.218\text{V}$ , $\text{ICN} = 0\text{V}$	● 43	50	55	mV
		$\text{ICP} = 0\text{V}$ , $\text{ICN} = 1.218\text{V}$	● -55	-50	-44	mV
		$\text{ICP} = \text{ICN} = 0.348\text{V}$	● -6	0	6	mV

電気的特性

●は、規定動作ジャンクション温度範囲での規格値を意味する。それ以外は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  での値。

注記がない限り、 $V_{\text{INCHIP}} = 12\text{V}$ 、 $\text{SHDN} = 3\text{V}$ 、 $\text{DIR} = 3.3\text{V}$ 。(Note 3)。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b>NMOS ゲート・ドライバ</b>						
TG1, TG2 Rise Time	$C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ (Note 4)		20		ns	
TG1, TG2 Fall Time	$C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ (Note 4)		20		ns	
BG1, BG2 Rise Time	$C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ (Note 4)		20		ns	
BG1, BG2 Fall Time	$C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ (Note 4)		20		ns	
TG1 Off to BG1 On Delay	$C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ Each Driver		90		ns	
BG1 Off to TG1 On Delay	$C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ Each Driver		80		ns	
TG2 Off to BG2 On Delay	$C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ Each Driver		90		ns	
BG2 Off to TG2 On Delay	$C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ Each Driver		80		ns	
Min On-Time for Main Switch in Boost Operation ( $t_{\text{ON}(M3, \text{MIN})}$ )	Switch M3, $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		200		ns	
Min On-Time for Synchronous Switch in Buck Operation ( $t_{\text{ON}(M2, \text{MIN})}$ )	Switch M2, $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		200		ns	
Min Off-Time for Main Switch in Steady-State Boost Operation	Switch M3, $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		230		ns	
Min Off-Time for Synchronous Switch in Steady-State Buck Operation	Switch M2, $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		230		ns	
<b>発振器</b>						
Switch Frequency Range	SYNCing or Free Running		100	400	kHz	
Switching Frequency, $f_{\text{OSC}}$	$R_T = 365\text{k}$	●	102	120	142	kHz
	$R_T = 215\text{k}$	●	170	202	235	kHz
	$R_T = 124\text{k}$	●	310	350	400	kHz
SYNC High Level for Synchronization		●	1.3		V	
SYNC Low Level for Synchronization		●		0.5	V	
SYNC Clock Pulse Duty Cycle	$V_{\text{SYNC}} = 0\text{V to } 2\text{V}$		20	80	%	
Recommended Min SYNC Ratio $f_{\text{SYNC}}/f_{\text{OSC}}$			3/4			
CLKOUT Output Voltage High	$V_{\text{LD033}} - V_{\text{CLKOUT}}$ , 1mA Out of CLKOUT Pin, $I_{\text{LD033}} = 0\mu\text{A}$		100	250	mV	
CLKOUT Output Voltage Low	1mA Into CLKOUT Pin		25	100	mV	
CLKOUT Duty Cycle	$T_J = -40^\circ\text{C}$		22.7		%	
	$T_J = 25^\circ\text{C}$		44.1		%	
	$T_J = 125^\circ\text{C}$		77		%	
CLKOUT Rise Time	$C_{\text{LOAD}} = 200\text{pF}$		20		ns	
CLKOUT Fall Time	$C_{\text{LOAD}} = 200\text{pF}$		20		ns	
CLKOUT Phase Delay	SYNC Rising to CLKOUT Rising, $f_{\text{OSC}} = 100\text{kHz}$	●	160	180	200	Degree

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

**Note 2:**  $V_C$  ピンに強制的に電圧を印加してはならない。

**Note 3:** LT8708E-1 は、 $0^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  のジャンクション温度で性能仕様に適合することが確認されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  の動作ジャンクション温度範囲での仕様は、設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LT8708I-1 は、 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  の全動作ジャンクション温度範囲で確認されている。LT8708H-1 は、 $-40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$  の全動作ジャンクション温度範囲で確認されている。

**Note 4:** 立ち上がり時間と立下がり時間は10%と90%のレベルを使用して測定されている。遅延時間は50%レベルを使用して測定されている。

**Note 5:** これらのピンには電圧源も電流源も印加してはならない。接続するのは容量性負荷のみにする必要がある。そうしないと永続的な損傷が生じる恐れがある。

**Note 6:** SW1 ピンと SW2 ピンの負電圧は、アプリケーションでは外付け NMOS デバイス、M2 および M3 のボディ・ダイオード、または並列のショットキー・ダイオード(存在する場合)によって制限される。SW1 ピンと SW2 ピンは、グラウンドからダイオードの電圧降下分を超えたこれらの負電圧に耐性を持つことが設計により確認されている。

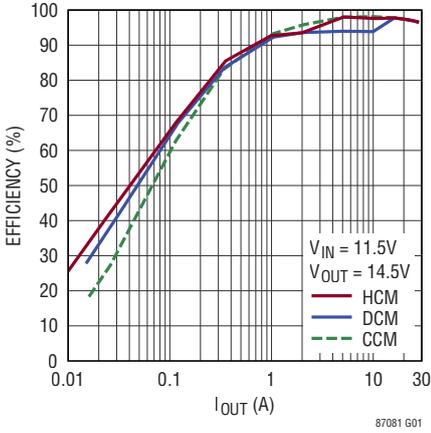
**Note 7:** このデバイスには、短時間の過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能が備わっている。過熱保護が動作しているとき、ジャンクション温度は最大動作ジャンクション温度を超える。規定された最大動作ジャンクション温度を超えた状態で動作が継続すると、デバイスの信頼性を損なう可能性がある。

**Note 8:** これらのピンには電圧も電流も強制的に印加してはならない。

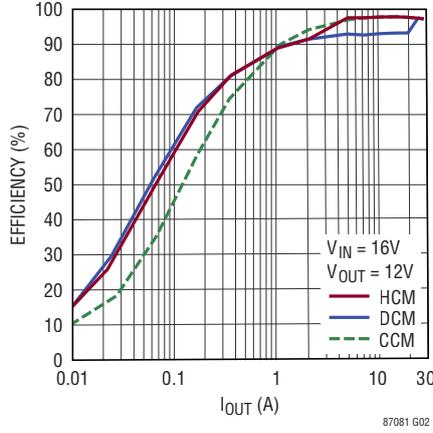
## 代表的な性能特性

特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

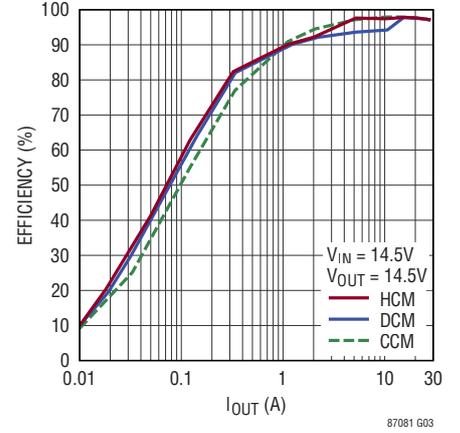
効率と出力電流  
(昇圧領域 - 32ページ)



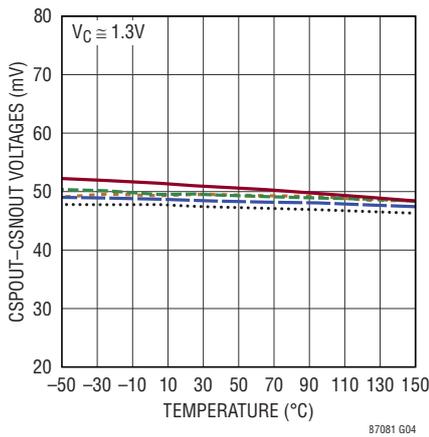
効率と出力電流  
(降圧領域 - 32ページ)



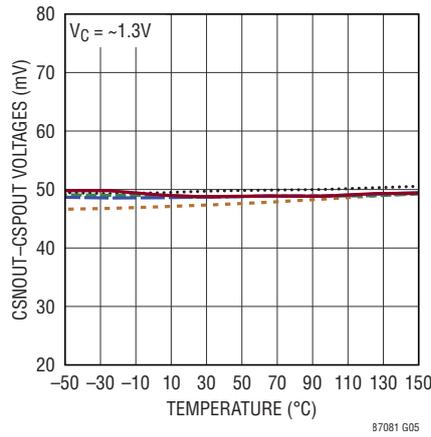
効率と出力電流  
(昇降圧領域 - 32ページ)



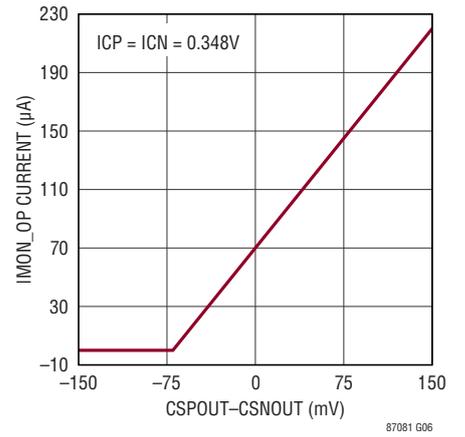
CSPOUT - CSNOUT の電圧  
(ICP = 1.218V、ICN = 0V)  
(5デバイスのデータ)



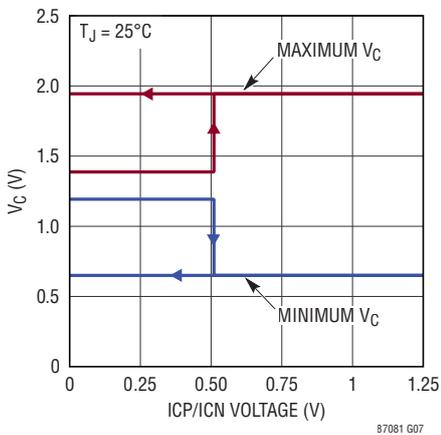
CSNOUT - CSPOUT の電圧  
(ICP = 1.218V、ICN = 0V)  
(5デバイスのデータ)



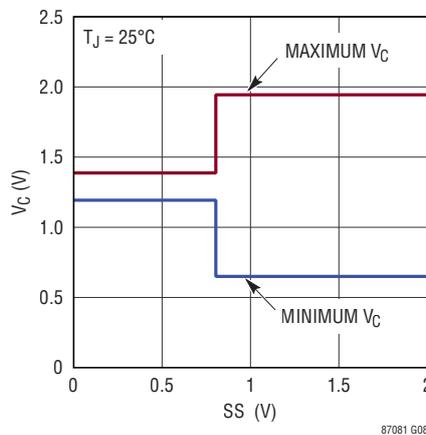
IMON\_OP の出力電流



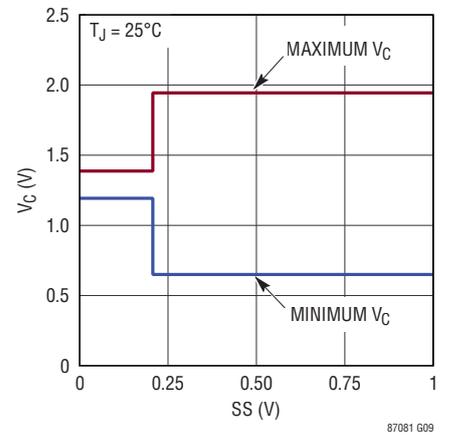
最大および最小  $V_C$  と ICP\_ICN  
(SS = 0)



最大および最小  $V_C$  と SS  
(ICP = ICN = 0.348V)



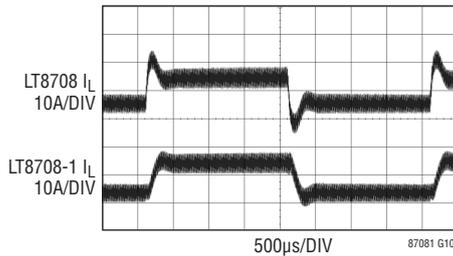
最大および最小  $V_C$  と SS  
(ICP または ICN = 1V)



代表的な性能特性

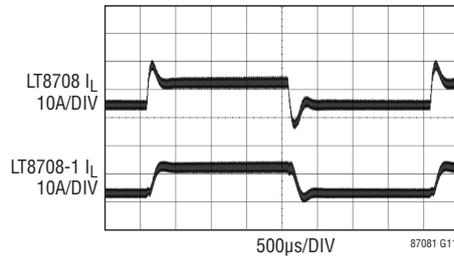
特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

負荷ステップ (32 ページ)  
 $V_{IN} = 12V$   $V_{OUT} = 14.5V$



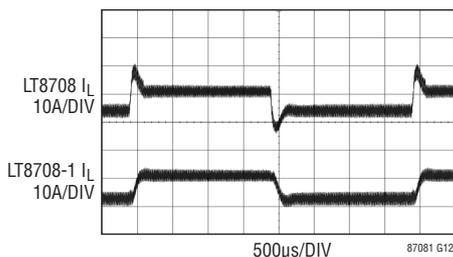
$V_{BAT1} = 12V$ ,  $V_{BAT2}$  REGULATED TO 14.5V  
 LOAD STEP = 10A TO 25A  
 LOAD APPLIED AT  $V_{BAT2}$  WITH  
 BATTERY DISCONNECTED

負荷ステップ (32 ページ)  
 $V_{IN} = 14.5V$   $V_{OUT} = 14.5V$



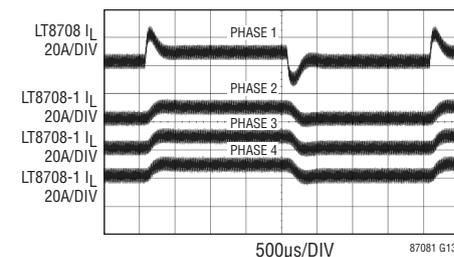
$V_{BAT1} = 14.5V$ ,  $V_{BAT2}$  REGULATED TO 14.5V  
 LOAD STEP = 10A TO 25A  
 LOAD APPLIED AT  $V_{BAT2}$  WITH  
 BATTERY DISCONNECTED

負荷ステップ (32 ページ)  
 $V_{IN} = 16V$   $V_{OUT} = 14.5V$



$V_{BAT1} = 16V$ ,  $V_{BAT2}$  REGULATED TO 14.5V  
 LOAD STEP = 10A TO 25A  
 LOAD APPLIED AT  $V_{BAT2}$  WITH  
 BATTERY DISCONNECTED

負荷ステップ (33 ページ)  
 $V_{IN} = 48V$   $V_{OUT} = 14.5V$



$V_{BAT1} = 48V$ ,  $V_{BAT2}$  REGULATED TO 14.5V  
 LOAD STEP = 20A TO 55A  
 LOAD APPLIED AT  $V_{BAT2}$  WITH  
 BATTERY DISCONNECTED

## ピン機能

**CLKOUT (ピン1)** : クロック出力ピン。互換性のある1つ以上のスイッチング・レギュレータICと同期するときに、このピンを使用します。CLKOUTは、内部発振器またはSYNCピンと同じ周波数で切り替わりますが、位相は約 $180^\circ$ ずれます。CLKOUTのデューティ・サイクルはデバイスのジャンクション温度に対して直線的に変化するので、CLKOUTは温度モニタとして使用することもできます。CLKOUTピンは、200pFまでの容量性負荷を駆動できます。

**SS (ピン2)** : ソフトスタート・ピン。このピンとグラウンドの間にコンデンサを接続します。マスタLT8708で使用されているSSピン・コンデンサと同一のコンデンサを推奨します。起動すると、このピンは内部抵抗により3.3Vまで充電されます。

**SHDN (ピン3)** : シャットダウン・ピン。チップをイネーブルするにはハイに接続します。シャットダウンして自己消費電流を最小にするにはグラウンドに接続します。このピンはフロート状態にしないでください。

**CSN (ピン4)** : インダクタ電流検出およびDCM検出コンパレータの(-)入力。

**CSP (ピン5)** : インダクタ電流検出およびDCM検出コンパレータの(+)入力。V<sub>C</sub>ピンの電圧と、CSPピンとCSNピンの間の組込みオフセットを、R<sub>SENSE</sub>値と組み合わせることにより、インダクタ電流作動閾値が設定されます。マスタLT8708と同じ値のR<sub>SENSE</sub>を使用することを推奨します。

