臨界モード PFC 内蔵 LLC 電流共振電源用コントロール IC

SSC4S913

データシート

概要

SSC4S913 は、臨界モードの PFC 制御と、LLC タイプの電流共振制御を内蔵しており、小型で高効率、かつ低ノイズな電源を提供します。LLC 部には、ハイサイドとローサイドのドライブ回路を内蔵しています。PFC 部と LLC 部の起動動作やスタンバイ動作などは高度に連携しており、それぞれの回路に個別の設定は必要ありません。SSC4S913 は、小型 SSOP24 パッケージに、電流共振外れ検出機能など豊富な保護機能を集約し、安全性に優れた高品質な電源を容易に設計できます。また、DC 入力対応起動回路や軽負荷時効率改善などの機能を充実させています。

パッケージ

SSOP24

原寸大ではありません。

特長

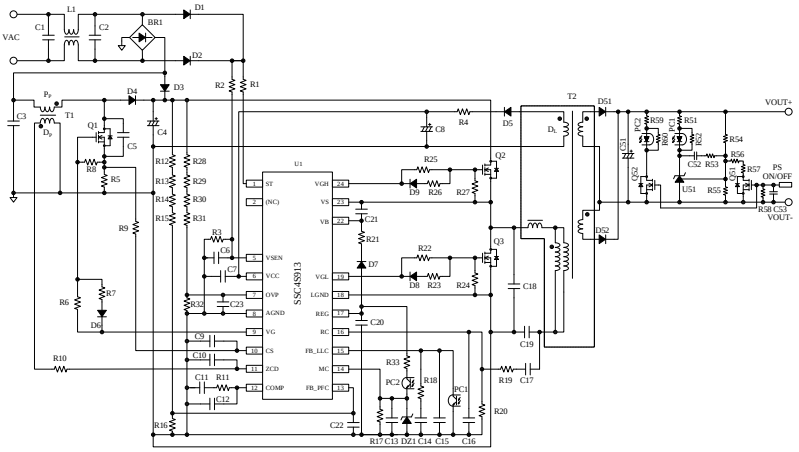
- Pb フリー（RoHS 対応）
- PFC 制御 IC と LLC 電流共振制御 IC を集約
- LLC 部ソフトスタート機能
- X コンデンサ放電機能
  （放電抵抗不要、DC 入力時は無効）
- 臨界モード PFC 制御
- PFC 部最高発振周波数制限機能
- LLC 部電流共振外れ検出機能
- スタンバイ機能（PFC 部と LLC 部連動）
- 保護機能
  - 入力電圧保護（低電圧、過電圧）
  - PFC 部 FB_PFC 端子低電圧保護（FB_PFC_UVP）
  - PFC 部出力過電圧保護（FB_PFC 端子、OVP 端子）
  - PFC 部過電流保護（PFC_OCP）
  - LLC 部ハイサイドドライバ低入力電圧保護
    （VB_UVLO）
  - LLC 部過電流保護（LLC_OCP）
  - LLC 部過負荷保護（LLC_OLP）
  - VCC 端子過電圧保護（VCC_OVP）
  - 過熱保護（TSD）

アプリケーション

以下のような大電力電源

- AV 機器（モニタ、LCD テレビなど）
- OA 機器（サーバー、多機能プリンタなど）
- 産業機器
- 通信機器

応用回路例



© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

目次

概要 ---------- 1
目次 ---------- 2
1. 絶対最大定格 ---------- 4
2. 電気的特性 ---------- 5
3. 機械的特性 ---------- 8
4. 応用回路例 ---------- 9
5. ブロックダイアグラム ---------- 9
6. 各端子機能 ---------- 10
7. 外形図 ---------- 11
8. 捺印仕様 ---------- 11
9. 動作説明 ---------- 12
9.1. 動作概要 ---------- 12
9.2. 端子説明 ---------- 12
9.2.1. VSEN 端子 ---------- 12
9.2.2. VCC 端子 ---------- 12
9.2.3. AGND、LGND 端子 ---------- 12
9.2.4. VG 端子 ---------- 12
9.2.5. CS 端子 ---------- 13
9.2.6. ZCD 端子 ---------- 13
9.2.7. COMP 端子 ---------- 13
9.2.8. FB_PFC 端子 ---------- 13
9.2.9. OVP 端子 ---------- 14
9.2.10. MC 端子 ---------- 14
9.2.11. FB_LLC 端子 ---------- 14
9.2.12. RC 端子 ---------- 14
9.2.13. REG 端子 ---------- 14
9.2.14. VGL 端子、VGH 端子 ---------- 14
9.2.15. VB 端子、VS 端子 ---------- 15
9.2.16. ST 端子 ---------- 15
9.3. 起動、停止動作 ---------- 16
9.4. バイアスアシスト機能 ---------- 17
9.5. X コンデンサ放電機能 ---------- 17
9.5.1. AC 入力モード ---------- 17
9.5.2. DC 入力モード ---------- 18
9.6. 入力電圧保護機能 ---------- 18
9.6.1. 入力過電圧保護機能（HVP） ---------- 19
9.6.2. 入力低電圧保護機能（UVP） ---------- 19
9.7. VCC 端子過電圧保護機能 ---------- 19
9.8. PFC 部出力定電圧制御と臨界モード制御 ---------- 20
9.8.1. PFC 部出力定電圧制御とオン時間制御 ---------- 20
9.8.2. 臨界モードとオフ時間制御 ---------- 20
9.9. PFC 部最高発振周波数制限機能 ---------- 22
9.10. PFC 部最大オン時間 ---------- 22
9.11. PFC 部過電流保護機能 ---------- 22
9.11.1. PFC 部過電流保護機能 1 ---------- 22

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

9.11.2. PFC 部過電流保護機能 2 ---------- 22
9.12. PFC 部出力過電圧保護機能 ---------- 22
9.13. FB_PFC 端子低入力電圧保護機能 ---------- 23
9.14. リスタート回路 ---------- 23
9.15. LLC 部定電圧制御 ---------- 23
9.16. スタンバイ機能 ---------- 24
9.16.1. 外部信号による切り換え ---------- 24
9.16.2. スタンバイ動作 ---------- 24
9.17. LLC 部デッドタイム自動調整機能 ---------- 24
9.18. LLC 部電流共振外れ検出機能 ---------- 25
9.19. LLC 部リセット検出機能 ---------- 26
9.20. LLC 部ハイサイドドライバ低入力電圧保護機能 ---------- 28
9.21. LLC 部過電流保護機能、LLC 部過負荷保護機能 ---------- 28
9.21.1. LLC 部過電流保護機能 1 ---------- 28
9.21.2. LLC 部過電流保護機能 2 ---------- 28
9.21.3. LLC 部過負荷保護機能 ---------- 28
9.22. 過熱保護機能 ---------- 28

10. 設計上の注意点 ---------- 29
10.1. PFC 部インダクタの設計 ---------- 29
10.1.1. ブースト巻線 P_P ---------- 29
10.1.2. 補助巻線 D_P ---------- 29
10.2. 外付け部品 ---------- 30
10.2.1. 共振トランス ---------- 30
10.2.2. PFC 部のインダクタ ---------- 30
10.2.3. パワーMOSFET ---------- 30
10.2.4. PFC ブーストダイオード（D4） ---------- 30
10.2.5. 出力コンデンサ（C4、C51） ---------- 30
10.2.6. 電流共振用コンデンサ（C19） ---------- 30
10.3. パターンレイアウト ---------- 30

注意書き ---------- 32

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

1. 絶対最大定格

電流値の極性は、IC を基準として、流入（シンク）を“+”、流出（ソース）を“–”と規定します。特記がない場合の条件は、T_A = 25 °C です。本 IC のサージ耐量（ヒューマンボディモデル）の保証値は 2000 V です。ただし、1、22、23、24 番端子の保証値は 1000 V です。

項目	記号	条件	端子	定格	単位
ST 端子電圧	V_{ST}		1 – 8	−0.3～600	V
VSEN 端子シンク電流	I_{VSEN}		5 – 8	1	mA
VCC 端子電圧	V_{CC}		6 – 8	−0.3～35	V
OVP 端子電圧	V_{OVP}		7 – 8	−0.3～5.5	V
VG 端子電圧	V_G		9 – 8	−0.3～V_{REG} + 0.3	V
VG 端子ソース電流	$I_{VG(SRC)}$		9 – 8	−500	mA
VG 端子シンク電流	$I_{VG(SNK)}$		9 – 8	1000	mA
CS 端子電圧（DC）	$V_{CS(DC)}$		10 – 8	−0.3～5.5	V
CS 端子電圧（パルス）	$V_{CS(PULSE)}$	パルス幅 ≤1 μs	10 – 8	−2.0～5.5	V
ZCD 端子電圧	V_{ZCD}		11 – 8	−10～10	V
ZCD 端子電流	I_{ZCD}		11 – 8	−10～10	mA
COMP 端子電圧	V_{COMP}		12 – 8	−0.3～5.5	V
COMP 端子電流	I_{COMP}		12 – 8	−100～100	μA
FB_PFC 端子電圧	V_{FB_PFC}		13 – 8	−0.3～5.5	V
MC 端子電圧	V_{MC}		14 – 8	−0.3～30	V
MC 端子ソース電流	$I_{MC(SRC)}$		14 – 8	−500	μA
FB_LLC 端子電圧	V_{FB_LLC}		15 – 8	−0.3～5.5	V
RC 端子電圧	V_{RC}		16 – 8	−5.5～5.5	V
REG 端子ソース電流	I_{REG}		17 – 8	−20	mA
LGND 端子電圧	V_{LGND}		18 – 8	−0.3～0.3	V
VGL 端子電圧	V_{GL}		19 – 18	−0.3～V_{REG} + 0.3	V
VS 端子電圧	V_S		23 – 18	−1.0～600	V
VGH 端子電圧	V_{GH}		24 – 18	V_S − 0.3～V_B + 0.3	V
VB–VS 端子間電圧	V_B–V_S		22 – 23	−0.3～30	V
許容損失	P_D	T_A = 85 °C	—	0.542	W
動作周囲温度	T_{OP}		—	−40～85	°C
保存温度	T_{STG}		—	−40～150	°C
ジャンクション温度	T_J		—	150	°C