**ICN (ピン6)** : 負のV<sub>OUT</sub>電流コマンド・ピン。このピンの電圧により、LT8708-1を安定化する負のV<sub>OUT</sub>電流が決まります。このピンは、マスタLT8708のICNピンに接続します。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**DIR (ピン7)** : MODEがDCM (不連続導通モード) またはHCM (ハイブリッド導通モード) 動作に設定されている場合の方向ピン。それ以外の場合、このピンは無視されます。このピンをGNDに接続すると、V<sub>OUT</sub>からV<sub>IN</sub>に向けて電力を処理します。このピンをLDO33に接続すると、V<sub>IN</sub>からV<sub>OUT</sub>に向けて電力を処理します。このピンは、マスタLT8708と同じ制御信号で駆動するか、マスタと同じ電圧に接続します。

**FBIN (ピン8)** : V<sub>IN</sub>帰還ピン。このピンは、エラー・アンプEA3の入力に接続されます。通常は、このピンはLDO33に接続し、EA3をディスエーブルします。

**FBOUT (ピン9)** : V<sub>OUT</sub>帰還ピン。このピンは、エラー・アンプEA4の入力に接続されます。通常は、このピンはGNDに接続し、EA4をディスエーブルします。

**V<sub>C</sub> (ピン10)** : エラー・アンプの出力ピン。このピンには外付けの補償回路網を接続します。

**IMON\_INP (ピン11)** : 正のV<sub>IN</sub>電流モニタおよび制限ピン。このピンの電流出力を求めるには、正の平均V<sub>IN</sub>電流に比例する電流に20 $\mu$ Aを加えます。また、エラー・アンプEA5に接続して、正の最大V<sub>IN</sub>電流を制限するために使用できます。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**IMON\_INN (ピン12)** : 負のV<sub>IN</sub>電流モニタおよび制限ピン。このピンの電流出力を求めるには、負の平均V<sub>IN</sub>電流に比例する電流に20 $\mu$ Aを加えます。また、エラー・アンプEA1に接続して、負の最大V<sub>IN</sub>電流を制限するために使用できます。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**RT (ピン13)** : タイミング抵抗ピン。スイッチング周波数を調整します。周波数を設定するには、このピンとグラウンドの間に抵抗を接続します。マスタLT8708と同じ値のR<sub>T</sub>抵抗を使用することを推奨します。このピンはフロート状態にしないでください。

**SYNC (ピン14)** : スwitching周波数を外部クロックに同期させるには、単にこのピンをクロックで駆動します。クロックのハイ電圧レベルは1.3Vを超えなければならず、ロー電圧レベルは0.5Vより低くなければなりません。2相システムでは、このピンをマスタLT8708のCLKOUTピンに接続して、位相を $180^\circ$ シフトします。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**BG1、BG2 (ピン16、ピン18)** : 下側のゲート駆動。グラウンドとGATEV<sub>CC</sub>の間の下側NチャンネルMOSFETのゲートを駆動します。

**GATEV<sub>CC</sub> (ピン17)** : 下側ゲート・ドライバ用の電源。INTV<sub>CC</sub>ピンに接続する必要があります。他の電源からは電力を供給しないでください。短距離でGNDにバイパスします。マスタLT8708と同じ値のバイパス・コンデンサを使用することを推奨します。

## ピン機能

**BOOST1、BOOST2 (ピン24、ピン19) :** フロート・ドライバの昇圧電源。このピンにはブートストラップ・コンデンサの(+)端子を接続します。BOOST1ピンの振幅範囲は、GATEV<sub>CC</sub>よりダイオードの電圧降下分だけ低い電圧から ( $V_{IN} + GATEV_{CC}$ ) までになります。BOOST2ピンの振幅範囲は、GATEV<sub>CC</sub>よりダイオードの電圧降下分だけ低い電圧から ( $V_{OUT} + GATEV_{CC}$ ) までになります。

**TG1、TG2 (ピン23、ピン20) :** 上側のゲート駆動。上側のNチャンネルMOSFETを、スイッチ・ノード電圧にGATEV<sub>CC</sub>を重畳した電圧に等しい電圧振幅で駆動します。

**SW1、SW2 (ピン22、ピン21) :** スイッチ・ノード。このピンにはブートストラップ・コンデンサの(-)端子を接続します。

**RVSOFF (ピン25) :** 逆方向の導通のディスエーブル・ピン。これは、プルアップ抵抗を必要とする入出力オープンドレイン・ピンです。このピンをローに引き下げると、逆電流動作がディスエーブルされます。通常、このピンはLT8708のRVSOFFピンに接続します。詳細については、一方向および双方向の導通のセクションを参照してください。

**VOUTLONOM (ピン26) :** V<sub>OUT</sub>の低電圧モニタ・ピン。V<sub>OUT</sub>の低電圧レベルを設定するには、V<sub>OUT</sub>、VOUTLONOM、GNDの間に±1%の抵抗分圧器を接続します。V<sub>OUT</sub>がこのレベルを下回ると、逆方向の導通がディスエーブルされ、V<sub>OUT</sub>から電流が流れ出ないようにします。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**VINHIMON (ピン27) :** V<sub>IN</sub>の高電圧モニタ・ピン。V<sub>IN</sub>の過電圧レベルを設定するには、V<sub>IN</sub>、VINHIMON、GNDの間に±1%の抵抗分圧器を接続します。V<sub>IN</sub>がこのレベルを上回ると、逆方向の導通がディスエーブルされ、電流がV<sub>IN</sub>に流れ込むのを防止します。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**ICP (ピン28) :** 正のV<sub>OUT</sub>電流コマンド・ピン。このピンの電圧により、LT8708-1を安定化する正のV<sub>OUT</sub>電流が決まります。このピンは、LT8708のICPピンに接続します。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**EXTV<sub>CC</sub> (ピン29) :** 外部V<sub>CC</sub>入力。EXTV<sub>CC</sub>が6.4V(代表値)を超えると、INTV<sub>CC</sub>にこのピンから電力が供給されます。EXTV<sub>CC</sub>が6.4Vを下回ると、INTV<sub>CC</sub>にVINCHIPから電力が供給されます。マスタLT8708と同じ値のバイパス・コンデンサを使用することを推奨します。

**CSPOUT (ピン30) :** V<sub>OUT</sub>電流モニタ・アンプの(+)入力。このピンとCSNOUTピンは、検出抵抗R<sub>SENSE2</sub>の両端の電圧を測定し、V<sub>OUT</sub>の電流信号を提供します。CSPOUTピンとCSNOUTピンの間にはマスタLT8708と同じ値のR<sub>SENSE2</sub>を使用することを推奨します。このピンの正しい使用方法については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**CSNOUT (ピン31) :** V<sub>OUT</sub>電流モニタ・アンプの(-)入力。このピンの正しい使用方法については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**CSNIN (ピン32) :** V<sub>IN</sub>電流モニタ・アンプの(-)入力。このピンとCSPINピンは、検出抵抗R<sub>SENSE1</sub>の両端の電圧を測定し、V<sub>IN</sub>の電流信号を提供します。このピンを使用しない場合は、V<sub>IN</sub>に接続します。このピンの正しい使用方法については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**CSPIN (ピン33) :** V<sub>IN</sub>電流モニタ・アンプの(+)入力。このピンを使用しない場合は、V<sub>IN</sub>に接続します。このピンの正しい使用方法については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**VINCHIP (ピン34) :** LT8708-1の主入力電源ピン。このピンは、短距離でグラウンドにバイパスする必要があります。マスタLT8708と同じ値のバイパス・コンデンサを使用することを推奨します。

**INTV<sub>CC</sub> (ピン35) :** 6.35Vレギュレータ出力。GATEV<sub>CC</sub>ピンに接続する必要があります。EXTV<sub>CC</sub>が6.4Vを上回る場合、INTV<sub>CC</sub>にはEXTV<sub>CC</sub>から電力が供給されます。それ以外の場合、INTV<sub>CC</sub>にはVINCHIPから電力が供給されます。このピンは、4.7μF以上のセラミック・コンデンサでグラウンドにバイパスします。マスタLT8708と同じ値のバイパス・コンデンサを使用することを推奨します。

**SWEN (ピン36) :** スイッチング・レギュレータのイネーブル・ピン。スイッチングをイネーブルするには抵抗を介してハイに接続します。スイッチングをディスエーブルするにはグラウンドに接続します。このピンは、シャットダウン中、サーマル・ロックアウト中、または内部UVLO(低電圧ロックアウト)の検出時は引き下げられます。このピンはフロート状態にしないでください。このピンは、同期起動のためにLT8708のSWENピンに接続します。詳細については、起動:SWENピンのセクションを参照してください。

## ピン機能

**MODE (ピン 37) :** 導通モード選択ピン。このピンに印加される電圧によって、コントローラの導通モードが設定されます。連続導通モード (CCM) をイネーブルするには、0.4V 未満の電圧を印加します。ハイブリッド導通モード (HCM) をイネーブルするには、0.8V~1.2V の電圧を印加します。不連続導通モード (DCM) をイネーブルするには、1.6V~2.0V の電圧を印加します。Burst Mode をイネーブルするには、2.4V を上回る電圧を印加します。このピンはマスタ LT8708 と同じ制御信号で駆動するか、マスタと同じ値の抵抗分圧器または電圧に接続することを推奨します。

**IMON\_OP (ピン 38) :** 平均  $V_{OUT}$  電流レギュレーション・ピン。このピンは、ICP および ICN の電圧に基づいて平均出力電流を安定化するために、1.207V にサーボ制御されます。必ず、このピンと GND の間に、補償回路網と並列に 17.4k $\Omega$  の抵抗を接続してください。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**IMON\_ON (ピン 39) :** 負の  $V_{OUT}$  電流モニタ・ピン。このピンの電流出力を求めるには、負の平均  $V_{OUT}$  電流に比例する電流に 20 $\mu$ A を加えます。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**LD033 (ピン 40) :** 3.3V レギュレータ出力。このピンは、0.1 $\mu$ F 以上のセラミック・コンデンサでグラウンドにバイパスします。マスタ LT8708 と同じ値のバイパス・コンデンサを使用することを推奨します。

**GND (ピン 15、露出パッドのピン 41) :** グラウンド。このピンは、近くのグラウンド・プレーンに直接接続します。

ブロック図

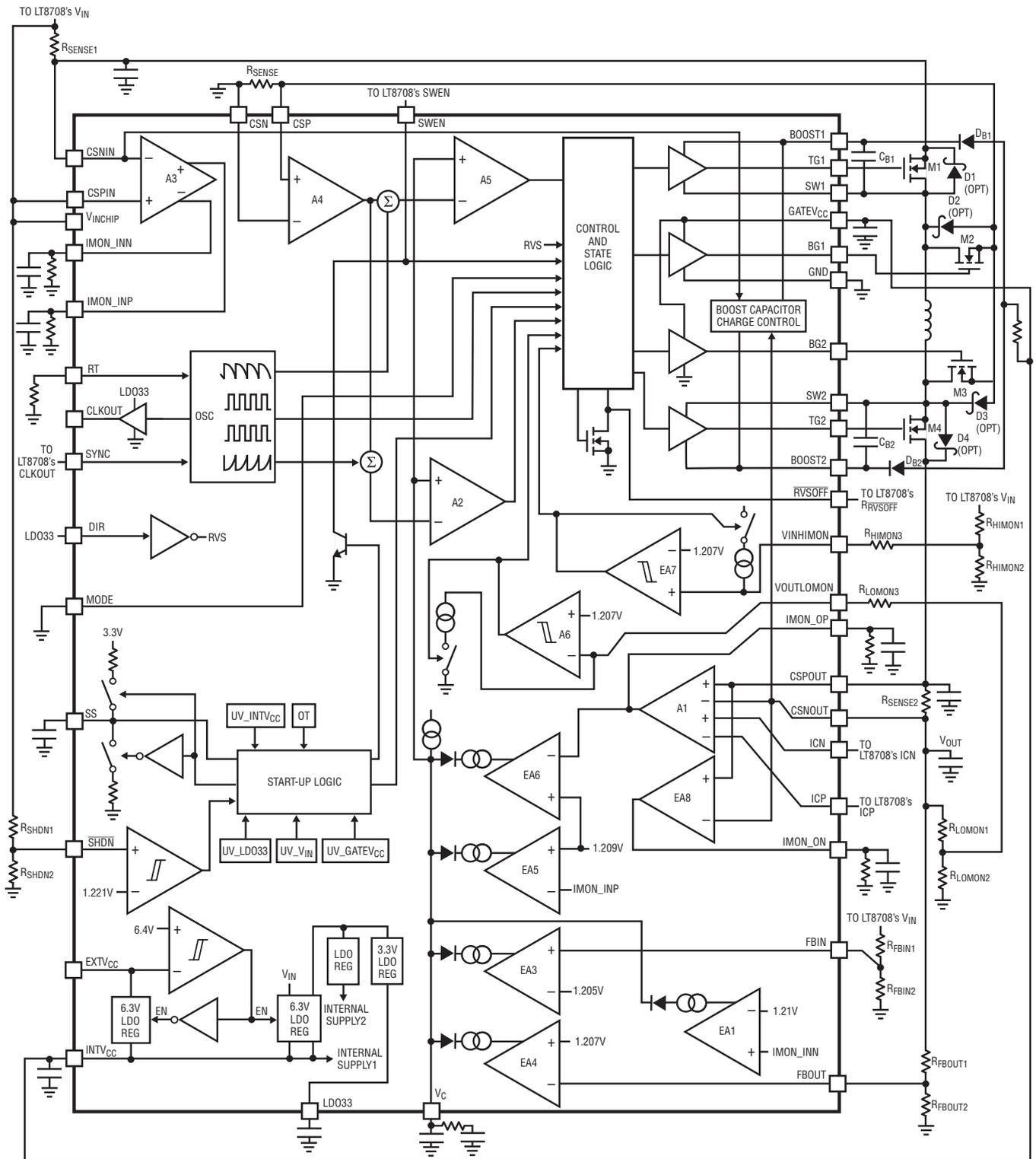


図1. ブロック図

## 動作

LT8708-1は、高性能の4スイッチ昇降圧スレーブ・コントローラで、マスタLT8708と並行動作させると電力性能が向上します。1つまたは複数のLT8708-1をLT8708と共に使用すると、必要に応じて、 $V_{IN}$ から $V_{OUT}$ へ、または $V_{OUT}$ から $V_{IN}$ への電力供給をアプリケーションで選択できます。

### LT8708-1とLT8708で共通の機能

LT8708-1とLT8708には共通の機能や特長が数多くあり、それらはLT8708のデータシートに既に記載されています。LT8708のデータシートの内容で、LT8708-1にも同じ内容が適用されるものを表1に示します。これらの機能の中には、LT8708-1固有の情報を本データシートに追加で記載したものがああります。それについても、表1を参照してください。

このデータシートの中心課題は、LT8708-1を使用して、LT8708ベースのアプリケーションのスイッチング位相の数を増やす方法です。したがって、LT8708とLT8708-1の両方で共通する機能について同じ説明を繰り返すとは限りません。このデータシートは、既にLT8708を熟知している方を読者として想定しています。

### LT8708アプリケーションへの位相の追加

多相LT8708アプリケーションでは、1つのLT8708がシステムのマスタとなります。必要に応じて、1つまたは複数のLT8708-1がスレーブとなり、追加の電流を供給します。多相システムのマスタとして、LT8708と各エラー・アンプが、 $V_{IN}$ 電圧、 $V_{OUT}$ 電圧、 $I_{IN}$ 電流、および $V_{OUT}$ 電流を安定化するために必要な電流を決定します。スレーブLT8708-1は、 $I_{OUT(MASTER)}$  (図2を参照)を検出し、それに比例する量の $I_{OUT(SLAVE)}$ を供給します。繰り返しになりますが、 $I_{OUT(SLAVE)}$ は $I_{OUT(MASTER)}$ に比例するため、マスタLT8708がシステムのレギュレーション電圧および電流制限の設定をコントロールすることになります。

以降、並列に接続されたLT8708およびLT8708-1の1つ1つを位相と呼び、マスタとスレーブの $V_{IN}$ 電流をそれぞれ $I_{IN(MASTER)}$ 、 $I_{IN(SLAVE)}$ と呼びます。多相動作において、LT8708はLT8708のデータシートに従って構成されているものとします。LT8708-1の構成は、本データシートの指示に従うものとします。図2は、1つのLT8708と複数のLT8708-1を使用した多相システムの簡略回路図です。多相システムにLT8708-1を追加するために必要な基本接続を示しています。

表1. LT8708-1に当てはまるLT8708のデータシート・セクション

LT8708のデータシート・セクション	本データシートでの追加情報の有無
<b>動作</b>	
Start-Up: $\overline{SHDN}$ Pin	
Power Switch Control	
Unidirectional and Bidirectional Conduction	Yes
$INTV_{CC}/EXTV_{CC}/GATEV_{CC}/LDO33$ Power	
CLKOUT and Temperature Sensing	
<b>アプリケーション情報</b>	
Internal Oscillator	
SYNC Pin and Clock Synchronization	
CLKOUT Pin and Clock Synchronization	
Inductor Current Sensing and Slope Compensation	
$R_{SENSE}$ Selection and Maximum Current	
$R_{SENSE}$ Filtering	
Inductor (L) Selection	
Power MOSFET Selection	
Schottky Diode (D1, D2, D3, D4) Selection	
Topside MOSFET Driver Supply ( $C_{B1}$ , $D_{B1}$ , $C_{B2}$ , $D_{B2}$ )	
$V_{INHIMON}$ , $V_{OUTLOMON}$ and $\overline{RVSOFF}$	Yes
$INTV_{CC}$ Regulators and $EXTV_{CC}$ Connection	
LDO33 Regulator	
Voltage Lockouts	Yes
Junction Temperature Measurement	
Thermal Shutdown	
Efficiency Considerations	
Circuit Board Layout Checklist	Yes

### 位相の追加: マスタLT8708

マスタは、多相システムで供給される電流を全体的に制御します。例えば、LT8708は $FBIN$ ピンおよび $FBOUT$ ピンを介して、 $V_{IN}$ と $V_{OUT}$ のレギュレーション電圧を制御します。スレーブは基本的にマスタの $I_{OUT(MASTER)}$ 電流を複製するため、スレーブの $FBIN$ ピンと $FBOUT$ ピン、およびこれらのピンに関連する回路は通常は使用されません。これらが $V_C$ に与える影響とディスエーブルの方法については、エラー・アンプセクションを参照してください。

動作

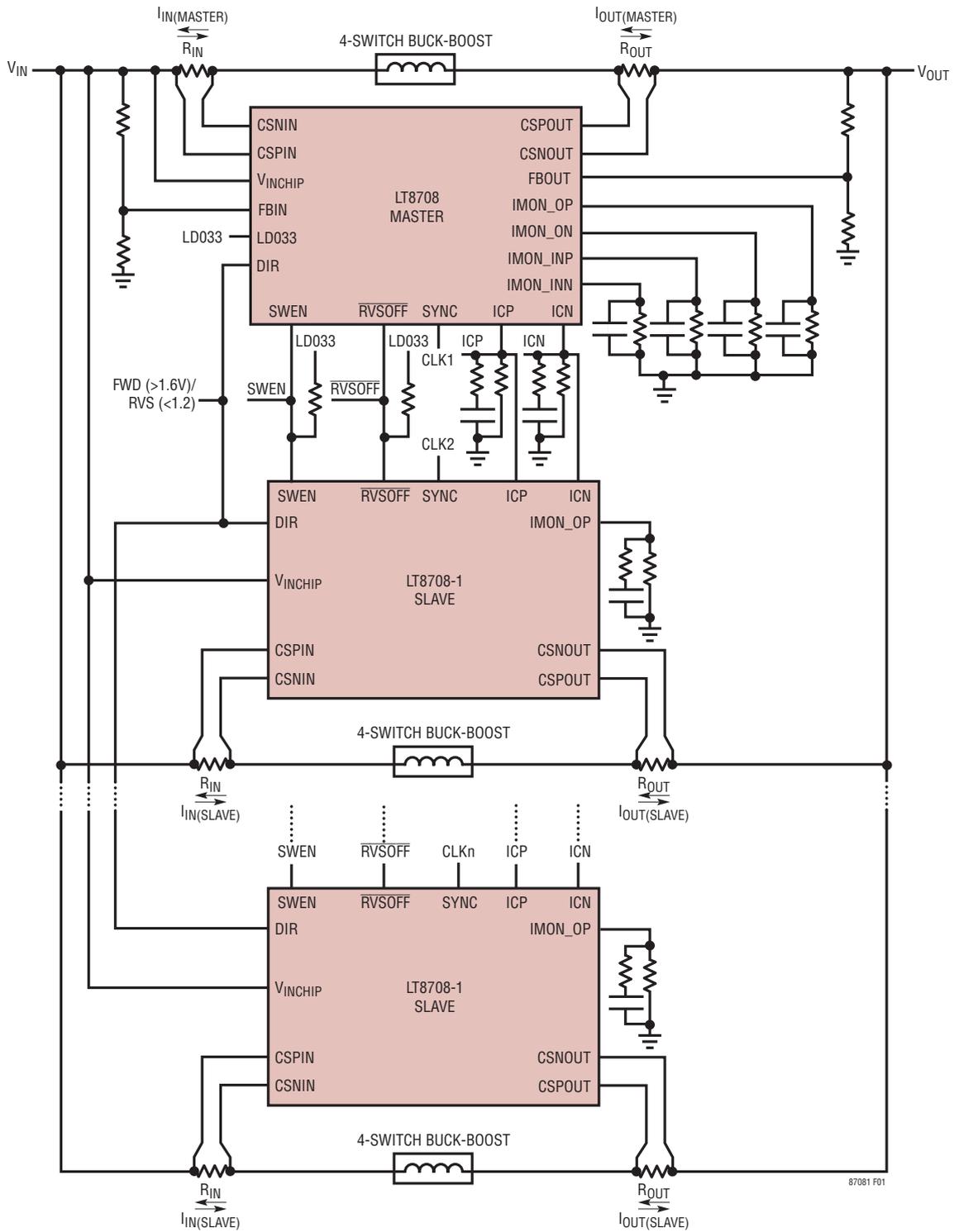


図2. 多相構成の簡略図

## 動作

もう1つの例として、マスタLT8708の電流レギュレーション・ピン(IMON\_INP、IMON\_INN、IMON\_OP、IMON\_ON)は、位相ごとの $V_{IN}$ 電流および $V_{OUT}$ 電流をモニタし、制限をかけます。LT8708-1は、マスタに比例して $I_{OUT(SLAVE)}$ を安定化することで、マスタがかけた制限に従います。スレーブのIMONピンは、通常、LT8708とは異なった使い方をします。詳細については、 $I_{OUT(SLAVE)}$ 構成のセクションと電流のモニタリングおよび制限のセクションを参照してください。

VINHIMONピンとVOUTLOMONピンは、LT8708とLT8708-1の両方に $V_{IN}$ の過電圧ロックアウトおよび $V_{OUT}$ の低電圧ロックアウトを設定するために使用できます。ただし、通常、分圧器回路網が必要になるのはマスタLT8708のみです。なぜなら、どの位相でVINHIMONまたはVOUTLOMONコンパレータがアクティブになったとしても、共有されたRVSOFFピンの接続を介して、すべての位相にそのことが伝達されるからです。VINHIMONピンとVOUTLOMONピンを追加の位相で使用すると、これらの機能に冗長性を与えることができます。詳細については、VINHIMON、VOUTLOMON、およびRVSOFFのセクションを参照してください。

### 位相の追加:スレーブLT8708-1

図2のLT8708-1に関するその他の情報は次のとおりです。

- ICPとICNの信号は、LT8708とすべてのLT8708-1間をつなげます。これらの信号は、LT8708から各LT8708-1へ正と負の $I_{OUT(MASTER)}$ 情報を提供し、それによって平均レギュレーション $I_{OUT(SLAVE)}$ が設定されます。
- 通常、LT8708-1は、 $I_{OUT(SLAVE)}$ を $I_{OUT(MASTER)}$ に比例する値に制御します。LT8708-1のIMON\_OPピンは、このレギュレーションの一部として1.209Vに調整されます。このIMON\_OPの機能はLT8708と異なります。LT8708-1のIMON\_OPは正の $I_{OUT(SLAVE)}$ モニタ機能の一部ではありません。LT8708-1では、必ず、このピンとグラウンドの間に補償回路網と並列に17.4kΩの抵抗を接続してください。
- IMON\_ONピンは、負の $I_{OUT(SLAVE)}$ をモニタするために使用されます。このピンの電流制限機能は、LT8708-1ではディスエーブルされ、代わりにマスタLT8708によって制御されます。

- LT8708とLT8708-1では、採用されているソフトスタートのメカニズムが異なり、SSピンの上昇の仕方も異なります。詳細については、起動:スイッチング・レギュレータのソフトスタートのセクションを参照してください。

図2について上に述べた情報の他にも、多相システムを構成する際に考慮しなければならないピンがいくつかあります。ピンの一覧と推奨する使用法を表2に示します。

表2. ピン接続の概要

LT8708とLT8708-1間でピンを短絡させる	ピン名	注記
YES	SWEN、RVSOFF	全位相間のオープンドレイン通信。LT8708/LT8708-1を同じステートに保ちます。
	ICP、ICN	LT8708の $I_{OUT(SLAVE)}$ 情報をLT8708-1に送信します。
MAYBE	MODE、DIR	通常、ピンはLT8708と同じステートに駆動されます。
NO	FBOU、IMON_INN	LT8708-1では、これらのエラー・アンプをディスエーブルするか、制限値をLT8708と同じかそれより高い値に設定してセカンダリの制限値として使用します。
	IMON_INP	RHCMを使用する場合、このピンとグラウンドの間に17.4kの抵抗と並列フィルタ・コンデンサを接続します。それ以外の場合、このエラー・アンプをディスエーブルするか、制限値をLT8708と同じかそれより高い値に設定してセカンダリの $I_{IN(SLAVE)}$ 制限値として使用します。
	VINHIMON、VOUTLOMON	コンパレータのステートは、各デバイスのRVSOFFピンを介してLT8708/LT8708-1間で共有されています。これらのピンはLT8708-1上ではディスエーブルすることも、冗長検出器として使用することもできます。
	IMON_OP	LT8708-1では、このピンとグラウンドの間に17.4kの抵抗と補償回路網を接続します。
	IMON_ON	制限機能は、LT8708-1ではディスエーブルされています。RHCMを使用する場合、軽負荷を正しく検出するため、このピンとグラウンドの間に17.4kの抵抗をフィルタ・コンデンサと並列に接続します。
	SS、RT	LT8708と同じ値のコンデンサ、抵抗を使用します。
	LDO33、INTV <sub>CC</sub> 、GATEV <sub>CC</sub>	通常、LT8708と同じコンデンサを接続します。

## 動作

これに加えて、すべてのLT8708-1で、 $V_{IN}$ はLT8708の $V_{IN}$ に接続し、 $V_{OUT}$ はLT8708の $V_{OUT}$ に接続しなければなりません。

LT8708-1をシステムに追加するステップ・バイ・ステップの設計手順については、アプリケーション情報の多相セットアップのクイックスタートのセクションにあるガイドラインを参照してください。

## 起動

図3は、LT8708-1の起動シーケンスを示しています。

### 起動:SWENピン

LT8708-1とLT8708のSWENピンは同じ機能を持っています。LT8708のデータシートの「起動:SWENピン」セクショ

ンを参照してください。SWENは、それぞれのスイッチング・レギュレータが動作できないとき、または動作準備中のとき(図3のCHIP OFF状態およびSWITCHER OFF 1状態を参照)、LT8708またはLT8708-1(あるいは両方)によって内部プルダウンされます。

多相システムでは、SWENピンはすべての位相間で接続されます。LT8708およびLT8708-1でSWENが内部プルダウンされるため、共通SWENノードの外部プルアップは、必ず電流制限抵抗を備えている必要があります。通常、共通SWENノードは、抵抗を介して、LT8708のLDO33ピンにプルアップされています。場合によっては、共通SWENノードを電流制限抵抗を介してデジタル駆動することもできます。

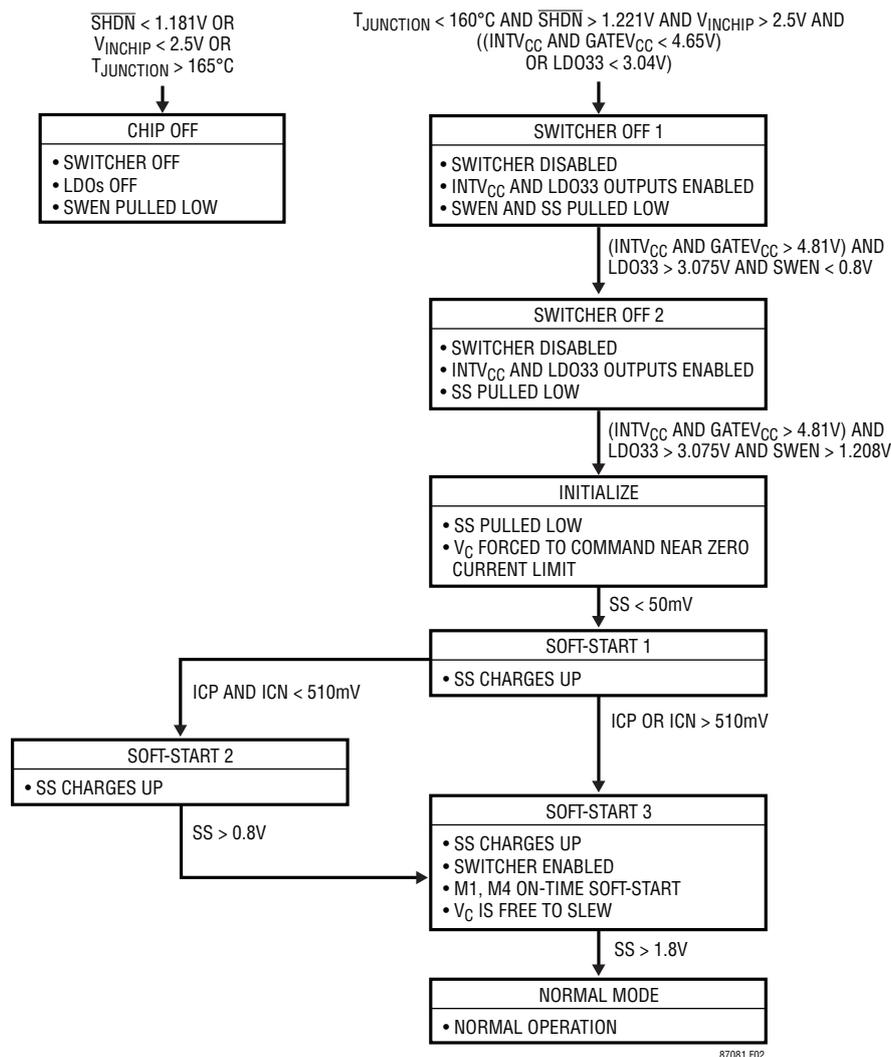


図3. 起動シーケンス(すべての値は代表値)

## 動作

SWENは、システムのすべての位相の起動を同期するために使用されます。1つまたは複数の位相が動作できない場合、SWENはチップによってローに引き下げられ、システム全体の起動を妨げます。すべての位相で動作する準備ができ、SWENが0.8V(代表値)未満に引き下げられると、SWENがプルアップ抵抗によって引き上げられ、すべての位相で起動プロセスがSWITCHER OFF 2ステートに進みます。

共通SWENノードが1.208V(代表値)を超えると、すべての位相が同時にINITIALIZEステートに進みます。

### 起動:スイッチング・レギュレータのソフトスタート

本セクションで説明するソフトスタート・シーケンスは、各位相が独自のSSピン、外付けコンデンサ、および関連回路を持つことから、個別に、かつ並列的に発生します。ここでは、LT8708-1のソフトスタート動作について解説します。LT8708のソフトスタートは少し異なります。

INITIALIZEステートでは、スイッチング・レギュレータのソフトスタートの準備として、SSピンがローにされています。また、LT8708-1が後でスイッチングを開始したときのトランジェント動作を向上するため、 $V_C$ に流れる電流はゼロに近くなるように強制され、IMON\_OPは約1.209V(代表値)に強制されます。