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

2. 電気的特性

電流値の極性は、IC を基準として、流入（シンク）を“+”、流出（ソース）を“–”と規定します。
特記がない場合の条件は、T_A = 25 °C、V_{CC} = 19 V です。

項目	記号	条件	端子	Min.	Typ.	Max.	単位
起動動作							
動作開始電源電圧	$V_{CC(ON)}$		6 – 8	15.8	17.0	18.2	V
動作停止電源電圧(1)	$V_{CC(OFF)}$		6 – 8	7.8	8.7	9.8	V
起動電流供給しきい電圧(1)	$V_{CC(BIAS)}$		6 – 8	9.0	9.8	10.6	V
保護解除しきい電圧(1)	$V_{CC(P.OFF)}$		6 – 8	7.8	8.7	9.8	V
起動電流	I_{CC}		6 – 8	−25.0	−11.0	−5.0	mA
動作時回路電流	$I_{CC(ON)}$		6 – 8	—	—	6	mA
非動作時回路電流	$I_{CC(OFF)}$		6 – 8	—	1.0	3.0	mA
保護動作時回路電流	$I_{CC(P)}$		6 – 8	—	1.6	2.5	mA
LLC 部動作開始電圧	$V_{LLC(ON)}$		13 – 8	1.760	1.875	1.940	V
LLC 部動作停止電圧	$V_{LLC(OFF)}$		13 – 8	1.250	1.350	1.410	V
AC 入力電圧保護機能							
VSEN 端子低電圧保護しきい電圧	$V_{SEN(ON)}$		5 – 8	0.873	0.900	0.927	V
VSEN 端子低電圧保護解除電圧 1	$V_{SEN(OFF)1}$		5 – 8	0.716	0.750	0.784	V
VSEN 端子低電圧保護解除電圧 2	$V_{SEN(OFF)2}$		5 – 8	—	0.600	—	V
VSEN 端子遅延時間	$t_{DLY(VSEN)}$		5 – 8	46	52	58	ms
VSEN 端子過電圧保護しきい電圧	$V_{SEN(HVP)}$		5 – 8	4.00	4.20	4.40	V
VSEN 端子クランプ電圧	$V_{SEN(CLAMP)}$		5 – 8	10	—	—	V
VSEN 端子 AC 検出しきい電圧 1	$V_{SEN(AC)1}$		5 – 8	—	2.025	—	V
VSEN 端子 AC 検出しきい電圧 2	$V_{SEN(AC)2}$		5 – 8	—	1.800	—	V
PFC 部周波数制御							
FB_PFC 端子シンク電流	I_{FB_PFC}		13 – 8	—	0.40	1.00	µA
FB_PFC 端子フィードバック基準電圧	V_{REF_PFC}		13 – 8	2.475	2.500	2.525	V
V_{REF} ラインレギュレーション	$V_{REF_PFC(LR)}$		13 – 8	−8	1	12	mV
V_{REF} 電圧変動範囲(2)	V_{REF_RANGE}	T_J = −40 °C～150 °C	13 – 8	—	±0.5	—	mV/°C
COMP 端子ソース電流	$I_{COMP(SRC)}$		12 – 8	−22.0	−11.0	−1.0	µA
COMP 端子シンク電流	$I_{COMP(SNK)}$		12 – 8	1.0	11.0	22.0	µA
誤差増幅器コンダクタンス	gm		12 – 8 13 – 8	60	100	140	µA/V
ゼロデューティ COMP 端子電圧	$V_{COMP(ZD)}$		12 – 8	0.50	0.65	0.90	V
リスタート時間	t_{RS}		9 – 8	140	220	300	µs
リスタート時オン時間	$t_{ON(RS)}$		9 – 8	0.50	1.70	2.90	µs
PFC 部最大オン時間	t_{MAX_PFC}		9 – 8	16.5	18.3	20.1	µs
PFC 部最高発振周波数(2)	f_{MAX_PFC}		9 – 8	—	300	400	kHz

(1) $V_{CC(OFF)} = V_{CC(P.OFF)} < V_{CC(BIAS)}$
(2) 設計保証

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

項目	記号	条件	端子	Min.	Typ.	Max.	単位
PFC 部ドライブ出力							
VG 端子ソース電流	$I_{VG(SRC)}$	V_G = 8 V	9 – 8	—	−100	—	mA
VG 端子シンク電流	$I_{VG(SNK)}$	V_G = 0.75 V	9 – 8	—	200	—	mA
PFC 部ゼロ電流検出（ZCD）							
ZCD 端子しきい電圧（ハイ）	$V_{ZCD(H)}$		11 – 8	1.25	1.40	1.55	V
ZCD 端子しきい電圧（ロー）	$V_{ZCD(L)}$		11 – 8	0.60	0.70	0.80	V
ゼロ電流検出遅延時間	$t_{DLY(ZCD)}$		11 – 8	—	70	160	ns
ZCD 端子クランプ電圧	$V_{ZCD(CL)}$		11 – 8	6.5	7.7	9.0	V
PFC 部保護機能							
PFC 部過電流保護しきい電圧 1	$V_{CS(OCP1)}$		10 – 8	0.49	0.50	0.51	V
PFC 部過電流保護しきい電圧 2	$V_{CS(OCP2)}$		10 – 8	1.35	1.50	1.65	V
PFC 部過電流保護遅延時間	$t_{DLY(OCP)}$		10 – 8	90	300	340	ns
CS 端子ソース電流	I_{CS}		10 – 8	−40	−20	−10	µA
FB_PFC 端子 PFC 部出力過電圧保護しきい電圧	V_{OVP_PFC1}		13 – 8	1.030 × V_{REF_PFC}	1.060 × V_{REF_PFC}	1.090 × V_{REF_PFC}	V
FB_PFC 端子 PFC 部出力過電圧保護ヒステリシス(3)	$V_{OVP_PFC1(HYS)}$		13 – 8	20	45	80	mV
OVP 端子 PFC 部出力過電圧保護しきい電圧	V_{OVP_PFC2}		7 – 8	2.63	2.70	2.77	V
FB_PFC 端子低電圧保護しきい電圧	V_{UVP_PFC}		13 – 8	200	300	400	mV
FB_PFC 端子低電圧保護ヒステリシス	$V_{UVP_PFC(HYS)}$		13 – 8	70	110	150	mV
LLC 部ソフトスタート							
ソフトスタート時最高発振周波数	$f_{SS(MAX)}$		24 – 23 19 – 18	500	600	700	kHz
ソフトスタート期間	t_{ss}		24 – 23 19 – 18	—	28	—	ms
スタンバイ動作							
MC 端子スタンバイ移行電圧	$V_{MC(ON)}$	外部入力信号	14 – 8	0.20	0.55	0.90	V
MC 端子スタンバイ解除電圧	$V_{MC(OFF)}$	外部入力信号	14 – 8	0.30	0.80	1.20	V
MC 端子電流	I_{MC}	V_{RC} = 1 V	14 – 8	−150	−105	−55	µA
LLC 部発振器							
LLC 部最低発振周波数	f_{MIN_LLC}		24 – 23 19 – 18	40.5	45.0	49.5	kHz
LLC 部最高発振周波数	f_{MAX_LLC}		24 – 23 19 – 18	230	300	380	kHz
最小デッドタイム	$t_{d(MIN)}$		24 – 23 19 – 18	0.04	0.24	0.40	µs
最大デッドタイム	$t_{d(MAX)}$		24 – 23 19 – 18	1.20	1.65	2.20	µs