SSが50mV未満まで放電された後、SOFT-START 1ステートが開始されます。このステートでは、3.3V電源に接続されている内蔵の180k(代表値)抵抗がSSを引き上げます。SSピン電圧の上昇率は、この180k抵抗とこのピンに接続された外部コンデンサによって設定されます。

SSが0.2V(代表値)に達すると、SSピン電圧の上昇率を上げるために、LT8708-1の内蔵プルアップ抵抗は180kから90kに下げられます。この仕組みによって、スレーブ・チップをマスタ・チップより早く図3に示すノーマル・モードに入らせ、起動時にレギュレーション・ループが飽和するのを防ぎます。

スイッチングは、(1) ICP電圧またはICN電圧が510mV(代表値)より高くなる(SOFT-START 3)か、(2) SSが0.8V(代表値)に達する(SOFT-START 2)のいずれかが起こるまではディスエーブルされたままです。スイッチングがイネーブルされるとすぐに、 $V_C$ が内部エラー・アンプ(EA1~EA6)の制御下で自由に変動できるようになります。これにより、平均 $I_{OUT(SLAVE)}$ が、スレーブのレギュレーション・ループを飽和させることなく、平均 $I_{OUT(MASTER)}$ に素早く追従できます。ソ

フトスタート中、LT8708-1にはLT8708と同じスイッチ制御メカニズムが採用されます。詳細については、LT8708のデータシートの「スイッチ制御:ソフトスタート」セクションを参照してください。

SSが1.8V(代表値)まで上がると、LT8708はソフトスタートを終了し、ノーマル・モードに入ります。外部ソフトスタート・コンデンサの代表値の範囲は220nF~2 $\mu$ Fです。同期するすべてのLT8708/LT8708-1について、同じブランド、同じ値のSSコンデンサを使用することを推奨します。マスタのSSコンデンサの値よりも著しく高い値を持つSSコンデンサをスレーブに用いると、好ましくない起動動作が起こることがあります。

### 制御の概要

LT8708-1は、平均 $I_{OUT(SLAVE)}$ をマスタのICP電圧およびICN電圧(すなわち平均 $I_{OUT(MASTER)}$ )に基づいて制御するスレーブ電流モード・コントローラです。メインのレギュレーション・ループにはEA6(図1を参照)が用いられます。単純な $I_{OUT(SLAVE)}$ のレギュレーションの例では、CSPOUTピン~CSNOUTピンが、LT8708から送信されたICP信号とICN信号が加算された $I_{OUT(SLAVE)}$ の帰還信号を受信し、A1(図1を参照)を使用してIMON\_OPの電圧を生成します。このIMON\_OP電圧は、EA6を使用して、内部リファレンス電圧と比較されます。IMON\_OP電圧が低い場合、 $V_C$ が上がり、 $I_{OUT(SLAVE)}$ がより大きい正(またはより小さい負)になり、IMON\_OPピンから流れ出る電流を増やします。逆に、IMON\_OP電圧が高い場合、 $V_C$ が下がり、 $I_{OUT(SLAVE)}$ がより小さい正(またはより大きい負)になり、IMON\_OPピンから流れ出る電流を減らします。

$V_C$ の電圧は通常、約1.2Vの最小~最大範囲を持ちます。最大 $V_C$ 電圧によって正のインダクタ電流が最大になるため、 $V_{IN}$ から $V_{OUT}$ へのカフローも最大になります。また、最小 $V_C$ 電圧によって負のインダクタ電流が最大になるため、 $V_{OUT}$ から $V_{IN}$ への電力フローも最大になります。

$V_C$ は、表3に示す5つの内部エラー・アンプEA1~EA6の出力を合計したものです。一般的なアプリケーションでは、 $I_{OUT(SLAVE)}$ はメイン・レギュレーション・エラー・アンプEA6を使用して安定化され、エラー・アンプEA1とEA5は過剰入力電流をモニタし、EA3とEA4はディスエーブルされています。

## 動作

表3. エラー・アンプ (EA1~EA6)

アンプ名	ピン名	制限または制御に使用
EA1	IMON_INN	負の $I_{IN(SLAVE)}$
EA3	FBIN	$V_{IN}$ の電圧
EA4	FBOUT	$V_{OUT}$ の電圧
EA5	IMON_INP	正の $I_{IN(SLAVE)}$
EA6	IMON_OP	$I_{OUT(SLAVE)}$

一方向および双方向の導通のセクションの記載に従って導通モードを選択すると、必要に応じて、電流および電力フローを一方向に制限できることに注意してください。

## パワー・スイッチの制御

LT8708-1には、LT8708と同じパワー・スイッチ制御が採用されています (LT8708のデータシートの「パワー・スイッチの制御」セクションを参照してください)。4つのパワー・スイッチがインダクタ、 $V_{IN}$ 、 $V_{OUT}$ 、およびグラウンドにどのように接続されているかの簡略図を図4に示します。

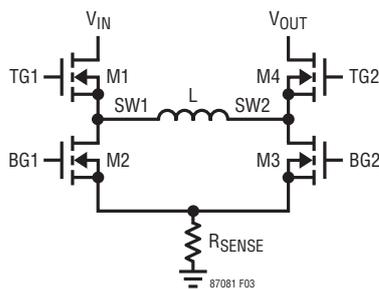


図4. 昇降圧スイッチの簡略図

## 一方向および双方向の導通

LT8708と同じように、LT8708-1には双方向電流導通モードが1つと、一方向電流導通モードが3つあります (対象モードはCCM、HCM、DCM、Burst Mode動作)。LT8708-1のMODEピン、DIRピン、 $\overline{RVSOFF}$ ピンは、LT8708と同じように動作し、希望する導通モードを選択するために使用できます。(詳細については、LT8708のデータシートの「一方向および双方向の導通」セクションを参照してください。)一般的には、LT8708システムのすべての位相を同じ導通モードに保つことを強く推奨します。そのためには、すべてのMODEピンとDIRピンを同じ状態にセットするか、すべてのMODEピンをひとまとめにして短絡させ、同様にDIRピンをひとまとめにして短絡させます。更に、すべての位相の $\overline{RVSOFF}$ ピンを互いに接続します。

フォワード・ハイブリッド導通モード(FHCM)におけるLT8708-1の動作は、LT8708とは少し異なることに注意してください。軽負荷検出は、ICNピンの電圧を測定するのではなく、LT8708-1ではIMON\_ONピンを測定して行います。IMON\_ONが245mV (代表値)を上回ると、軽負荷が検出されます。そのため、FHCM動作を行う場合、該当するLT8708-1のグラウンドとIMON\_ONピンの間に、17.4kの抵抗と並列フィルタ・コンデンサが必要になります。リバー・ハイブリッド導通モード(RHCM)の動作は、LT8708とLT8708-1でまったく同じです。(詳細については、LT8708のデータシートの「一方向および双方向の導通: HCM」セクションを参照してください。)

## エラー・アンプ

5つの内部エラー・アンプの組み合わせにより $V_C$ が駆動されます。エラー・アンプを優先順位の高い順に表4に示します。

表4. エラー・アンプの優先順位

代表的な条件		目的	
if	IMON_INN > 1.21V	$V_C$ が上がる	負の $I_{IN(SLAVE)}$ を減らすため
else if	FBIN < 1.205Vまたは	$V_C$ が下がる	正の $I_{IN(SLAVE)}$ を減らすため または 負の $I_{IN(SLAVE)}$ を増やすため
	FBOUT > 1.207Vまたは		正の $I_{OUT(SLAVE)}$ を減らすため または 負の $I_{IN(SLAVE)}$ を増やすため
	IMON_INP > 1.209Vまたは		正の $I_{IN(SLAVE)}$ を増やすため
	IMON_OP > 1.209V		正の $I_{OUT(SLAVE)}$ を減らすため
else		$V_C$ が上がる	デフォルト

表5に示した条件下では、特定のエラー・アンプがディスエーブルされることに注意してください。ディスエーブルされたエラー・アンプは $V_C$ に影響しないため、その関連行が表4から削除されたものとして扱うことができます。

表5. 自動的にディスエーブルされるエラー・アンプの条件

エラー・アンプ	ピン名	VOUTLOMONのアサート	VINHIMONのアサート	RDCMまたはRHCM
EA1	IMON_INN			
EA3	FBIN		2*	
EA4	FBOUT	1*		3*
EA5	IMON_INP			
EA6	IMON_OP			

## 動作

1\*~3\*は、その列の条件下で、該当する行に記載されたエラー・アンプがディスエーブルされることを示します。それぞれのアンプをディスエーブルする目的を以下に示します。

1\* VOUTLOMONがデアサートされた場合に過渡応答を改善します。

2\* VINHIMONがデアサートされた場合に過渡応答を改善します。

3\* 電力はV<sub>OUT</sub>からV<sub>IN</sub>方向にしか伝送できないため、高いFBOUV<sub>OUT</sub>電圧がFBIN/V<sub>IN</sub>電圧のレギュレーションに干渉するのを防ぎます。

LT8708-1の主要なレギュレーション・ループはEA6を使用します。EA6は、ICPおよびICNの入力電圧に基づいて、平均I<sub>OUT(SLAVE)</sub>を安定化します。そのため、IMON\_OPピンには常に適切な補償回路網を接続しておく必要があります。詳細については、ループ補償のセクションを参照してください。

その他のエラー・アンプはディスエーブルするか、それぞれの電圧または電流を制限するために使用できます。未使用のエラー・アンプに対応する入力ピンは、残りのアンプの動作を妨げないように駆動する必要があります。表6を参考にしてください。

表6. 未使用アンプのディスエーブル

アンプ名	ピン名	ディスエーブルになる電圧	ディスエーブルされたピンの接続例
EA1	IMON_INN	< 0.9V	GND
EA3	FBIN	> 1.5V	LD033
EA4	FBOUV	< 0.9V	GND
EA5	IMON_INP		

## 伝達関数: I<sub>OUT(SLAVE)</sub> と I<sub>OUT(MASTER)</sub>

LT8708-1は図5と図6に示す伝達関数<sup>1</sup>に従って、I<sub>OUT(MASTER)</sub>に比例してI<sub>OUT(SLAVE)</sub>を制御します。これらの電流は、位相ごとにCSPOUTピン-CSNOUTピンの電圧差によって測定(検出)され、その情報はICPピンとICNピンを介してマスタからスレーブへ送られます。伝達関数は、スレーブの電流検出電圧(V<sub>(CSPOUT-CSNOUT)S</sub>)とマスタの電流検出電圧(V<sub>(CSPOUT-CSNOUT)M</sub>)によって表されます。図5と図6の軸をI<sub>OUT(SLAVE)</sub>とI<sub>OUT(MASTER)</sub>に変換するには、単純に、V<sub>(CSPOUT-CSNOUT)S</sub>をスレーブのR<sub>SENSE2</sub>値で割り、V<sub>(CSPOUT-CSNOUT)M</sub>をマスタのR<sub>SENSE2</sub>値で割ります。

1. ICPピンおよびICNピンは、マスタ・チップとスレーブ・チップ間で接続する必要があります。これらのピンとグラウンドの間に、17.4kの抵抗と適切な並列コンデンサも必要です。

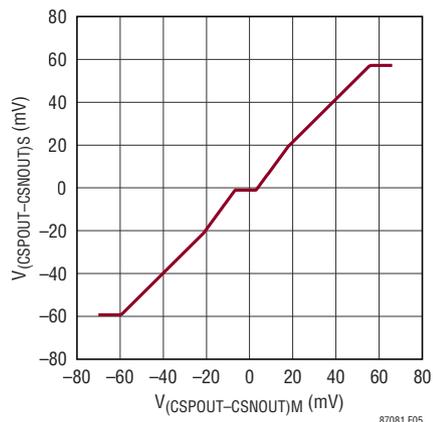


図5. CCMにおける代表的なV<sub>(CSPOUT-CSNOUT)S</sub>とV<sub>(CSPOUT-CSNOUT)M</sub><sup>1</sup>

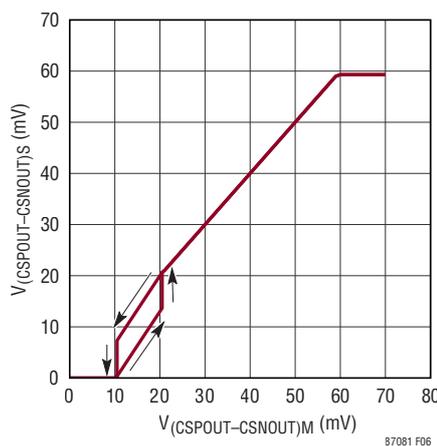


図6. FDCM、FHCM、Burst Mode動作における代表的なV<sub>(CSPOUT-CSNOUT)S</sub>とV<sub>(CSPOUT-CSNOUT)M</sub><sup>1</sup>

図5は、マスタの平均電流検出電圧V<sub>(CSPOUT-CSNOUT)M</sub>を±60mVより大きくすると、スレーブLT8708-1から電流が追加されなくなることを示しています。そのため、LT8708のIMON\_OPおよびIMON\_ONピンとグラウンドの間に適切な抵抗を接続して、V<sub>(CSPOUT-CSNOUT)M</sub>の平均を±50mVに制限する必要があります(LT8708のデータシートの「I<sub>IN</sub>およびI<sub>OUT</sub>電流のモニタリングおよび制限」セクションを参照)。

## 動作

### 伝達関数:CCM

図5は、MODEピンでCCM動作が選択されているときの、スレーブの安定化された電流検出電圧 ( $V_{(CSPOUT-CSNOUT)S}$ ) とマスタの電流検出電圧 ( $V_{(CSPOUT-CSNOUT)M}$ ) の伝達関数を示しています。

電流レベルが低いとき ( $|V_{(CSPOUT-CSNOUT)M}| < 20\text{mV}$ )、 $I_{OUT(SLAVE)}$  は、 $I_{OUT(MASTER)}$  よりわずかに低い値に調整されます。これにより、マスタの供給電流がゼロのとき、LT8708-1の供給電流も必ずゼロにすることができ、 $I_{OUT}$  の正から負への遷移もスムーズになります。

電流レベルが高いとき ( $|V_{(CSPOUT-CSNOUT)M}| > 20\text{mV}$ )、 $I_{OUT(SLAVE)}$  は  $I_{OUT(MASTER)}$  と同じ値に調整され、位相間の良好な電流共有と熱平衡が得られます。

注意：LT8708-1が、 $\overline{RVSOFF}$  がローに引き下げられた状態でCCMに構成されている場合、次のセクションで説明するFDCMの伝達関数を使用してください。

### 伝達関数:DCM、HCM、Burst Mode動作

図6は、MODEピンでFDCM、FHCM、またはBurst Mode動作が選択されているときの、スレーブの安定化された電流検出電圧 ( $V_{(CSPOUT-CSNOUT)S}$ ) とマスタの電流検出電圧 ( $V_{(CSPOUT-CSNOUT)M}$ ) の伝達関数を示しています。

CCM以外のモードにおける伝達関数を図6に示します。これは次の3つの領域に分かれています。

1.  $V_{(CSPOUT-CSNOUT)M} < 10\text{mV}$  : マスタの電流が比較的小さいこの領域では、スレーブの位相が供給する電流はゼロです。
2.  $10\text{mV} < V_{(CSPOUT-CSNOUT)M} < 20.5\text{mV}$  : マスタの電流が中程度のこの領域では、スレーブの位相は、マスタより少ない電流を供給します。この領域では、伝達関数はヒステリシス特性を持ちます。そのため、スレーブの電流は、マスタの  $V_{(CSPOUT-CSNOUT)M}$  がそれまで  $10\text{mV}$  未満だった場合は  $0\text{mV} \sim 13.5\text{mV}$ 、それまで  $20.5\text{mV}$  より高かった場合は  $6.7\text{mV} \sim 20.5\text{mV}$  となります。
3.  $V_{(CSPOUT-CSNOUT)M} > 20.5\text{mV}$  : マスタの電流が中～高程度のこの領域では、スレーブが供給する電流量はマスタと同じになります。

$V_{(CSPOUT-CSNOUT)M} < 0\text{mV}$ 、RDCMおよびRHCMの導通モードで動作したときの伝達関数は、図6の鏡像になります。この伝達関数を得るには、図6のX軸とY軸の値に-1を掛けるだけです。