(3) 設計保証

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

項目	記号	条件	端子	Min.	Typ.	Max.	単位
LLC 部フィードバック制御							
FB_LLC 端子発振開始しきい電圧	$V_{FB_LLC(ON)}$		15 – 8	0.15	0.30	0.45	V
FB_LLC 端子発振停止しきい電圧	$V_{FB_LLC(OFF)}$		15 – 8	0.05	0.20	0.35	V
FB_LLC 端子最大ソース電流	$I_{FB_LLC(MAX)}$	V_{FB_LLC} = 0 V	15 – 8	−300	−195	−100	µA
FB_LLC 端子リセット電流	$I_{FB_LLC(R)}$	V_{FB_LLC} = 3 V	15 – 8	4	10	14	mA
LLC 部リセット検出							
最大リセット時間	$t_{RST(MAX)}$		24 – 23 19 – 18	—	5	—	µs
LLC 部ドライバ電源							
LLC 部ドライバ電源電圧	V_{REG}		17 – 8	9.2	10.0	10.8	V
LLC 部ハイサイドドライバ							
ハイサイドドライバ動作開始電圧	$V_{BUV(ON)}$		22 – 23	5.7	6.8	7.9	V
ハイサイドドライバ動作停止電圧	$V_{BUV(OFF)}$		22 – 23	5.5	6.4	7.3	V
LLC 部ドライブ回路							
出力ソース電流 1	$I_{GL(SRC)1}$ $I_{GH(SRC)1}$	V_B = 15 V V_{GL} = 0 V V_{GH} = 0 V	24 – 23 19 – 18	—	−540	—	mA
出力シンク電流 1	$I_{GL(SNK)1}$ $I_{GH(SNK)1}$	V_B = 15 V V_{GL} = 15 V V_{GH} = 15 V	24 – 23 19 – 18	—	800	—	mA
出力ソース電流 2	$I_{GL(SRC)2}$ $I_{GH(SRC)2}$	V_B = 10 V V_{GL} = 7.5 V V_{GH} = 8.5 V	24 – 23 19 – 18	−200	—	−20	mA
出力シンク電流 2	$I_{GL(SNK)2}$ $I_{GH(SNK)2}$	V_B = 10 V V_{GL} = 1.5 V V_{GH} = 1.5 V	24 – 23 19 – 18	46	—	300	mA
LLC 部電流共振検出、過電流保護機能（OCP）							
電流共振外れ検出電圧 1	V_{RC1}		16 – 8	0.02	0.10	0.18	V
				−0.18	−0.10	−0.02	V
電流共振外れ検出電圧 2	V_{RC2}		16 – 8	0.20	0.30	0.40	V
				−0.40	−0.30	−0.20	V
RC 端子 OCP1 しきい電圧	V_{RC_OCP1}		16 – 8	1.75	1.87	1.97	V
				−1.97	−1.87	−1.75	V
RC 端子 OCP2 しきい電圧	V_{RC_OCP2}		16 – 8	2.58	2.76	2.94	V
				−2.94	−2.76	−2.58	V
LLC 部過負荷保護機能（LLC_OLP）							
LLC 部 OLP 遅延時間	$t_{DLY(OLP)}$		16 – 8	80	100	120	ms
VCC 端子過電圧保護機能（VCC_OVP）							
VCC 端子 OVP しきい電圧	$V_{CC(OVP)}$		6 – 8	30.0	32.0	34.0	V
REG 端子過電圧保護機能（REG_OVP）							
REG 端子 OVP しきい電圧	$V_{REG(OVP)}$		17 – 8	11.5	12.4	13.5	V

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

項目	記号	条件	端子	Min.	Typ.	Max.	単位
過熱保護機能（TSD）							
熱保護動作温度	$T_{J(TSD)}$		—	140	—	—	°C
熱特性							
ジャンクション–エア間熱抵抗	θ_{J-A}		—	—	—	120	°C/W

3. 機械的特性

項目	条件	Min.	Typ.	Max.	単位
質量		—	0.15	—	g

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

4. 応用回路例

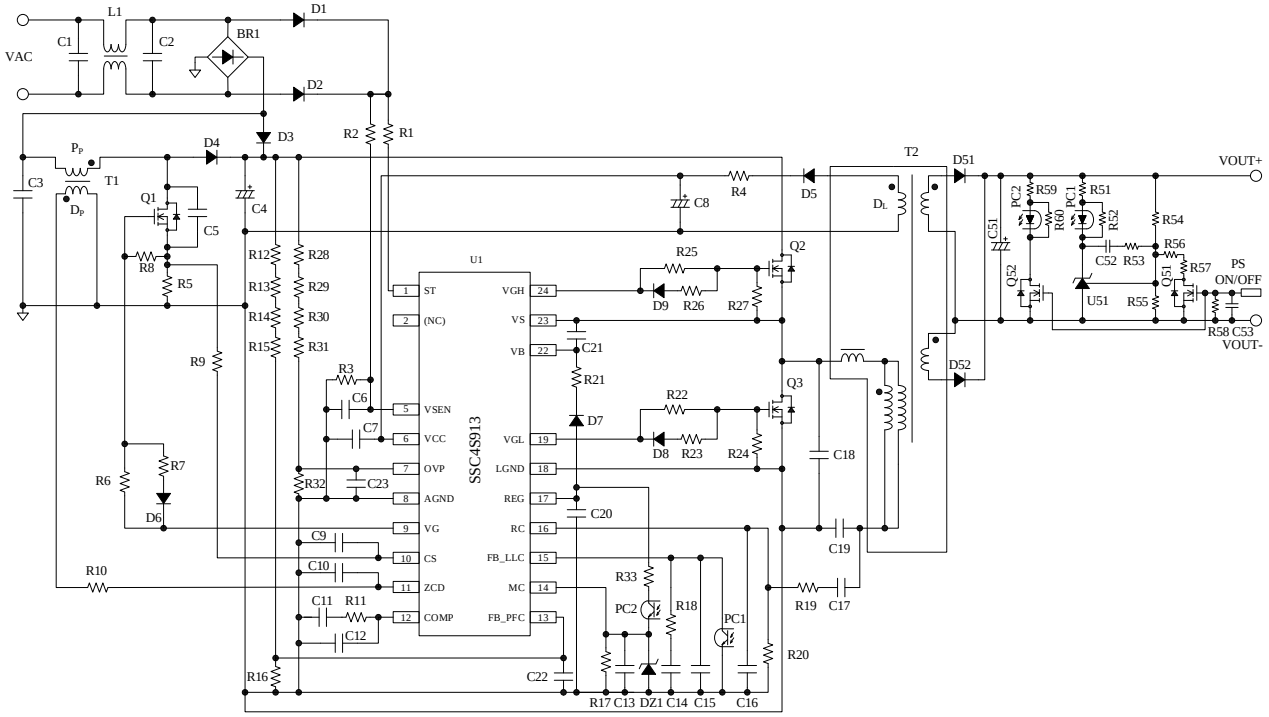
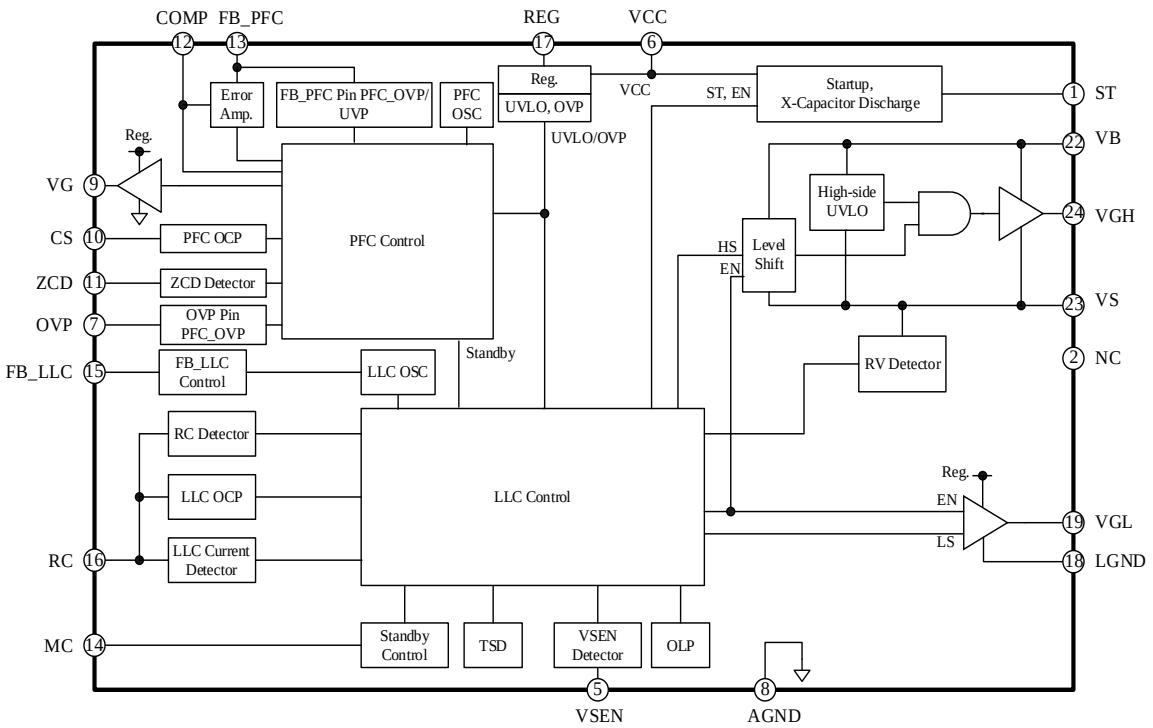