## 電流のモニタリングおよび制限

### モニタリング: $I_{OUT(SLAVE)}$

LT8708-1は、 $V_{OUT}$  電流 ( $I_{OUT(SLAVE)}$ ) を負方向でモニタできます。外付け抵抗をIMON\_ONピンとグラウンドの間に接続すると、その電圧は負の  $I_{OUT(SLAVE)}$  に線形比例します。LT8708のIMON\_ONピンとは異なり、LT8708-1のIMON\_ONピンは負方向に  $I_{OUT(SLAVE)}$  を調整したり制限したりしません。IMON\_ON電流のモニタリングを構成する方法については、LT8708のデータシートの「 $I_{IN}$  および  $I_{OUT}$  電流のモニタリングと制限」セクションを参照してください。

### モニタリングおよび制限: $I_{IN(SLAVE)}$

LT8708-1は、CSPINピンとCSNINピンを使用して電流検出抵抗  $R_{SENSE1}$  の両端の電圧を測定することで、正負両方向の  $V_{IN}$  電流 ( $I_{IN(SLAVE)}$ ) をモニタできます。電圧を増幅し、それに比例する電流を強制的にIMON\_INPピンおよびIMON\_INNピンから流すことで、モニタリングと制限を可能にしています。この機能はLT8708と同じですので、詳細については、LT8708のデータシートの「電流のモニタリングおよび制限」セクションを参照してください。

上に述べたように、LT8708-1は位相ごとに独立した入力電流制限を可能にする回路を備えています。この位相ごとの電流制限は、マスタが課す制限に対してセカンダリの制限として意図されています。通常、マスタはマスタ自身の入力電流 ( $I_{IN(MASTER)}$ ) を制限し、それによってスレーブへの電流を制限するように構成されています。しかし、スレーブが独立した入力電流検出および制限回路を備えていることで、冗長性を持つ電流制限を構成可能です。スレーブに設定する入力電流制限値は、マスタに設定した値と同じか、それより高くすることを推奨します。 $I_{IN(SLAVE)}$  電流のモニタリングと制限の詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

## 動作

RHCM導通モードを使用する場合、LT8708と同様に、LT8708-1でも、グラウンドとIMON\_INPピンの間に17.4k抵抗と並列フィルタ・コンデンサを接続する必要があります。そのとき、LT8708-1の正の $I_{IN(SLAVE)}$ 電流制限をLT8708の正の $I_{IN(MASTER)}$ 制限値よりも高い値に設定する必要があります。ある場合は、LT8708-1の $R_{SENSE1}$ 抵抗の値をLT8708の $R_{SENSE1}$ 抵抗の値よりも小さくしてください。詳細については、 $I_{IN(SLAVE)}$ 電流制限の構成のセクションを参照してください。

## 多相クロッキング

通常、多相アプリケーションでは、複数のスイッチング・レギュレータが同じ周波数で動作しますが、電圧および電流リップルを軽減するために異なる位相で動作します。SYNCピンは、LT8708-1のスイッチング周波数をマスタのLT8708チップに対して相対的に特定の位相に同期するために使用できます。独立したクロック・チップ(LTC6902、LTC6909など)を使用してクロック信号を生成し、LT8708およびLT8708-1のSYNCピンを駆動できます。多相アプリケーションに必要な相が2つのみの場合(すなわち $0^\circ$ と $180^\circ$ )、LT8708-1のSYNCピンをLT8708のCLKOUTピンに接続すると、 $180^\circ$ の位相シフトが得られます。マスタLT8708は外部ソースに同期するか、外付けの $R_T$ 抵抗に基づいて自走させることができます。LT8708-1は、SYNCピンを介して、常にLT8708と同じ周波数に同期することを推奨します。

## アプリケーション情報

このアプリケーション情報のセクションは、LT8708-1とLT8708を使用した多相アプリケーションの設定における詳細情報を提供します。テーマは、クイック多相のセットアップ・ガイドライン、総位相数の選択、クロックの同期、各種外付け部品の選択などです。また、電圧ロックアウト、電流モニタリング、PCBレイアウトの検討事項についても、追加情報を提供します。本セクションの最後には、設計例を掲載します。

### 多相セットアップのクイックスタート

本セクションでは、LT8708-1とLT8708を使用した多相システムをセットアップする方法の概要をステップバイステップで説明していきます。

#### クイック・セットアップ: マスタの位相の設計

LT8708のデータシートに従って、LT8708のアプリケーション回路を設計します。最大CSPOUT–CSNOUT電流検出電圧が $\pm 50\text{mV}$ に制限されていることを確認してください。これは、IMON\_OPおよびIMON\_ONの抵抗値を $17.4\text{k}$ 以上に設定することで行います。これがマスタの位相です。

#### クイック・セットアップ: スレーブの位相の設計

**ステップ1 – 電力段:** 電力段については、LT8708のアプリケーション回路と同じ設計をLT8708-1の回路に適用します。これには、インダクタ、パワー MOSFETとそのゲート抵抗、 $R_{\text{SENSE}}$ 、 $R_{\text{SENSE}}$ のフィルタ、 $R_{\text{SENSE1}}$ 、 $R_{\text{SENSE2}}$ 、CSPIN–CSNINのフィルタ、CSPOUT–CSNOUTのフィルタ、上側 MOSFETドライバの電源 ( $C_{B1}$ 、 $D_{B1}$ 、 $C_{B2}$ 、 $D_{B2}$ )、ショットキー・ダイオード D1、D2、D3、D4 (使用されている場合) が含まれます。コンデンサの値を最適化する方法については、 $C_{\text{IN}}$ と $C_{\text{OUT}}$ の選択のセクションを参照してください。

**ステップ2 – ペリフェラル・ピン:** 次の部品は、LT8708とLT8708-1で完全に同一である必要があります。

- $R_T$  抵抗
- SSピンのコンデンサ
- INTV<sub>CC</sub>、GATEV<sub>CC</sub>、VINCHIP、およびLDO33ピンのバイパス・コンデンサ

$\overline{\text{SHDN}}$ 、(使用されている場合は) VINHIMONおよびVOUTLOMONに、同一の抵抗分圧器回路網を接続します。ピンを使用しない場合、VINHIMONはGNDに接続し、VOUTLOMONはLT8708-1のLDO33に接続します。LT8708-1のFBOUTピンをGNDに、FBINピンをLT8708-1のLDO33ノードに接続します。

**ステップ3 – インターコネクト:** LT8708-1のICPピン、ICNピン、EXTV<sub>CC</sub>ピン、SWENピン、およびRVSOFFピンを、LT8708の同じピンに接続します。LT8708とLT8708-1それぞれのMODEピンおよびDIRピンに、同じ制御信号、もしくは同じ値の抵抗分圧器または電圧を接続します。LT8708のCLKOUT信号、またはクロック・チップの位相シフトされたクロックを、LT8708-1のSYNCピンに接続します。

**ステップ4 – レギュレーションと制限:** IMON\_OPとGNDの間に、補償回路網と並列に $17.4\text{k}$ の抵抗を接続します。電流モニタリングのため、IMON\_ONとGNDの間に、フィルタ・コンデンサと並列に抵抗を接続します。 $I_{\text{IN(SLAVE)}}$ 電流制限の値がLT8708の設定と同じか、それより大きくなるように、IMON\_INPとGNDの間、IMON\_INNとGNDの間にそれぞれフィルタ・コンデンサと並列に抵抗を接続します。

**ステップ5:** LT8708-1の位相を追加する場合、ステップ1~4を繰り返します。

#### クイック・セットアップ: 評価

多相システムの安定性をテストして最適化します。詳細については、ループ補償のセクションを参照してください。

#### 総位相数の選択

一般的に、必要な位相数は、多相システム全体の電源要件と各位相の熱要件を満たすように選択されます。通常、ある1つのアプリケーションにおいて、システムの位相数が増えるほど、各位相が供給する必要のある電力は少なくなり、各位相の熱性能は良くなります。多くの場合、位相の総数は、入力または出力RMS電流リップルの合計を最適化するように選択されます。詳細については、 $C_{\text{IN}}$ と $C_{\text{OUT}}$ の選択のセクションを参照してください。

## アプリケーション情報

### 動作周波数の選択

LT8708-1は、100kHz～400kHzで動作する固定周波数アーキテクチャを採用しています。LT8708-1は、SYNCピンにクロック信号を接続することにより、LT8708と同じ周波数に同期しなければなりません。RTピンとグラウンドの間に適切な抵抗を配置する必要があります。一般的には、同期されるすべてのLT8708およびLT8708-1に同じ値の $R_T$ 抵抗を使用します。LT8708のスイッチング周波数を選択する方法については、LT8708のデータシートの「動作周波数の選択」セクションを参照してください。

### $C_{IN}$ と $C_{OUT}$ の選択

$V_{IN}$ と $V_{OUT}$ の容量は、レギュレータとの間を出入りする不連続な電流によって生じる電圧リップルを抑えるために必要です。通常はコンデンサを並列に組み合わせて使用することで大容量と低ESR（等価直列抵抗）を実現します。乾式タンタル、特殊ポリマー、アルミ電解およびセラミックの各コンデンサは、全て表面実装パッケージで入手できます。OS-CONやPOSCAPなど、低ESRで高リップル電流定格のコンデンサも入手できます。

セラミック・コンデンサをレギュレータの入力と出力の近くに配置して、高周波のスイッチング・スパイクを抑えてください。 $V_{INCHIP}$ の最大動作電圧で $1\mu F$ 以上のセラミック・コンデンサを、LT8708-1のピンにできるだけ近づけて $V_{INCHIP}$ とGNDの間に配置してください。セラミック・コンデンサは優れた低ESR特性を備えているので、入力リップル電圧を大幅に低減することが可能であり、ESRの高いバルク・コンデンサでの電力損失を抑えるのに役立ちます。X5RやX7Rの誘電体材料は広い電圧範囲と温度範囲にわたって容量を保持するので推奨されます。多くのセラミック・コンデンサ（特にケース・サイズが0805または0603のもの）は、目的の動作電圧での容量が大きく減少します。

### $C_{IN}$ と $C_{OUT}$ の選択： $V_{IN}$ の容量

スイッチM1のオンとオフが切り替わることが原因で、降圧領域では不連続な $V_{IN}$ 電流が最も大きくなります。 $C_{IN}$ コンデンサ回路網のESRが十分に低く、最大RMS電流を扱うのに十分な大きさであることを確認してください。図7は、1相～6相の降圧動作時の $V_{OUT}$ と $V_{IN}$ の比に対する総入力コンデンサRMSリップル電流を示しています。総入力RMSリップル電流 $I_{IN,RMS}$ は、多相システムの総出力電流( $I_{OUT}$ )に対して正規化されています。長い計算を行う代わりに、このグラ

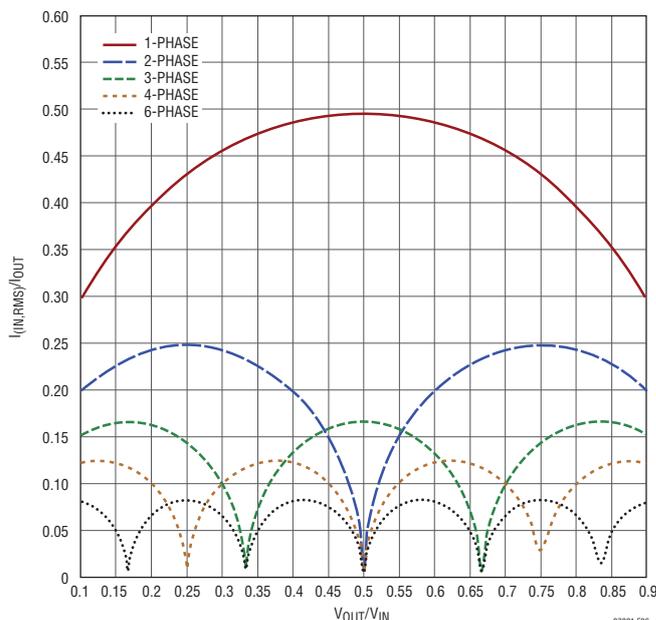


図7.1 相～6相の降圧動作時の正規化された総入力RMSリップル電流と $V_{OUT}/V_{IN}$

フを利用できます。グラフから、総入力RMSリップル電流が最小になるのは、位相数( $N$ )と出力電圧 $V_{OUT}$ の積が入力電圧 $V_{IN}$ のほぼ整数倍になるときだと分かります。つまり、以下の式が成立するときです。

$$V_{OUT}/V_{IN} = n/N$$

ここで、 $n = 1, 2, \dots, N-1$

したがって、位相の数は、与えられた入力電圧と出力電圧の入力容量を最小にするよう選択することができます。

図7からは、1相～6相の正規化された総入力RMS電流の最大値も分かります。このRMS電流を扱うのに適した $C_{IN}$ コンデンサ回路網を選択してください。

$C_{IN}$ は、 $I_{IN}$ の不連続性とリップルによって生じた $V_{IN}$ の電圧リップルを低減するためにも必要です。与えられた $V_{IN}$ リップルに対して適切なコンデンサを選択するには、ESRとバルク容量の影響について検討する必要があります。最大RMS電流を扱うのに十分な大きさを持つ、ESRの低い入力コンデンサを使用しなければなりません。 $V_{IN}$ の電圧リップルがアプリケーションに適した低さになるように、十分な容量のセラミック・コンデンサを追加してください。

## 標準的応用例

### C<sub>IN</sub>とC<sub>OUT</sub>の選択: V<sub>OUT</sub>の容量

スイッチM4のオンとオフが切り替わることが原因で、昇圧領域では不連続なV<sub>OUT</sub>電流が最も大きくなります。C<sub>OUT</sub>コンデンサ回路網のESRが十分に低く、最大RMS電流を扱うのに十分な大きさであることを確認してください。図8は、1相～6相の昇圧動作時の(V<sub>OUT</sub> - V<sub>IN</sub>)とV<sub>OUT</sub>の比に対する出力コンデンサRMSリップル電流を示しています。総出力RMSリップル電流I<sub>(OUT,RMS)</sub>は、多相システムの総出力電流(I<sub>OUT</sub>)に対して正規化されています。長い計算を行う代わりに、このグラフを利用できます。グラフから、総出力RMSリップル電流が最小になるのは、位相数(N)とデューティ・サイクル(V<sub>OUT</sub> - V<sub>IN</sub>) / V<sub>OUT</sub>の積がほぼ整数になるときだとわかります。つまり、以下の式が成立するときです。

$$(V_{OUT} - V_{IN}) / V_{OUT} = n/N$$

ここで、n = 1, 2, ..., N-1

したがって、位相の数は、与えられた入力電圧と出力電圧の出力容量を最小にするよう選択することができます。

図8からは、1相～6相の正規化された総出力RMS電流の最大値もわかります。このRMS電流を扱うのに適したC<sub>OUT</sub>コンデンサ回路網を選択してください。

C<sub>OUT</sub>は、I<sub>OUT</sub>の不連続性とリップルによって生じたV<sub>OUT</sub>リップルを低減するためにも必要です。与えられたV<sub>OUT</sub>リップルに対して適切なコンデンサを選択するには、ESRとバルク容量の影響について検討する必要があります。最大RMS電流を扱うのに十分な大きさを持つ、ESRの低い入力コンデンサを使用しなければなりません。V<sub>OUT</sub>の電圧リップルがアプリケーションに適したレベルになるように、十分な容量のセラミック・コンデンサを追加してください。

図7と図8から、降圧動作時のピーク総RMS入力電流と、昇圧動作時のピーク総RMS出力電流は、使用した位相の数に反比例して、線形的に減少していることがわかります。ESRに関連する電力損失はRMS電流の二乗に比例するため、3相を実装した場合、1相による設計と比べて電力損失が90%少なくなることに注目してください。多相システムのリップル電流が減少すると、バッテリー／入力保護ヒューズ抵抗(使用されている場合)およびPCBトレースとコネクタ抵抗の損失も減少します。電流パルスの周波数が実質的に上昇するため、必要な入力および出力容量はN分の1に減少します。