図 4-1　応用回路例

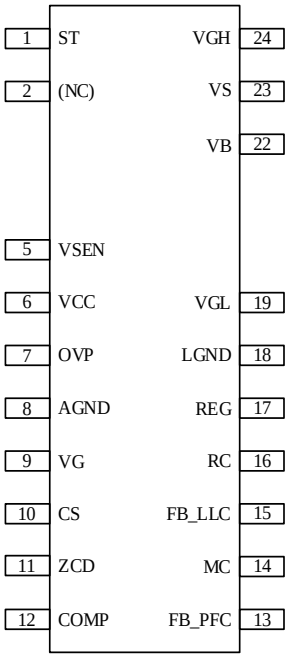
5. ブロックダイアグラム



© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

6. 各端子機能

上面図

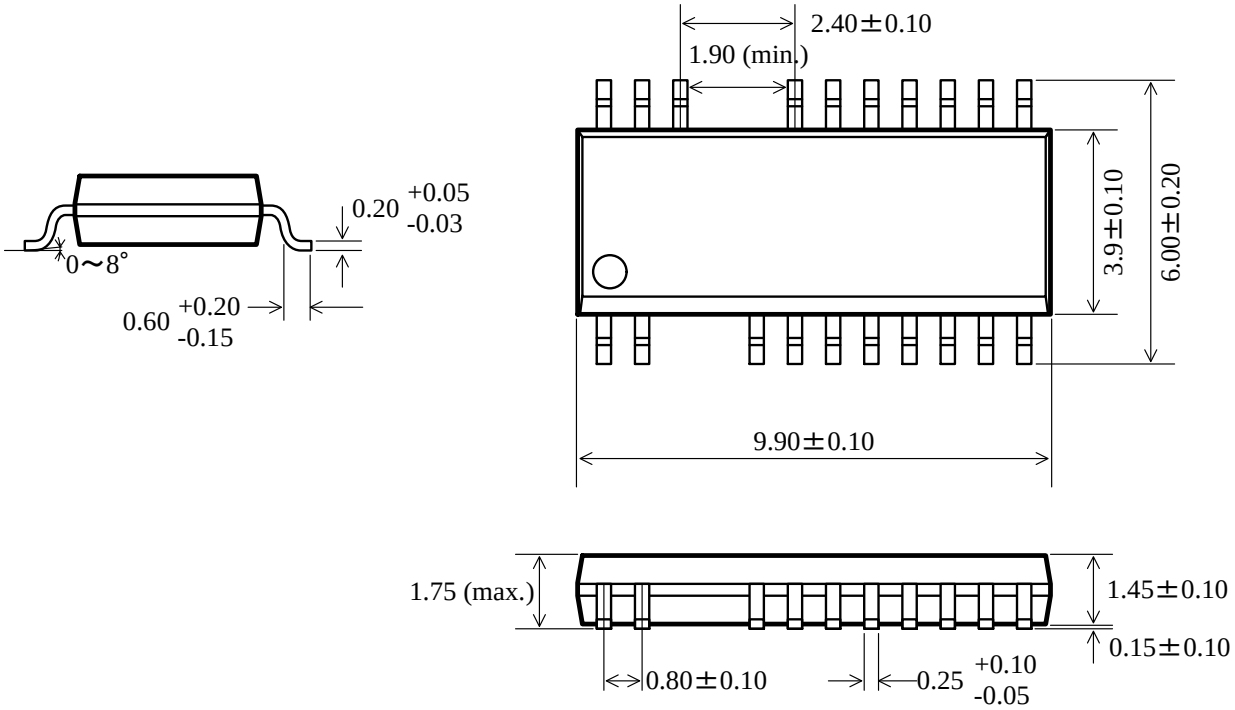


端子番号	端子名	機能
1	ST	起動電流入力、X コンデンサ放電電流入力
2	(NC)	（非接続）
3	—	（抜きピン）
4	—	（抜きピン）
5	VSEN	入力電圧保護信号入力
6	VCC	制御部電源入力、VCC 端子過電圧保護信号入力
7	OVP	OVP 端子 PFC 部過電圧保護信号入力
8	AGND	グランド
9	VG	PFC 部ゲートドライブ出力
10	CS	PFC 部過電流保護信号入力
11	ZCD	PFC 部ゼロ電流検出信号入力
12	COMP	PFC 位相補償調整
13	FB_PFC	PFC 部フィードバック信号入力、 FB_PFC 端子 PFC 部過電圧保護信号入力、 FB_PFC 端子低入力電圧保護信号入力
14	MC	スタンバイ信号入力
15	FB_LLC	LLC 部定電圧制御信号入力
16	RC	共振電流検出信号入力、LLC 部過電流保護検出信号入力
17	REG	ドライバ用 REG 出力端子
18	LGND	LLC 部パワーグランド
19	VGL	LLC 部ローサイドゲートドライブ出力
20	—	（抜きピン）
21	—	（抜きピン）
22	VB	LLC 部ハイサイドゲートドライブ電源入力、 LLC 部ハイサイドドライバ低入力電圧保護信号入力
23	VS	LLC 部ハイサイドドライバ・フローティンググランド
24	VGH	LLC 部ハイサイドのゲートドライブ出力

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

7. 外形図

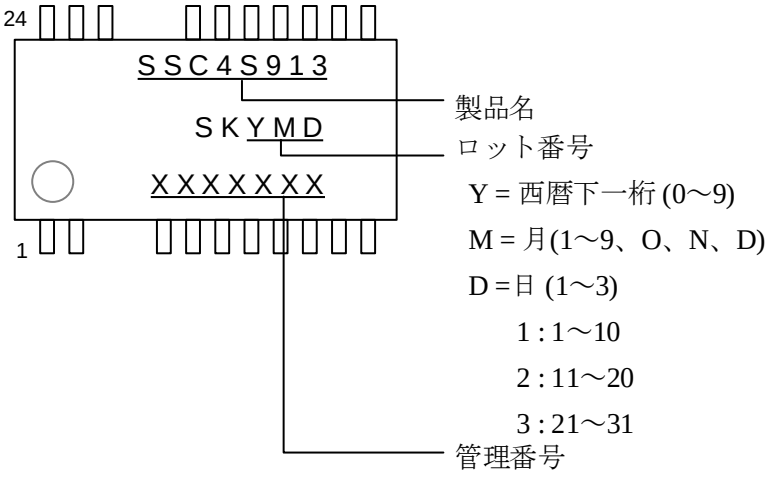
● SSOP24



備考：

● 単位：mm
● 樹脂バリを含みません。
● Pb フリー（RoHS 対応）

8. 捺印仕様



© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

9. 動作説明

特記のない場合の特性値は Typ.値を表記します。電流値の極性は、IC を基準として、流入（シンク）を“+”、流出（ソース）を“–”と規定します。また、2 項の電気的特性項目の記号と、4 項の応用回路例の部品記号を使用しています。

なお、AGND 端子と LGND 端子は基板上で接続し、この電位を GND と表記します。

9.1. 動作概要

本 IC は、臨界モードの PFC 制御と、LLC タイプの電流共振制御を内蔵しています。

本 IC の PFC 制御は、臨界モードです。FB_PFC 端子で PFC 回路の出力電圧を検出し、出力が一定になるように VG 端子のオン時間を制御します。また、臨界モードのゼロ電流は補助巻線 D_P の電圧を ZCD 端子に入力して検出します。

LLC 部は、ハーフブリッジ回路を駆動するためのハイサイドドライバとローサイドドライバを内蔵しています。2 次側の出力電圧を、フォトカプラを介して FB_LLC 端子で検出し、出力が一定になるように VGH、VGL 端子の発振周波数を制御します（9.15 項）。また、電流共振外れ検出機能（9.18 項）を搭載しており、最小発振周波数の設定は不要です。VGH、VGL 間のデッドタイムは IC 内部で自動的に調整されるため、電源仕様ごとのデッドタイムの調整は不要です（9.17 項）。本 IC は、X コンデンサ放電機能（9.5 項）を搭載しています。X コンデンサ放電機能により、入力フィルタ部の X コンデンサ放電抵抗を削除できます。

PFC 部と LLC 部には、それぞれ過電流保護や過電圧保護機能などの豊富な保護機能を搭載しています。

9.2. 端子説明

9.2.1. VSEN 端子

VSEN 端子には、図 9-1 のように入力電圧 V_{IN} を検出抵抗で分圧した電圧信号を入力します。この信号は、入力電圧保護機能に使用します。入力電圧保護機能の詳細と VSEN 端子の周辺定数の設定方法は 9.6 項を参照してください。

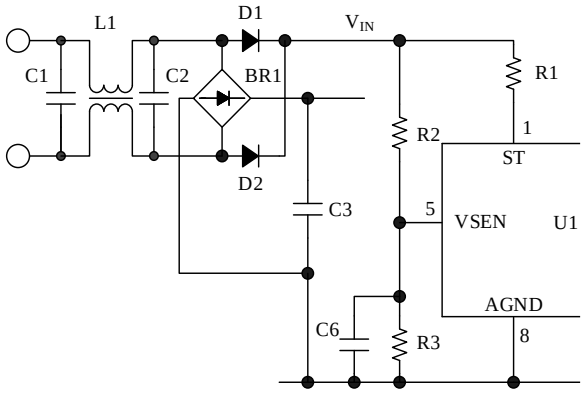


図 9-1　VSEN 端子周辺回路

9.2.2. VCC 端子

VCC 端子は IC の制御回路電源入力端子です。VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$ = 17.0 V 以上になると IC は動作を開始し、$V_{CC(OFF)}$ = 8.7 V 以下になると IC は動作を停止します。この動作を VCC 端子低入力電圧保護機能（VCC_UVLO：VCC Pin Undervoltage Lockout）と呼びます。また、VCC 端子には過電圧保護機能（VCC_OVP）が搭載されています。VCC 端子の電源を LLC 部のトランスの補助巻線から供給する場合、VCC 端子電圧が 2 次側の出力電圧に比例するため、2 次側の過電圧を検出できます。

起動動作と補助巻線の設定については 9.3 項を、VCC_OVP の詳細は、9.5.2 項を参照してください。電源リップルなどによる IC の誤動作を防止するため、コンデンサ C7（0.1 μF～1.0 μF）を VCC 端子と AGND 端子間にできるだけ短いパターンで接続します。

9.2.3. AGND、LGND 端子

AGND 端子は IC の制御グランド端子、LGND 端子は LLC 部の外付けパワーMOSFET の駆動電流が流れるパワーグランド端子です。AGND 端子と LGND 端子は基板上で最短で接続してください。

制御グランドの電位が変動すると IC の誤動作の原因となるため、制御グランドは、パワー系の電流の影響を受けないように十分に配慮して配線します。パターンレイアウトの注意点は、10.3 項を参照してください。

9.2.4. VG 端子

VG 端子は、PFC 部のパワーMOSFET（Q1）を駆動するためのドライブ出力です。ターンオフ時のゲート立ち下がりスピードを速くするには、図 9-2

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

のようにダイオード D6 を接続します。D6、R6、R7 は、パワーMOSFET の損失、ゲート波形（配線パターンによるリンギングなど）、EMI ノイズを実際の動作で確認し、調整します。R8 は、パワーMOSFET の誤動作防止用で、10 kΩ～100 kΩ 程度を接続します。R8 は、パワーMOSFET のゲートとソースの近くに接続します。

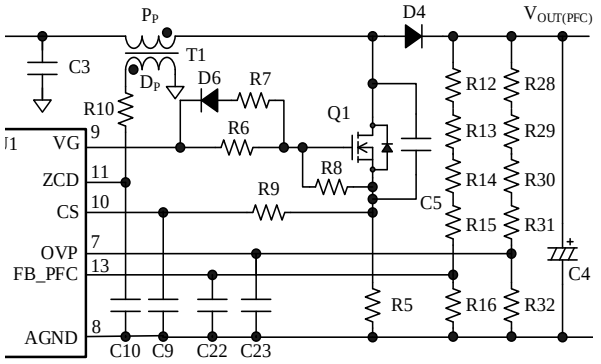


図 9-2 PFC 部回路

9.2.5. CS 端子

PFC 部の電流検出端子です。図 9-2 のように、PFC 部のスイッチング電流を R5 で検出し、CS 端子に入力します。CS 端子には CR フィルタ（R9、C9）を接続します。

● **PFC_OCP 検出：R5**

パワーMOSFET（Q1）に流れる電流を抵抗 R5 で検出し、過電流保護機能（PFC_OCP）に使用します。電流検出抵抗 R5 は、高周波のスイッチング電流が流れるため、内部インダクタンスが小さく、かつ許容損失を満足するものを使用します。PFC_OCP の詳細は、9.11 項を参照してください。

● **CR フィルタ：R9、C9**

CR フィルタは、パワーMOSFET のターンオン時のドレイン電流サージで、IC の動作が不安定になることを防止します。R9 の抵抗値は、PFC 部の過電流検出の精度に影響するため、47 Ω 程度を推奨します。C9 は、CR フィルタのカットオフ周波数が 0.5 MHz～3.0 MHz 程度になるように設定します。

R9 が 47 Ω の場合、C9 は 1 nF～6.8 nF になります。最終的に実機で動作を確認して、定数を調整してください。

9.2.6. ZCD 端子

PFC 部のゼロ電流検出用端子です。図 9-2 のように、ゼロ電流検出信号は、PFC 部のトランスの補助巻線 D_P から電流制限抵抗 R10 を介して ZCD 端子に入力します。C10 はボトムオンタイミングの調整用コンデンサです。

ZCD 端子の周辺部品の定数は、ZCD 端子の最大定格以内になるように設定してください。R10、C10 の設定方法は、9.8.2 項を参照してください。

9.2.7. COMP 端子

COMP 端子の電圧を用いて VG 端子のオン時間を制御し、PFC 部の定電圧制御をします。COMP 端子には、図 9-3 のように、抵抗とコンデンサを接続します。C11 と R11 は位相補償用、C12 は出力リップルの平均化用です。PFC 部の定電圧制御の詳細と COMP 端子の定数設定は、9.8.1 項を参照してください。

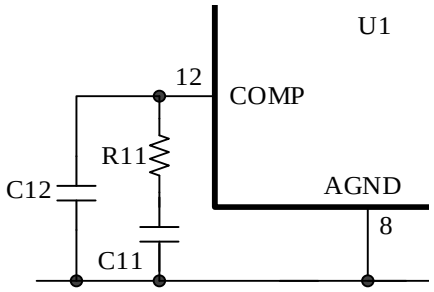


図 9-3 COMP 端子周辺回路

9.2.8. FB_PFC 端子

FB_PFC 端子には PFC 出力の定電圧制御用のフィードバック信号を入力します。また、PFC 出力の過電圧保護機能（9.12 項参照）と低電圧保護機能（9.13 項参照）が搭載されています。

FB_PFC 端子には、図 9-2 のように PFC 部の出力電圧 $V_{OUT(PFC)}$を検出抵抗で分圧した電圧信号を入力します。$V_{OUT(PFC)}$は、検出抵抗 R12～R16 で決まり、次式で求められます。

$$V_{OUT(PFC)} = \left(\frac{R_{REF1}}{R_{REF2}} + 1\right) \times V_{REF_PFC} \qquad (1)$$

ここで、

V_{REF_PFC}：FB_PFC 端子フィードバック基準電圧（2.500 V）

R_{REF1}：R12～R15 の合成抵抗値

R_{REF2}：R16 の抵抗値（33 kΩ 程度）

R_{REF1} は、高い DC 電圧が印加される高抵抗のた

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

め、電食を考慮した抵抗を選択したり、R_{REF1} を複数の直列抵抗で構成し、個々の抵抗に印加される電圧を下げたりするなどの配慮をします。

また、必要に応じて、スイッチングノイズ低減用のコンデンサ C22（1 nF 程度）を FB_PFC 端子と AGND 間にできるだけ短い配線で接続します。

9.2.9. OVP 端子

OVP 端子は、FB_PFC 端子の出力電圧検出ラインに異常が発生した場合に、PFC 部の出力過電圧を検出するための端子です。

OVP 端子には、図 9-2 のように PFC 部の出力電圧 $V_{OUT(PFC)}$を検出抵抗で分圧した電圧信号を入力します。OVP 端子の過電圧保護のしきい電圧は V_{OVP_PFC2} = 2.70 V です。R28～R32 の値を設定する際は、IC の起動時に OVP 端子による過電圧保護が動作しないように注意してください。R28～R31 は、高い DC 電圧が印加される高抵抗のため、電食を考慮した抵抗を選択したり、複数の直列抵抗で構成し、個々の抵抗に印加される電圧を下げたりするなどの配慮をします。

また、必要に応じて、スイッチングノイズ低減用のコンデンサ C23（1 nF 程度）を OVP 端子と AGND 間にできるだけ短い配線で接続します。

9.2.10. MC 端子

MC 端子はスタンバイ動作のオン／オフ端子です。オン／オフ回路を MC 端子に接続します。

スタンバイ機能と MC 端子の設定方法の詳細は 9.16 項を参照してください。

9.2.11. FB_LLC 端子

FB_LLC 端子は、LLC 部の定電圧制御に使用する端子です。図 9-4 のようにフォトカプラ PC1 とコンデンサ C14、C15、抵抗 R18 を接続します。FB_LLC 端子は、ハイサイドとローサイドのパワーMOSFET（Q2、Q3）のオン時間を制御します（デューティ 50%）。LLC 部定電圧制御の詳細と FB_LLC 端子の周辺回路の設定方法は 9.15 項を参照してください。

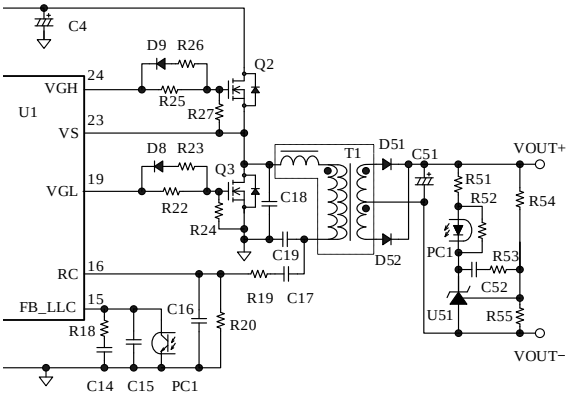


図 9-4　LLC 部回路

9.2.12. RC 端子

RC 端子は、図 9-4 のように C17 と R20 を接続し、電流共振外れや LLC 部の過電流を検出します。R19 と C16 は、高周波ノイズ除去用のフィルタです。

電流共振外れ検出機能は 9.18 項を、LLC 部の過電流保護機能と RC 端子の周辺回路の設定は 9.21 項を参照してください。

9.2.13. REG 端子

VB 端子に電源を供給するためのレギュレータ出力端子です。REG 端子と AGND 端子間にコンデンサ C20 を接続します。C20 は、1.0 μF 程度です。