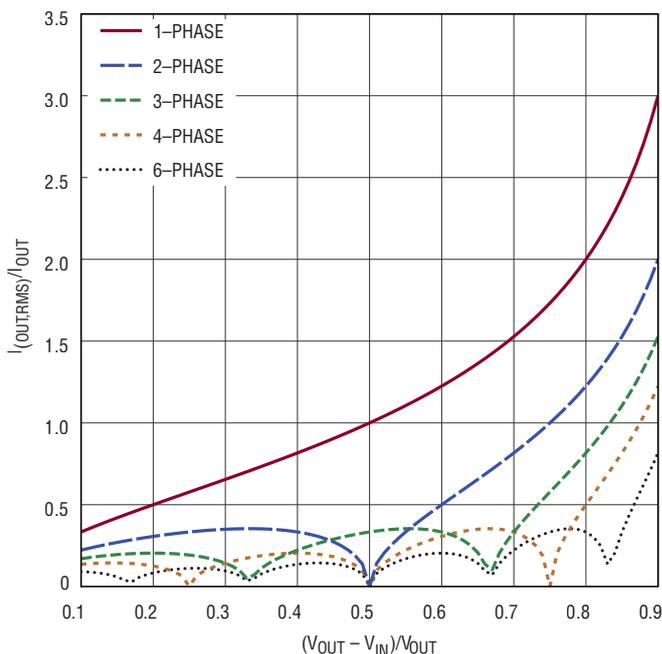


図8. 1相～6相の昇圧動作時の正規化された出力RMSリップル電流と(V<sub>OUT</sub>-V<sub>IN</sub>)/V<sub>IN</sub>

### VINHIMON、VOUTLOMON、およびRVSOFF

VINHIMONとVOUTLOMONの機能は、LT8708とLT8708-1でまったく同じです。詳細については、LT8708のデータシートの「VINHIMON、VOUTLOMON、およびRVSOFF」セクションを参照してください。VINHIMONとVOUTLOMONの機能がLT8708-1で冗長的なモニタ機能として使われる場合、一般的には、LT8708で使われているのと同じ値の抵抗分圧器を使用します。VINHIMONまたはVOUTLOMON(あるいは両方)の機能がLT8708-1で使用されない場合、VINHIMONをGNDに接続し、VOUTLOMONを対応するLT8708-1のLDO33ピンに接続します。

RVSOFFピンは、立上がり閾値が1.374V(代表値)、立下がり閾値が1.209V(代表値)の内部コンパレータを備えています。このピンがロー状態のとき、逆方向の電流および電力フローが抑制されます。同期されるすべてのLT8708とLT8708-1のRVSOFFピンをひとまとめにして接続することを推奨します。多相システムにおいて、1つまたは複数

アプリケーション情報

のチップの VINHIMON または VOUTLOMON コンパレータがトリガされると、RVSOFF ピンがローに引き下げられ、多相システム全体が逆方向の電流と電力を供給するのを防止します。多相システムは、すべての VINHIMON および VOUTLOMON コンパレータがデアサートされたとき、RVSOFF 動作から脱します。

I<sub>IN(SLAVE)</sub> 電流制限の構成

モニタリングおよび制限: I<sub>IN(SLAVE)</sub> のセクションで説明したように、LT8708-1 は、マスタとは独立して、入力電流をモニタおよび制限することができます。スレーブからの電流量を主として制御するのはマスタなので、本セクションで説明する電流制限はセカンダリまたは冗長性を目的とします。

図9に示すように、LT8708-1 は CSPIN ピンと CSNIN ピンを使用して I<sub>IN(SLAVE)</sub> を測定し、正負両方向の電流を独立してモニタし、制限することができます。入力電流モニタ回路の動作は、LT8708 とまったく同じです。これらの回路を構成する方法について詳しくは、LT8708 のデータシートの「I<sub>IN</sub> および I<sub>OUT</sub> 電流のモニタリングと制限」セクションを参照してください。

I<sub>IN(SLAVE)</sub> 電流制限を設定するときは、I<sub>IN(MASTER)</sub> の制限値と同じか、それより高い値に設定することを推奨します。スレーブがマスタよりも先に入力電流制限に達すると、スレーブはマスタにリクエストされた追加電流を供給できません。I<sub>IN(SLAVE)</sub> および I<sub>IN(MASTER)</sub> の制限値を等しく設定した場

合でも、デバイスの許容誤差により、出力電流のわずかな不一致が起こり、その結果、熱平衡にわずかな乱れが生じることがあります。ベンチ評価を実施して、選択した I<sub>IN(SLAVE)</sub> 制限値がアプリケーションの熱要件および安定性要件を満たすことを確認する必要があります。

I<sub>OUT(SLAVE)</sub> のレギュレーション

I<sub>OUT(SLAVE)</sub>: 回路の説明

ここでは、出力電流 I<sub>OUT(SLAVE)</sub> を安定化する LT8708-1 の制御回路について説明します。マスタ LT8708 は、ICP および ICN 制御信号をスレーブ LT8708-1 に送信して、I<sub>OUT(SLAVE)</sub> を設定します。関連する情報については、伝達関数: I<sub>OUT(SLAVE)</sub> と I<sub>OUT(MASTER)</sub> のセクションを参照してください。

図10は、I<sub>OUT(SLAVE)</sub> のレギュレーションに関する主な LT8708-1 の回路を示しています。追加の回路は図1に示します。I<sub>OUT(SLAVE)</sub> は、ICP および ICN によって目的とする電流が設定された、帰還ループによって安定化されます。帰還ループには次のセクションがあります。

- V<sub>C</sub> ピンは、インダクタ電流を制御することによって、間接的に I<sub>OUT(SLAVE)</sub> を制御します。V<sub>C</sub> 電圧が高くなると I<sub>OUT(SLAVE)</sub> 電流が大きくなり、またその逆も同様です。I<sub>OUT(SLAVE)</sub> のレギュレーション中、V<sub>C</sub> はエラー・アンプ EA6 によって駆動されます。

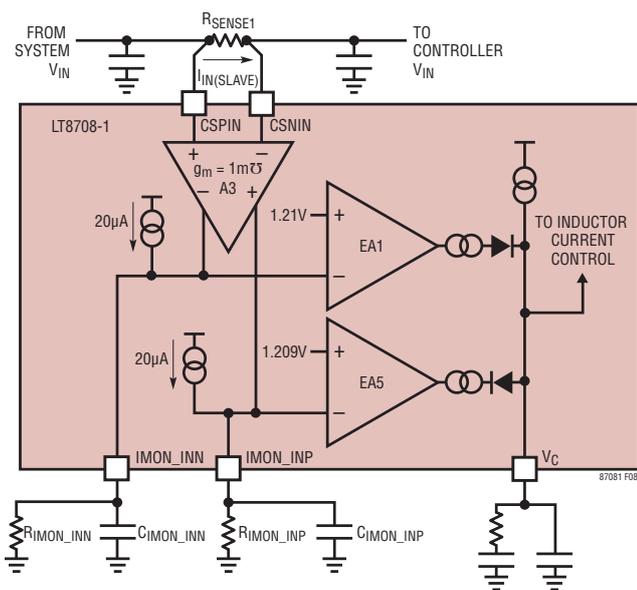


図9. I<sub>IN(SLAVE)</sub> 電流のモニタおよび制限

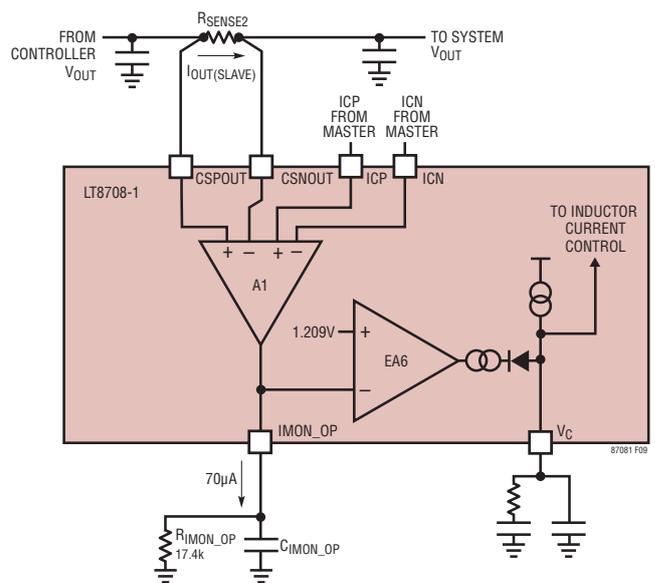


図10. I<sub>OUT(SLAVE)</sub> 電流のレギュレーションとモニタ

標準的応用例

- レギュレーション中、IMON\_OP電圧は、EA6のリファレンス電圧である1.209Vに非常に近くなります。IMON\_OP電圧がわずかに変化するだけでも、V<sub>C</sub>（あわせてI<sub>OUT(SLAVE)</sub>電流）は大きく調整されます。
- 抵抗R<sub>SENSE2</sub>は、I<sub>OUT(SLAVE)</sub>電流を、アンプA1によって測定可能な電圧に変換します。この電圧を、図10ではV<sub>(CSPOUT-CSNOUT)S</sub>と表記します。
- トランスコンダクタンス・アンプA1は、I<sub>OUT(SLAVE)</sub>がICPおよびICN信号で設定された電流と等しいことを確認します。I<sub>OUT(SLAVE)</sub>がICPおよびICNで要求された値よりも大きくなると、A1から流れ出る電流が多くなります。これによりIMON\_OPが上がり、その結果としてV<sub>C</sub>が下がり、I<sub>OUT(SLAVE)</sub>が減少します。逆に、I<sub>OUT(SLAVE)</sub>がICPおよびICNで要求された値よりも小さくなると、A1から流れ出る電流量が減少します。これによりIMON\_OPが下がり、その結果としてV<sub>C</sub>が上がり、I<sub>OUT(SLAVE)</sub>が増加します。

図11は、CCMモードにおける、マスタの出力電流I<sub>OUT(MASTER)</sub>と、その結果としてのICP制御電圧およびICN制御電圧、更にその結果として決まるI<sub>OUT(SLAVE)</sub>電流の代表的な関係を示しています。図11を説明するには、いくつか例を挙げるのが一番です。

以下の例では、マスタ・デバイス、スレーブ・デバイス共に出力電流検出抵抗はR<sub>SENSE2</sub> = 10mΩであるとします。最初に、マスタの出力電流I<sub>OUT(MASTER)</sub>が4Aだと仮定します。このとき、マスタLT8708で測定される電流検出電圧はV<sub>(CSPOUT-VCSNOUT)M</sub> = 4A・10mΩ = 40mVになります。図11のX軸の40mVのところを見てください。対応するICP電圧は約1V、ICN電圧は0Vです。このICP電圧およびICN

電圧が、LT8708からLT8708-1に送信されます。その結果、LT8708-1はI<sub>OUT(SLAVE)</sub>を以下のように安定化します。

$$I_{OUT(SLAVE)} = \frac{V_{(CSPOUT-CSNOUT)S}}{R_{SENSE2}} = \frac{40mV \text{ (from Figure 10)}}{10m\Omega} = 4A$$

もう1つの例として、マスタの出力電流I<sub>OUT(MASTER)</sub>が-2Aだと仮定します。このとき、マスタLT8708で測定される電流検出電圧はV<sub>(CSPOUT-VCSNOUT)M</sub> = -2A・10mΩ = -20mVになります。図11のX軸の-20mVのところを見てください。対応するICP電圧は0V、ICN電圧は約0.7Vです。このICP電圧およびICN電圧が、LT8708からLT8708-1に送信されます。その結果、LT8708-1はI<sub>OUT(SLAVE)</sub>を以下のように安定化します。

$$I_{OUT(SLAVE)} = \frac{V_{(CSPOUT-CSNOUT)S}}{R_{SENSE2}} = \frac{-20mV \text{ (from Figure 10)}}{10m\Omega} = -2A$$

図12は、FDCM、FHCM、およびBurst Mode動作における、I<sub>OUT(MASTER)</sub>、ICP、ICN、I<sub>OUT(SLAVE)</sub>の関係を示しています。FDCM、FHCM、またはBurst Mode動作時における制御電圧の関係性を理解するには、図11の代わりに図12を用います。図12は、V<sub>(CSPOUT-CSNOUT)M</sub>とV<sub>(CSPOUT-CSNOUT)S</sub>軸の値に-1を掛けることで、RDCMとRHCMの動作を理解するためにも用いることができます。

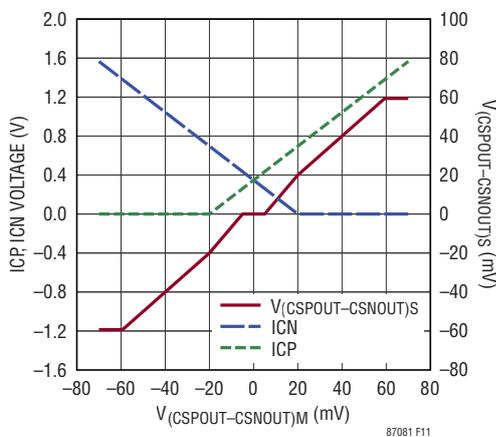


図11. I<sub>OUT(SLAVE)</sub>の制御電圧の関係性 (CCM)

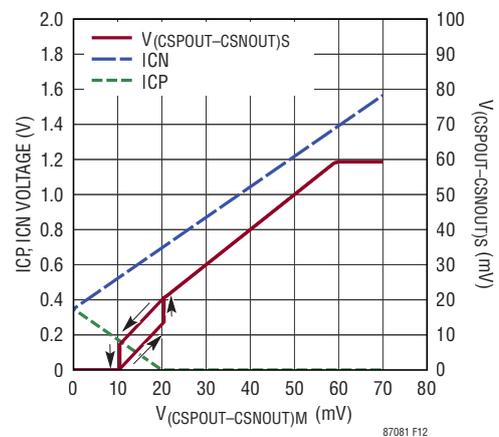


図12. I<sub>OUT(SLAVE)</sub>の制御電圧の関係性 (FDCM, FHCM, Burst Mode動作)

## アプリケーション情報

先に述べたように、ICPピンとグラウンド間、ICNピンとグラウンド間には17.4kの抵抗を接続する必要があります。ICP電圧およびICN電圧を正確に生成し、その結果として正確な $I_{OUT(SLAVE)}$ 電流を得るためには、抵抗が正しく接続されていることが必要です。

### $I_{OUT(SLAVE)}$ 構成

$I_{OUT(SLAVE)}$ のレギュレーションは、LT8708-1のメインのレギュレーション・ループであり、常にイネーブルする必要があります。そのため、必ず、IMON\_OPピンとグラウンドとの間に、補償回路網と並列に17.4kの抵抗を接続してください。IMON\_OPピンは $I_{OUT(SLAVE)}$ 電流をモニタリングするためには使用できないことに注意してください。

図5と図11は、マスタの平均電流検出電圧 $V_{(CSPOUT-CSNOUT)M}$ を $\pm 60\text{mV}$ より大きくすると、スレーブLT8708-1から電流が追加されなくなることを示しています。そのため、LT8708のIMON\_OPおよびIMON\_ONピンとグラウンドの間に適切な抵抗を接続して、 $V_{(CSPOUT-CSNOUT)M}$ の平均ターゲットを $\pm 50\text{mV}$ に制限する必要があります(LT8708のデータシートの「 $I_{IN}$ および $I_{OUT}$ 電流のモニタリングと制限」セクションを参照)。

更に、IMON\_OPから駆動できる電流が限られていることから、瞬間的な差動電圧 $V_{(CSPOUT-CSNOUT)S}$ は、 $-100\text{mV}$ と $100\text{mV}$ の間に保たれる必要があります。瞬間的な $V_{(CSPOUT-CSNOUT)S}$ がこの制限範囲を超えるが、平均 $V_{(CSPOUT-CSNOUT)S}$ は $-50\text{mV}$ と $50\text{mV}$ の間におさまっている場合、LT8708のデータシートの「 $I_{IN}$ および $I_{OUT}$ 電流のモニタリングと制限」セクションに記述されている電流検出フィルタの追加を検討してください。フィルタを追加することで、平均値を保ちながら、瞬間的な電圧を下げるすることができます。一般的には、同期されるすべてのLT8708およびLT8708-1に同じ値の電流検出フィルタを使用します。