9.2.14. VGL 端子、VGH 端子

VGL 端子と VGH 端子は、LLC 部のパワーMOSFET を駆動するためのドライブ出力です。VGL 端子はローサイド、VGH 端子はハイサイドを駆動します。

以下、Q2 の周辺回路を例に説明します。Q3 の周辺回路も同様です。ターンオフ時のゲート立ち下がりスピードを速くするためには、図 9-4 のようにダイオード D9 を接続します。R25、R26、D9 は、パワーMOSFET の損失、ゲート波形（配線パターンによるリンギングなど）、EMI ノイズを、実際の動作で確認して調整します。R27 は、パワーMOSFET の誤動作防止用で、10 kΩ～100 kΩ 程度です。R27 はパワーMOSFET のゲートとソースの近くに接続します。なお、ゲート抵抗を調整する際は、パワーMOSFET のゲート波形を確認し、図 9-5 のようにデッドタイムが確保できているか確認する必要があります。

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

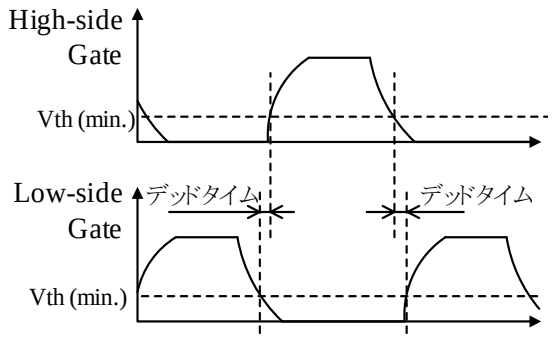


図 9-5　デッドタイムの確認

9.2.15. VB 端子、VS 端子

VB 端子は、ハイサイド・フローティング電源の入力端子で、VS 端子は、ハイサイド・フローティング電源のグランド端子です。VB 端子と VS 端子間には、ハイサイドドライバ低電圧保護機能（VB_UVLO）が搭載されています（9.20 項参照）。図 9-6 にハイサイドのパワーMOSFET（Q2）を駆動するためのブートストラップ回路を示します。ハイサイドのパワーMOSFET がオフ、ローサイドのパワーMOSFET（Q3）がオンのとき、VS 端子電圧はグランドとほぼ同電位になり、REG 端子は C21 を充電します。VB 端子と VS 端子間の電圧が $V_{BUV(ON)}$ = 6.8 V 以上になると、内部のハイサイドドライバ回路が動作を開始し、$V_{BUV(OFF)}$ = 6.4 V 以下になると動作を停止します。この動作を VB 端子低電圧保護機能（VB_UVLO：VB Pin Undervoltage Lockout）と呼びます。この VB_UVLO により、C21 がショートした場合の保護が可能です。ブートストラップ回路の部品の設定は以下のとおりです。

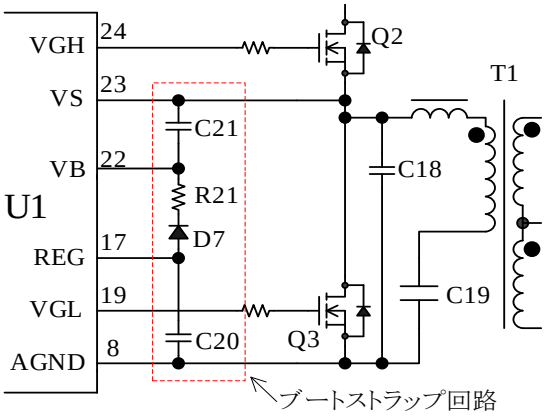


図 9-6　ブートストラップ回路

● **D7**

D7 は、リカバリー時間が短く、逆電流の少ない高速ダイオードを使用します。電源入力電圧の上限仕様が AC265V の場合は、V_{RM} = 600 V の高速整流ダイオードを推奨します。

● **C20、C21、R21**

C20 と C21 の容量、R21 の抵抗値は、Q2 のゲートチャージ電荷量 Qg と、最低発振周波数で動作しているときの VB 端子と VS 端子間（VB–VS 端子間）の電圧ディップ量で決まります。高圧差動プローブを使用して VB–VS 端子間の電圧を測定し、VB–VS 端子間の電圧が $V_{BUV(ON)}$ = 6.8 V より高くなるように調整します。C20 と C21 には、低 ESR で漏れ電流の少ないフィルムコンデンサかセラミックコンデンサを使用します。C20 の目安は 1.0 μF です。C21 と R21 は、時定数が 500 ns 以下になるように設定します。C21 は 0.047 μF～0.1 μF、R21 は 2.2 Ω～10 Ω 程度です。

9.2.16. ST 端子

ST 端子は、起動電流の入力端子です。また、電源遮断時の X コンデンサ放電電流の入力端子です。起動時の動作は 9.3 項、X コンデンサ放電機能は 9.5 項を参照してください。

ST 端子には、抵抗 R1（10 kΩ 程度）を接続します。R1 は、高い電圧が印加される高抵抗のため、電食を考慮した抵抗を選択したり、R1 を複数の直列抵抗で構成し、個々の抵抗に印加される電圧を下げたりするなどの配慮をします。

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

9.3. 起動、停止動作

図 9-7 に ST 端子と VCC 端子の周辺回路を示します。図 9-8 に起動時の動作波形を示します。

本 IC は起動回路を内蔵しており、起動回路は ST 端子に接続されています。電源を投入し、ST 端子電圧が上昇すると、IC 内部で定電流化した起動電流 I_{CC} = −11.0 mA で、VCC 端子に接続した電解コンデンサ C8 を充電します。VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$ = 17.0 V まで上昇すると、VG 端子が発振を開始し、PFC 部の制御を開始します。VG 端子のオン時間は、COMP 端子電圧の上昇に従って増加します。

PFC 部の出力電圧 $V_{PFC(OUT)}$が上昇し、FB_PFC 端子の電圧が $V_{LLC(ON)}$ = 1.875 V 以上になると、起動回路を停止させると同時に、LLC 部はソフトスタート動作で VGH 端子と VGL 端子の発振を開始します。図 9-9 のようにソフトスタート期間中は VGH、VGL 端子の発振周波数が徐々に低下し、同時に 2 次側の出力電力が増加します。出力電力が増加するにつれて、LLC 部はフィードバック信号による周波数制御に移行します。ソフトスタート時の最高発振周波数は、$f_{SS(MAX)}$ = 600 kHz、ソフトスタート期間は t_{ss} =28 ms です。この LLC 部のソフトスタート機能により、部品のストレスを低減し、LLC 部の共振外れを抑制します。

LLC 部が発振を開始すると、VCC 端子への印加電圧は、図 9-7 の補助巻線電圧 V_{DL} を整流平滑した電圧になります。電源起動後、起動回路は自動的に IC 内部で遮断するため、起動回路による電力消費はなくなります。

PFC 部が動作を開始するまでの時間 t_{START}（図 9-8 参照）は C8 のコンデンサ容量で決まり、起動時間 t_{START} の概算値は式(2)で算出します。C8 の容量は 47 μF 以上に設定してください。

$$t_{START} = C8 \times \frac{V_{CC(ON)} - V_{CC(INT)}}{I_{CC} - I_{CC(OFF)}} \qquad (2)$$

ここで、

t_{START}：IC の起動時間 (s)

$V_{CC(INT)}$：VCC 端子の初期電圧 (V)

I_{CC}：起動電流（−11.0 mA）

$I_{CC(OFF)}$：非動作時回路電流（1.0 mA）

補助巻線 D の巻数は、電源仕様の入出力変動範囲内で、VCC 端子電圧が次式(3)の範囲になるように、調整します。補助巻線電圧の目安は 17 V 程度です。

$$V_{CC(BIAS)}(\max.) < V_{CC} < V_{CC(OVP)}(\min.)$$

$$\Rightarrow 10.6\ \text{V} < V_{CC} < 30.0\ \text{V} \qquad (3)$$

電源を停止すると、PFC 部の出力電圧 $V_{PFC(OUT)}$が低下します。$V_{PFC(OUT)}$の低下に伴い、FB_PFC 端子の電圧も低下します。本 IC は、FB_PFC 端子の電圧が $V_{LLC(OFF)}$ = 1.350 V 未満になると VGH 端子と VGL 端子が発振を停止し、VCC 端子電圧が低下します。このときバイアスアシスト機能（9.4 項参照）は無効になっており、VCC 端子電圧が $V_{CC(OFF)}$ = 8.7 V 以下になると、VG 端子の発振を含むすべての IC の動作を停止します。