IMON\_OPは、コンデンサ $C_{IMON\_OP}$ を使用して補償およびフィルタする必要があります。通常、数nF以上の容量が必要になります。

## ループ補償

LT8708およびLT8708-1で構成された多相システムを補償する際、初期的な補償部品選択のほとんどは、個々の電圧レギュレータまたは電流レギュレータ(あるいは両方)を互いに独立して解析することで可能です。以降の各ステップの安定性解析では、多相システムの総入力および出力バルク容量を使用します。

1. LT8708の安定性を、追加のLT8708-1位相がない、単相として解析します。これには、電圧レギュレーション(FBOUT、FBIN)および/または電流レギュレーション(IMON\_INP、IMON\_INN、IMON\_OP、IMON\_ON)など、マスタLT8708が使用するすべてのレギュレーション・ループが含まれます。マスタLT8708の $V_C$ ピン補償回路網と、関連するIMON\_XXピン・コンデンサの初期値を決定します。これらの値の追加調整はステップ4で行います。この解析の一環として、 $C_{IN}$ および $C_{OUT}$ の調整も必要になることがあります。詳細については、LT8708のデータシートの「ループ補償」セクションを参照してください。このステップでは、LTspice®のトランジェント・シミュレーションも役立つことがあります。
2. スタンドアロンのLT8708-1位相の $I_{OUT(SLAVE)}$ 電流レギュレーション・ループの安定性を解析します。LT8708-1の $V_C$ とIMON\_OPそれぞれの補償回路網を調整して、安定性を達成し、帯域幅を最大化します。スタンドアロンのLT8708-1のベンチ安定性評価は、ICPピンとICNピンを外部電圧源で駆動することで実行できます。

LT8708を定電流レギュレーションで解析するために用いたのと同様の手法を、スタンドアロンのLT8708-1電流レギュレータの補償にも用いることができます。 $I_{OUT(SLAVE)}$ のレギュレーション・ループの安定性を保つためには、数nF以上のIMON\_OPコンデンサが必要です。また、数百オームの抵抗をこのコンデンサと直列に追加することで、位相マージンが増えることがよくあります。

$I_{IN(SLAVE)}$ レギュレーション・ループ(IMON\_INPおよびIMON\_INN)のいずれかを、セカンダリまたは冗長性のための電流制限に使用する場合、それに対する安定性解析をスタンドアロンのLT8708-1上で実施してください。LT8708の入力電流レギュレーション・ループを補償するために用いたのと同じ手法を使用します。

## 標準的応用例

- LT8708と1つまたは複数のLT8708-1で多相システムを完成させます。正しく補償するためには、ICPピンとICNピンに数nFのコンデンサを、LT8708の近くで接続します。更に、数百オームの抵抗をこれらのコンデンサと直列に追加することで、多相システムの位相マージンが増えることがよくあります。例については、図2を参照してください。
- シミュレーションまたはベンチ(あるいは両方)で、ループ安定性解析を実行します。第一に、LT8708の $V_C$ 補償回路網を調整して安定性を向上させます。 $V_C$ ピンでトリム・ポットと選択可能なコンデンサ・バンクを使用することで、最適な値を決定できます。通常、LT8708はLT8708-1の位相よりも帯域幅が低くなるように調整する必要があります。これは、LT8708の $V_C$ 補償回路網の容量を増やすか、直列抵抗を減らすか、またはその両方によって実施できます。

LT8708が1つまたは複数のIMON<sub>xx</sub>ピンによって設定された定電流制限で動作している場合、最適なループ安定性を達成するために、それぞれのLT8708 IMON<sub>xx</sub> フィルタ・コンデンサを調整してください。

## 電圧ロックアウト

LT8708-1は、チップが適切な動作条件下にあることを確認するため、LT8708と同じ電圧検出器を備えています。詳細については、LT8708のデータシートの「電圧ロックアウト」セクションを参照してください。

スタンドアロンのLT8708では許されていても、多相システムにおいては、SWENピンに接続された抵抗分圧器を低電圧検出に使用してはなりません(多相システムでSWENピンを接続または駆動する正しい方法については起動：SWENピンのセクションを参照してください)。その代わりに、外付けのコンパレータ・チップを使用して、低電圧条件をモニタすることができ、その出力が電流制限抵抗を介して多相システムの共通のSWENノードを駆動します。

## 回路基板レイアウトのチェックリスト

LT8708の回路基板レイアウト・ガイドラインが、LT8708-1にも適用されます。詳細については、LT8708のデータシートの「回路基板レイアウトのチェックリスト」セクションを参照してください。

追加で以下のことに注意してください。

- ICPおよびICNのトレースは一緒に、LT8708からLT8708-1への最小PCBトレース間隔で配線します。これらのトレースが、スイッチ・ノードなどのノイズの大きい領域を通過しないようにしてください。
- $V_{IN}$ および $V_{OUT}$ 電源バス、電源GNDバスは、各LT8708/LT8708-1にスター型で接続してください。ローカル $V_{IN}$ と電源GND間、ローカル $V_{OUT}$ と電源GND間の電圧差を最小限に抑えます。

## 設計例

本セクションでは、LT8708のデータシートに記載されている設計例をたたき台として、2相レギュレータへ拡張します。LT8708のデータシートの設計要件を以下に引用します。ただし、総出力電流( $I_{OUT}$ )と総入力電流( $I_{IN}$ )の仕様は、2相分として2倍になっています。

$$V_{IN} = 8V \sim 25V$$

$$V_{IN\_FBIN} = 12V \text{ (} V_{IN} \text{レギュレーション電圧はLT8708のFBINループにより設定)}$$

$$V_{OUT\_FBOUT} = 12V \text{ (} V_{OUT} \text{レギュレーション電圧はLT8708のFBOUTループにより設定)}$$

$$I_{OUT(MAX, FWD)} = 10A$$

$$I_{IN(MAX, RVS)} = 6A$$

$$f = 150kHz$$

この設計例はCCMで動作します。

$$\text{最大周囲温度} = 60^\circ C$$

LT8708のデータシートの設計例に記載されているのと同じ $R_T$ 、 $R_{SENSE}$ 、 $R_{SENSE2}$ 抵抗、インダクタ、外付けMOSFETおよびコンデンサをLT8708-1に使用します。

**SYNCピン**：2相システムのため、スレーブ・チップは、マスタ・チップから $180^\circ$ ずれた位相で動作します。LT8708のCLKOUTピンをLT8708-1のSYNCピンに接続します。

## アプリケーション情報

**MODEピン:** CCM動作のため、MODEピンをGNDに接続します。

**SWENピンとRVSOFFピン:** SWENピンとRVSOFFピンは、LT8708とLT8708-1間で同じピン同士を接続します。これにより、2つのチップ間で起動と動作モードが同期されます。

**ICPピンとICNピン:** 2つの17.4k抵抗をICPピンとGND間、およびICNピンとGND間に接続します。これらはLT8708チップの隣に配置し、ICPのトレースをLT8708-1のICPへ、ICNのトレースをLT8708-1のICNへ、それぞれ接続します。

**RIMON\_OPの選択:** LT8708-1のIMON\_OPとGNDの間に17.4kを接続します。

**RIMON\_ONの選択:** LT8708-1のIMON\_ONは、逆方向のI<sub>OUT(SLAVE)</sub>をモニタするためだけに使用されます。ここではLT8708の設計例と同じ値である24.9kの抵抗を選択し、IMON\_ONの測定値がLT8708のIMON\_ONと同じスケールになるようにします。

**RSENSE1、RIMON\_INP、RIMON\_INNの選択:** IMON\_INPおよびIMON\_INNは、LT8708-1の電流制限のみに使用されます。それぞれ、順方向および逆方向の位相ごとの最大V<sub>IN</sub>電流と等しく設定されます。

順方向の最大スレーブV<sub>IN</sub>電流は次のとおりです。

$$I_{IN(MAX,FWD,SLAVE)} = \frac{I_{(IMON\_OP,MASTER)} \cdot V_{OUT}}{V_{IN,MIN}}$$

$$= \frac{6A \cdot 12V}{8V} = 9A$$

逆方向の最大スレーブV<sub>IN</sub>電流は次のとおりです。

$$I_{IN(MAX,RVS,SLAVE)} = I_{IN(IMON\_ON,MASTER)} = 3.6A$$

R<sub>IMON\_INP</sub>が約17.4kになるよう選択し、LT8708-1のV<sub>CSPIN-CSNIN</sub>制限が50mV、R<sub>SENSE1</sub>は以下のように計算されます。

$$R_{SENSE1} = \frac{50mV}{9A} \cong 6m\Omega$$

LT8708のデータシートの「I<sub>IN</sub>およびI<sub>OUT</sub>電流のモニタリングと制限」セクションに記載されている式を用いると、R<sub>IMON\_INP</sub>は次のように再計算されます。

$$R_{IMON\_INP} = \frac{1.209}{I_{IN(MAX,FWD,SLAVE)} \cdot 1m \frac{A}{V} \cdot R_{SENSE2} + 20\mu A} \Omega \cong 16.2k\Omega$$

また、R<sub>IMON\_INN</sub>は次のように計算されます。

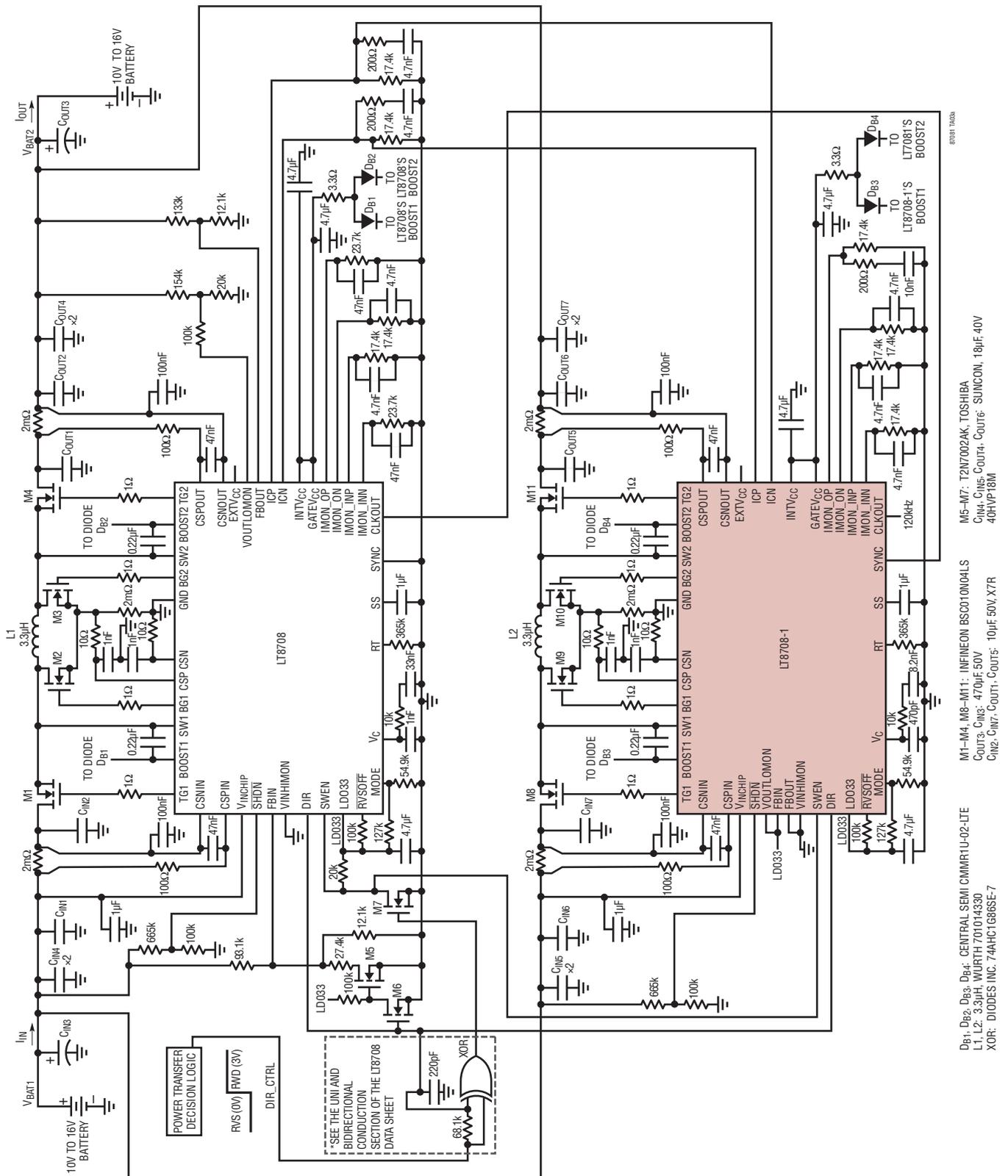
$$R_{IMON\_INN} = \frac{1.21}{I_{IN(MAX,RVS,SLAVE)} \cdot 1m \frac{A}{V} \cdot R_{SENSE2} + 20\mu A} \Omega \cong 29.4k\Omega$$

**FBOUTピン:** FBOUTピンをディスエーブルするため、FBOUTピンはGNDに接続します。

**FBINピン:** FBINピンをディスエーブルするため、FBINピンはLT8708-1のLDO33に接続します。

標準的応用例

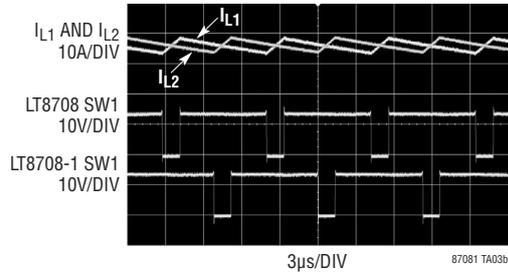
2相12V双方向デュアル・バッテリー・システム(FHCMおよびRHCMを使用)



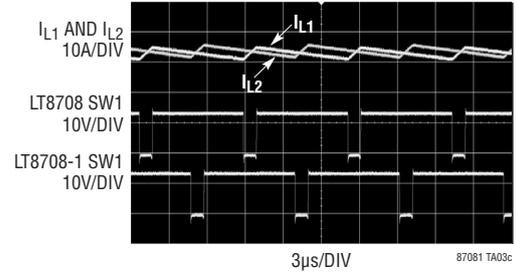
## 標準的応用例

### 2相12V双方向デュアル・バッテリー・システム(FHCMおよびRHCMを使用)

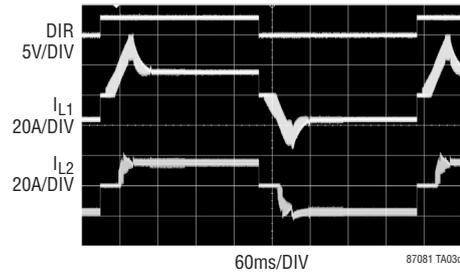
順方向の導通、 $V_{BAT1} = \text{約} 12V$ 、  
 $V_{BAT2} = \text{約} 14V$ 、 $I_{OUT} = \text{約} 30A$



逆方向の導通、 $V_{BAT1} = \text{約} 12V$ 、  
 $V_{BAT2} = \text{約} 14V$ 、 $I_{IN} = \text{約} 30A$