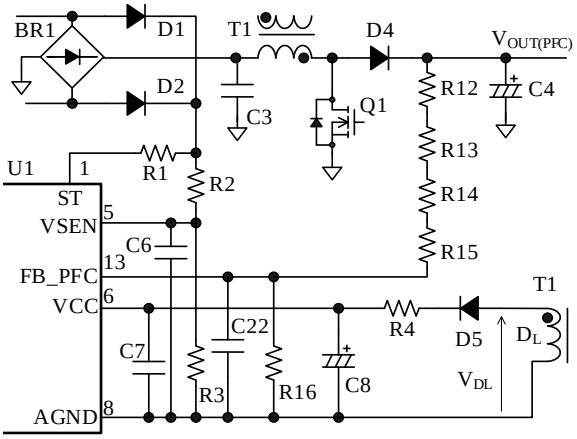


図 9-7　ST 端子、VCC 端子周辺回路

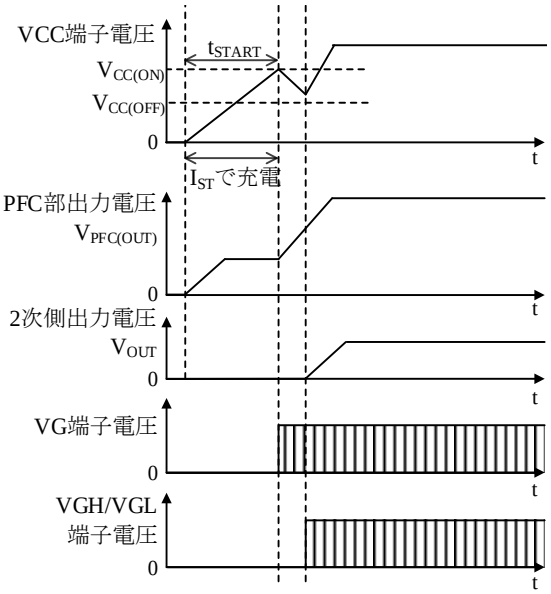


図 9-8　起動時の動作波形

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

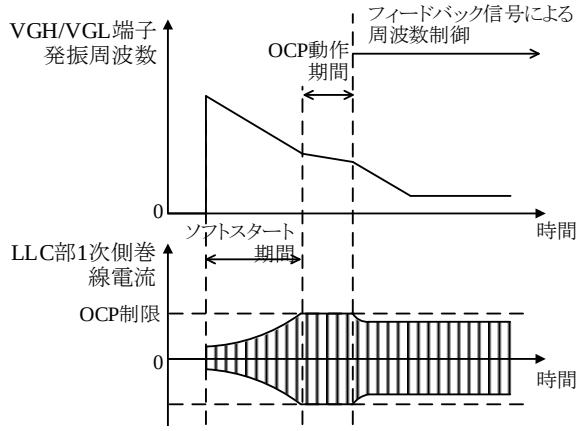


図 9-9　LLC 部ソフトスタート動作

9.4.　バイアスアシスト機能

バイアスアシスト機能は、VCC 端子電圧の低下を抑制する機能です。定常動作時に VCC 端子電圧が $V_{CC(BIAS)}$ = 9.8 V まで低下するとバイアスアシスト機能が動作します。バイアスアシスト機能が動作すると、起動回路から起動電流 I_{CC} = −11.0 mA を供給し、VCC 端子電圧の低下を抑制します。

9.5.　X コンデンサ放電機能

一般的にスイッチング電源の入力部には、図 9-10 のようにラインフィルタを挿入します。

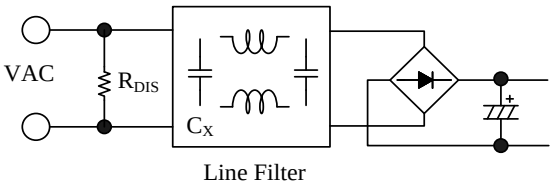


図 9-10　入力部ラインフィルタ標準回路

安全規格 IEC 62368-1 より、C_X の容量が 0.3 μF 以上の場合、ラインフィルタに使用する X コンデンサ C_X の両端電圧は、AC 入力電圧遮断後 2 秒以内に 60 V 以下にならなければなりません。そのため、一般的に C_X と並列に放電用の抵抗 R_{DIS} を挿入します。AC 入力電圧が印加されている間は、R_{DIS} は常に電力を消費します。本 IC が搭載している X コンデンサ放電機能を使用すると、R_{DIS} を削除し、回路効率を向上することができます。R_{DIS} の損失 P_{RDIS} を式(4)に示します。

$$P_{RDIS} = \frac{{V_{AC(RMS)}}^2}{R_{DIS}} \tag{4}$$

ここで、$V_{AC(RMS)}$は AC 入力電圧の実効値です。

例として、R_{DIS} の合成抵抗が 1 MΩ、AC 入力電圧が 265 V の場合、P_{RDIS} は約 70 mW です。

本 IC は、入力電圧が AC か DC を判定し、入力電圧が AC の場合は X コンデンサ放電機能を有効に（AC 入力モード）、入力電圧が DC の場合は無効（DC 入力モード）にします。

IC は、VSEN 端子に入力される信号の立ち上がりエッジが、判別期間中に IC 内部の基準電圧（0.65 V）を何回超えるかをカウントし（内部 AC 判定信号）、入力電圧が AC か DC かを判定します。判別期間とは、IC の起動時に VCC 端子電圧が $V_{CC(BIAS)}$から $V_{CC(ON)}$に上昇している間の期間です。判別期間は、VCC 端子に接続するコンデンサ C8 の容量に依存します。判別期間に全波整流信号が 3 回以上入るように（すなわち AC 入力が 50 Hz の場合は判別期間 30 ms 以上）、C8 の容量を設定してください。

9.5.1.　AC 入力モード

図 9-11 のように、判定期間における内部 AC 判定信号が 2 カウント以上の場合、入力電圧が AC であると判断します。VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$以上になると、X コンデンサ放電機能が有効になります（AC 入力モード）。

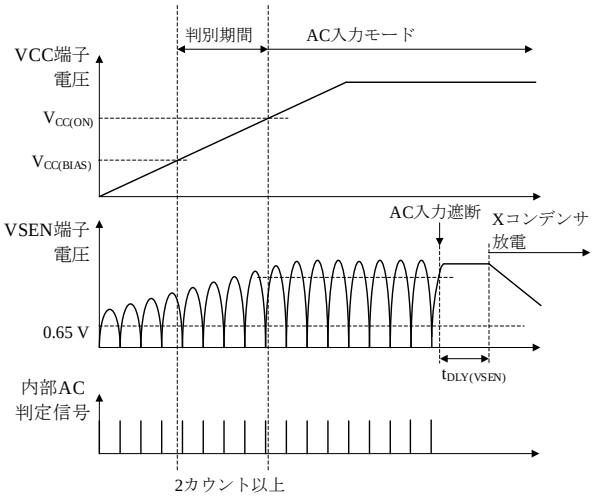


図 9-11　入力電圧が AC の場合

図 9-12 に ST 端子の周辺回路、図 9-13 に X コンデンサ放電機能の動作波形を示します。

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

起動時、電源入力電圧が加わり、VSEN 端子電圧が $V_{SEN(ON)}$ = 0.900 V 以上に上昇すると、IC は動作を開始します。次の半波整流電圧からは図 9-13 のように、VSEN 端子電圧のしきい値、$V_{SEN(OFF)1}$ = 0.750 V または $V_{SEN(AC)1}$ = 2.025 V のどちらかで AC 入力電圧を検出します。これにより、本 IC の X コンデンサ放電機能は、ユニバーサル仕様のような広い入力範囲に対応できます。

AC 入力電圧が遮断すると、VSEN 端子電圧はほぼ一定になり、$V_{SEN(OFF)1}$ と $V_{SEN(AC)1}$ のしきい値を検出しなくなります。しきい値を検出しない期間が VSEN 端子遅延時間 $t_{DLY(VSEN)}$ = 52 ms 継続すると、X コンデンサを定電流で放電します。放電時の ST 端子電流 I_{ST} は、約 11 mA です。AC 入力電圧を安定して検出するため、VSEN 端子電圧が $V_{SEN(OFF)1}$、$V_{SEN(AC)1}$ になると、内部のしきい電圧はそれぞれ自動的に $V_{SEN(OFF)2}$ = 0.600 V、$V_{SEN(AC)2}$ = 1.800 V になります。

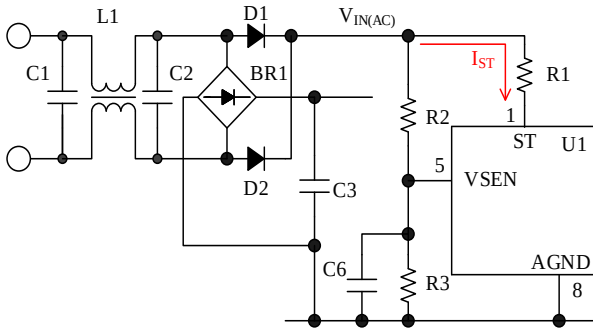


図 9-12　ST 端子、VSEN 端子周辺回路

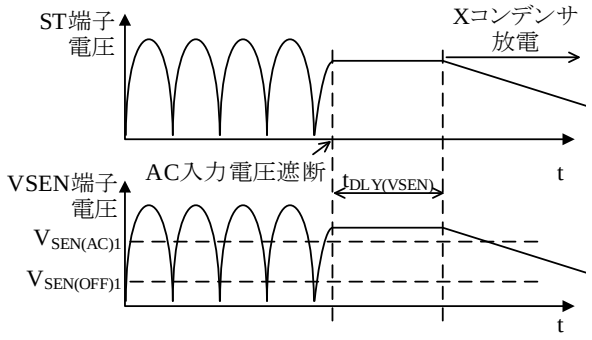


図 9-13　X コンデンサ放電機能動作波形

9.5.2. DC 入力モード

図 9-14 のように、判定期間における内部 AC 判定信号が 2 カウント未満だった場合、入力電圧が DC であると判断します。VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$ 以上になると、X コンデンサ放電機能が無効になります（DC 入力モード）。DC 入力モードの場合、電源が遮断して、入力電圧が低下すると PFC 回路と LLC 回路共に入力低電圧保護機能（9.6.2 項参照）で停止します。