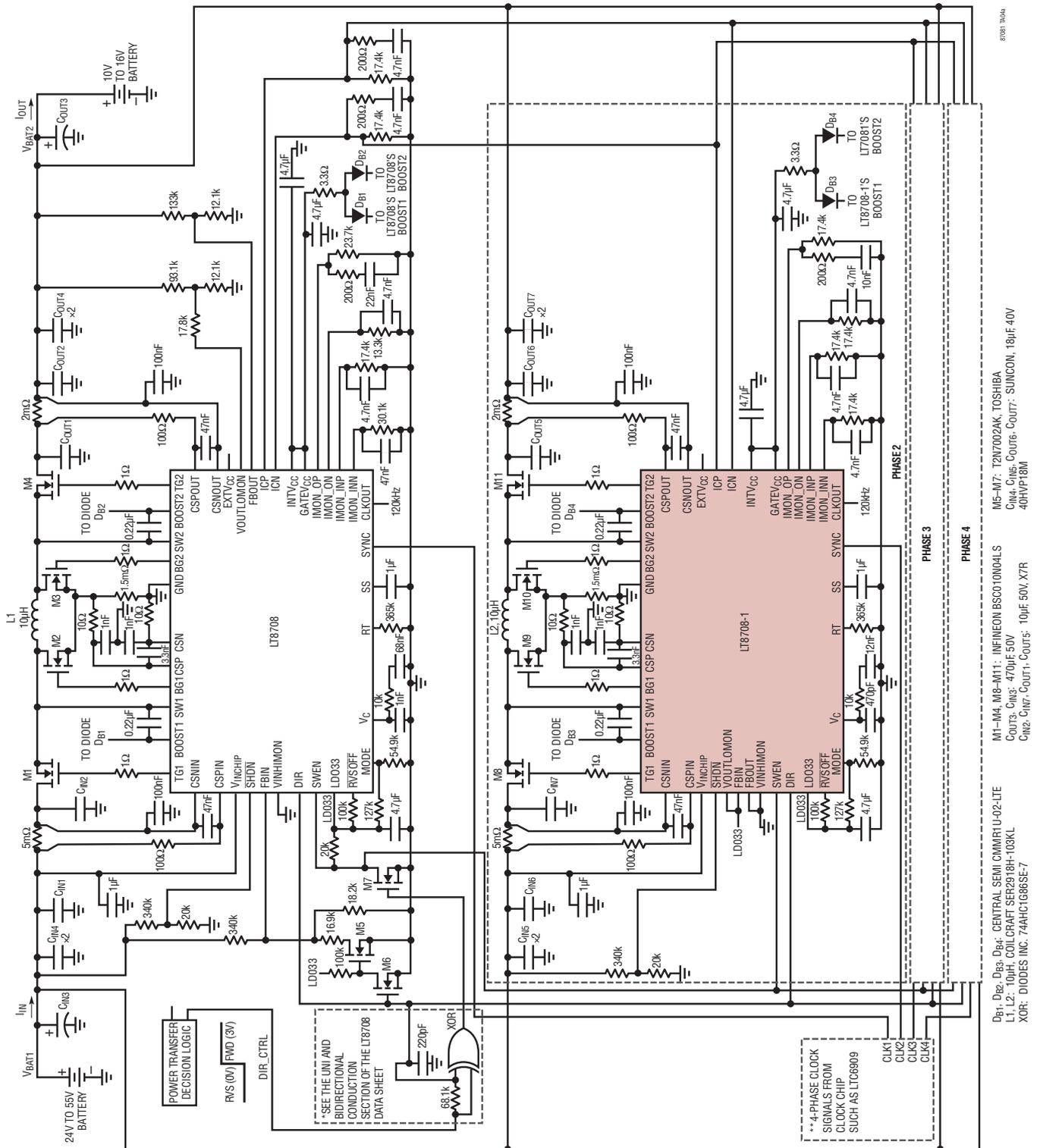


方向の変更、 $V_{BAT1} = \text{約} 12V$ 、  
 $V_{BAT2} = \text{約} 12V$



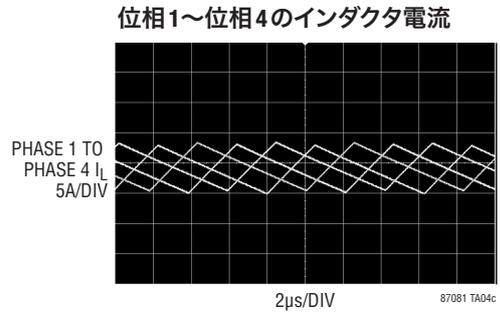
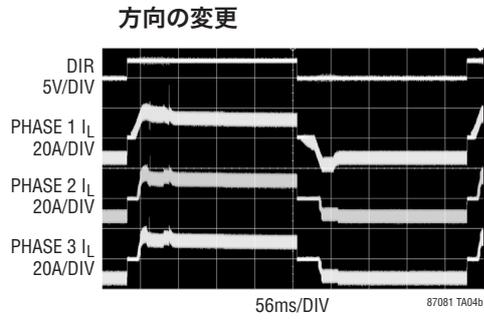
標準的応用例

4相 48V~12V 双方向デュアル・バッテリー・システム (FHCM および RHCM を使用)



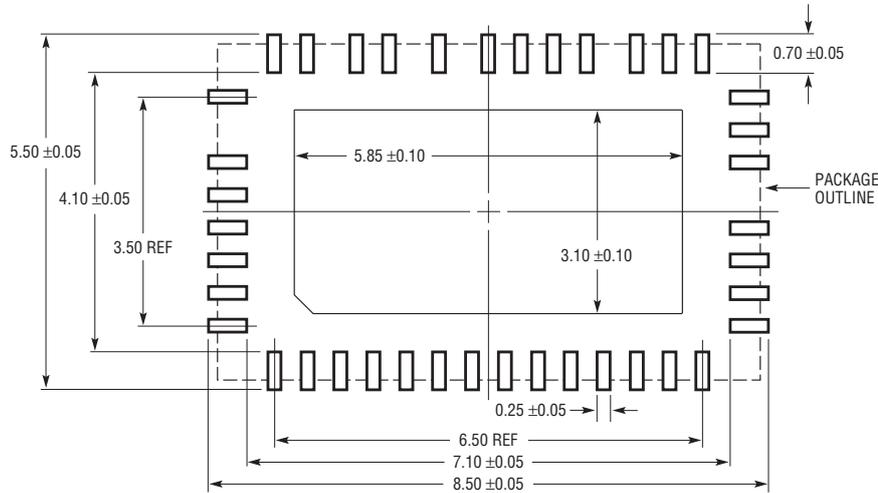
標準的応用例

4相 48V~12V 双方向デュアル・バッテリー・システム (FHCM および RHCM を使用)

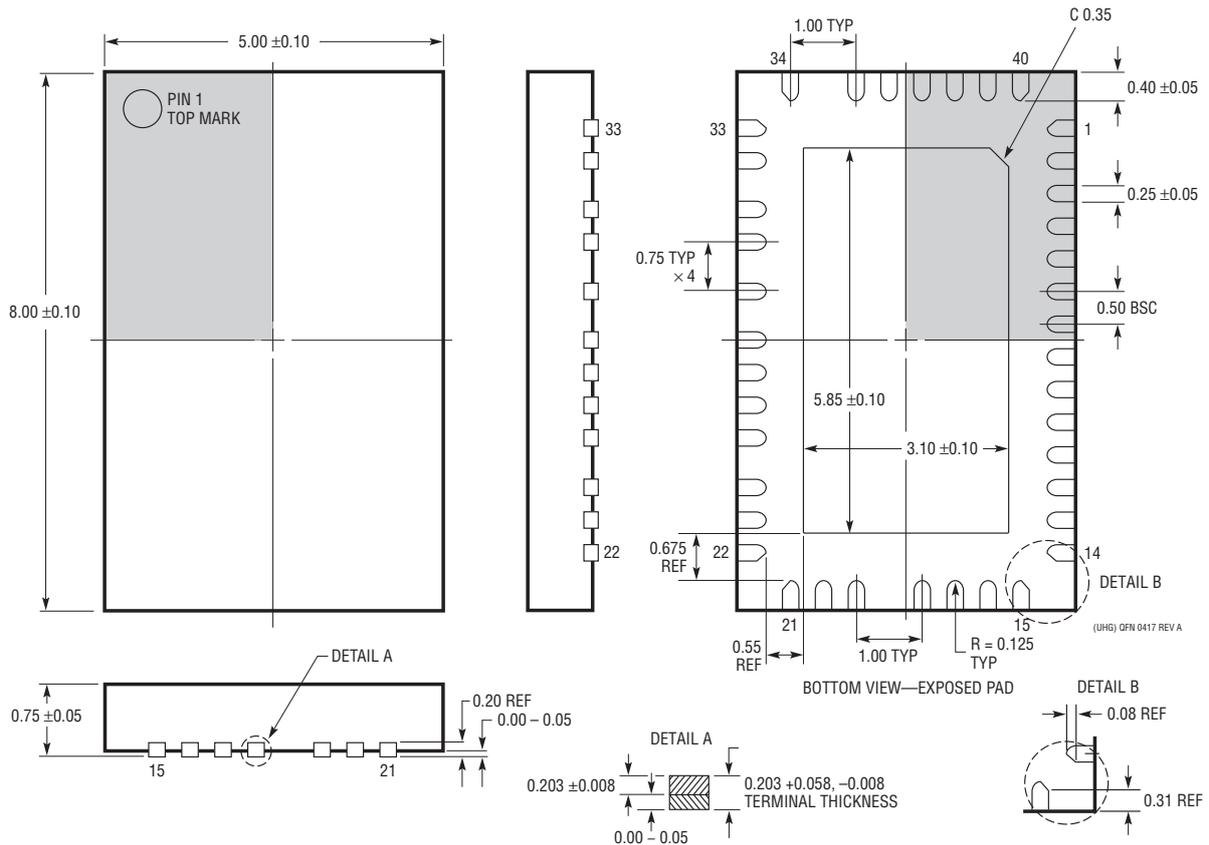


パッケージ

**UHG Package**  
**40-Lead Plastic QFN (5mm × 8mm)**  
 (Reference LTC DWG # 05-08-1528 Rev A)



RECOMMENDED SOLDER PAD PITCH AND DIMENSIONS  
 APPLY SOLDER MASK TO AREAS THAT ARE NOT SOLDERED

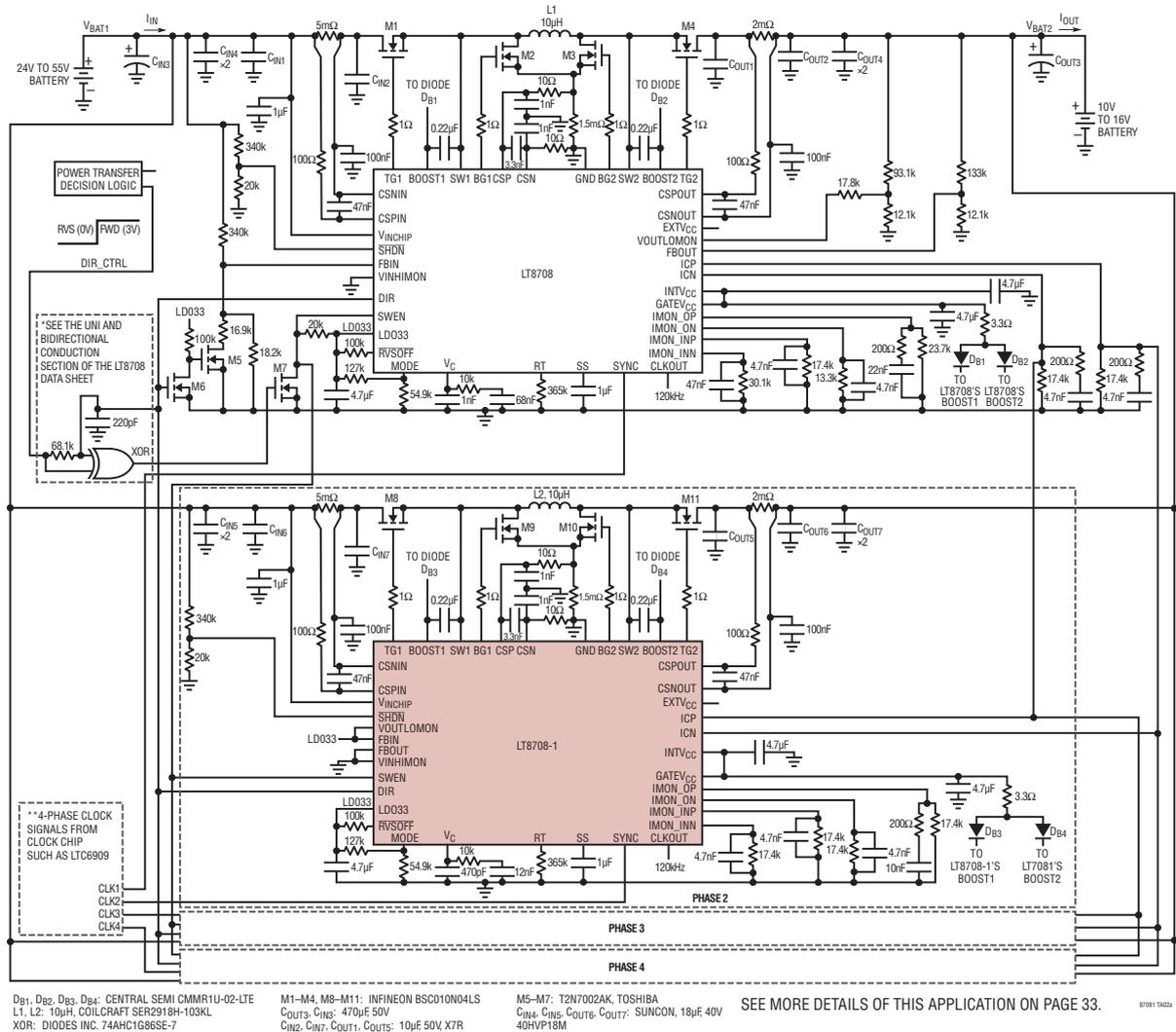


注記:

1. 全ての寸法はミリメートル。角度は度 (°)
2. 平坦度は露出パッドと端子に適用される。  
平坦度は 0.08mm を超えないこと
3. 反りは 0.10mm を超えないこと
4. パッケージ長さ/パッケージ幅はデバイスの特性を發揮できるサイズになっている
5. JEDEC M0-220 を参照

## 標準的応用例

### 4相 48V~12V 双方向デュアル・バッテリー・システム (FHCM および RHCM を使用)



D<sub>B1</sub>, D<sub>B2</sub>, D<sub>B3</sub>, D<sub>B4</sub>: CENTRAL SEMI CMMR1U-02-LTE L1, L2: 10μH, COILCRAFT SER2918H-103KL C<sub>OUT3</sub>, C<sub>IN3</sub>: 470μF 50V C<sub>IN2</sub>, C<sub>IN7</sub>, C<sub>OUT1</sub>, C<sub>OUT5</sub>: 10μF 50V, X7R M1-M4, M8-M11: INFINEON BSC010N04LS M5-M7: T2N7002AK, TOSHIBA C<sub>IN4</sub>, C<sub>IN5</sub>, C<sub>OUT6</sub>, C<sub>OUT7</sub>: SUNCON, 18μF 40V 40HV P18M SEE MORE DETAILS OF THIS APPLICATION ON PAGE 33. ©2018 ADAS

## 関連製品

製品番号	概要	注釈
LT8708	柔軟な双方向機能を備えた80Vの同期4スイッチ昇降圧DC/DCコントローラ	2.8V (EXTV <sub>CC</sub> > 6.4Vが必要) ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 80V、1.3V ≤ V <sub>OUT</sub> ≤ 80V、5mm × 8mm、QFN-40パッケージ
LT8705A	入力電圧と出力電圧が80Vの同期整流式4スイッチ昇降圧DC/DCコントローラ	2.8V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 80V、入出力電流モニタ、5mm × 7mm QFN-38およびTSSOP-38パッケージ
LTC®3779	V <sub>IN</sub> および V <sub>OUT</sub> が 150V の同期整流式 4 スイッチ 昇降圧コントローラ	4.5V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 150V、1.2V ≤ V <sub>OUT</sub> ≤ 150V、効率: 最大99%、閾値がロジックレベルまたは標準レベルの MOSFET を駆動、TSSOP-38 パッケージ
LTC3899	Burst Mode 時の自己消費電流が 29μA の 60V、トリプル出力、同期整流式降圧/降圧/昇圧コントローラ	4.5V (起動後は 2.2V でも動作) ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 60V、V <sub>OUT</sub> : 最大 60V、降圧 V <sub>OUT</sub> の範囲: 0.8V ~ 60V、昇圧 V <sub>OUT</sub> : 最大 60V
LTC3895/ LTC7801	デューティ・サイクル100%の150V、低自己消費電流、同期整流式降圧DC/DCコントローラ	4V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 140V、絶対最大定格: 150V、PLL固定周波数: 50kHz ~ 900kHz、0.8V ≤ V <sub>OUT</sub> ≤ 60V、調整可能なゲート駆動電圧: 5V ~ 10V、I <sub>Q</sub> = 40μA、4mm × 5mm QFN-24、TSSOP-24、TSSOP-38 (31) パッケージ
LTC3871	双方向マルチフェーズDC/DC同期整流式降圧または昇圧オンデマンド・コントローラ	V <sub>IN</sub> /V <sub>OUT</sub> : 最大 100V、大電力の 48V/12V 車載用バッテリー・アプリケーションに最適