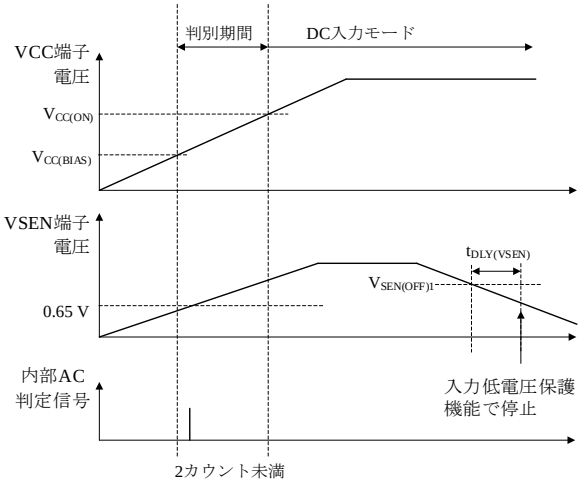


図 9-14　入力電圧が DC の場合

9.6. 入力電圧保護機能

入力電圧保護機能には、電源入力電圧が高い場合に働く入力過電圧保護機能（HVP：High-voltage Protection）と、電源入力電圧が低い場合に働く入力低電圧保護機能（UVP：Undervoltage Protection）があります。これらの機能により、過電流や過電圧による部品の過熱や破壊を防止します。入力電圧保護機能は、VSEN 端子で入力電圧を検出し、VSEN 端子電圧に応じて PFC 部（VG 端子）および、LLC 部（VGH 端子、VGL 端子）のスイッチング動作をオン／オフします。9.6.1 項では HVP について、9.6.2 項では UVP について説明します。VSEN 端子の周辺回路を図 9-15、入力電圧保護機能の動作波形を図 9-16 に示します。

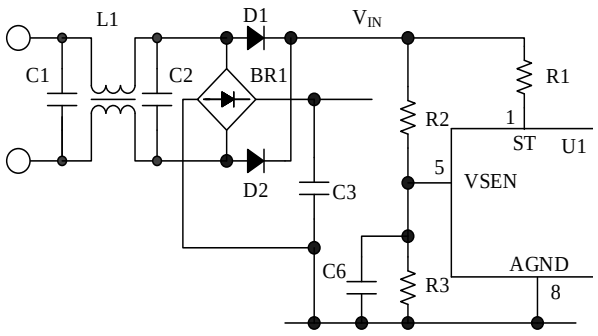


図 9-15　VSEN 端子周辺回路

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

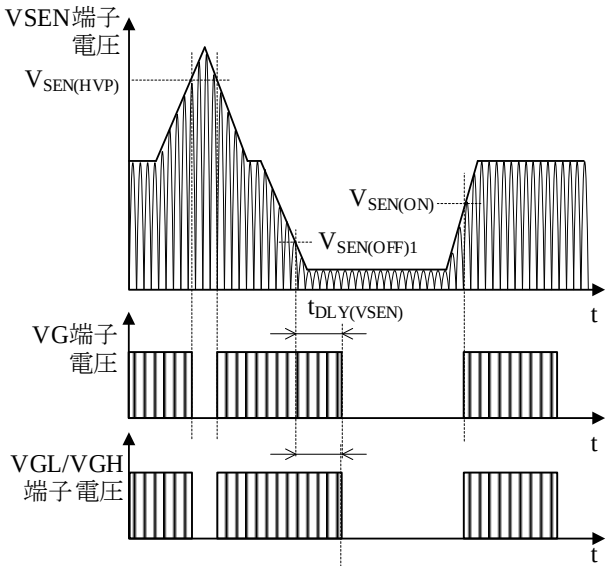


図 9-16　入力電圧保護機能動作波形

HVP および UVP が動作するときの AC 入力電圧の実効値の参考値は、入力部の抵抗成分や整流器の順方向電圧の影響がないとすると、次式で算出できます。

$$V_{AC(OP)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_{SEN(TH)} \times \left(1 + \frac{R2}{R3}\right) \quad (5)$$

ここで、

$V_{AC(OP)}$：HVP および UVP が動作するときの AC 入力電圧の実効値

$V_{SEN(TH)}$：VSEN 端子のしきい電圧（表 9-1 参照）

表 9-1　VSEN 端子のしきい電圧

項目	記号	値（Typ.）
VSEN 端子過電圧保護しきい電圧	$V_{SEN(HVP)}$	4.20 V
VSEN 端子低電圧保護解除電圧 1	$V_{SEN(OFF)1}$	0.750 V
VSEN 端子低電圧保護しきい電圧	$V_{SEN(ON)}$	0.900 V

R2 は、高い電圧が印加される高抵抗のため、電食を考慮した抵抗を選択したり、R2 を複数の直列抵抗で構成し、個々の抵抗に印加される電圧を下げたりするなどの配慮をします。

R2 の目安は 10 MΩ 程度です。図 9-15 の C6 はノイズ除去用のコンデンサで、1 nF～10 nF が目安です。R2、R3、C6 は、最終的に実機で動作を確認し、定数を調整します。

9.6.1. 入力過電圧保護機能（HVP）

図 9-15 のように、入力電圧 V_{IN} を検出抵抗で分圧した電圧信号を VSEN 端子に入力し、入力電圧を検出します。定常動作状態から入力電圧が上昇し、VSEN 端子電圧が VSEN 端子 HVP しきい電圧 $V_{SEN(HVP)}$ = 4.20 V 以上になると、入力過電圧保護機能（HVP）が動作し、LLC 部のスイッチング動作を停止します。スイッチング動作が停止すると VCC 端子電圧が低下し、VCC 端子電圧が $V_{CC(P.OFF)}$ 以下になると、HVP を解除し、IC が再度起動します。その後、VCC 端子電圧は起動電流により上昇し、$V_{CC(ON)}$に達すると、制御回路が再び動作します。このように、HVP 動作時は VCC_UVLO による間欠発振動作を繰り返します。

入力電圧が低下し、VSEN 端子電圧が $V_{SEN(HVP)}$以下になると、定常動作に復帰します。

9.6.2. 入力低電圧保護機能（UVP）

定常動作状態から入力電圧が低下し、VSEN 端子電圧が VSEN 端子しきい電圧（オフ）$V_{SEN(OFF)1}$ = 0.750 V 以下になると、IC が動作状態（$V_{CC(OFF)}$ ≤ VCC 端子電圧の状態）でも、その状態が VSEN 端子遅延時間 $t_{DLY(VSEN)}$ = 52 ms 継続すると、LLC 部のスイッチング動作を停止します。スイッチング動作が停止すると、VCC 端子電圧が低下し、VCC 端子電圧が $V_{CC(OFF)}$以下になると IC は動作を停止します。入力電圧が上昇し、VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$以上、かつ VSEN 端子電圧が VSEN 端子しきい電圧（オン）$V_{SEN(ON)}$ = 0.900 V 以上になると、定常動作に復帰します。

9.7. VCC 端子過電圧保護機能

VCC 端子と GND 端子間に、VCC 端子 OVP しきい値 $V_{CC(OVP)}$ = 32.0 V 以上の電圧を印加すると、VCC 端子の過電圧保護機能（VCC_OVP：VCC Pin Overvoltage Protection）が動作し、LLC 部（VGH 端子、VGL 端子）のスイッチング動作を停止します。VCC_OVP が動作すると、回路電流は $I_{CC(P)}$ = 1.6 mA まで低下し、バイアスアシスト機能が無効になります。その後、VCC 端子電圧が低下し、VCC 端子電圧が $V_{CC(P.OFF)}$以下になると、VCC_OVP は解除されます。その後、VCC 端子電圧は起動電流により上昇し、$V_{CC(ON)}$に達すると、制御回路が再び動作します。このように、VCC_OVP 動作時は VCC_UVLO による間欠発振動作を繰り返します。

VCC 端子電圧をトランスの補助巻線から供給する場合は、VCC 端子電圧が出力電圧に比例するため、出力電圧検出回路オープン時などの 2 次側の過

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

電圧を検出できます。この場合、VCC_OVP 機能動作時の 2 次側出力電圧 $V_{OUT(OVP)}$は、次式(6)で概略計算できます。

$$V_{OUT(OVP)} = \frac{V_{OUT(NRM)}}{V_{CC(NRM)}} \times 32.0\ (V) \qquad (6)$$

ここで、
$V_{OUT(NRM)}$：定常動作時の 2 次側出力電圧
$V_{CC(NRM)}$：定常動作時の VCC 端子電圧

9.8. PFC 部出力定電圧制御と臨界モード制御

本 IC は臨界モード制御を採用しており、パワー MOSFET（Q1）がオフの期間にトランス T1 のブースト巻線 P_P に流れる電流がゼロであることを検出して、次のターンオンを開始します。ゼロ電流は、T1 の補助巻線 D_P と ZCD 端子で検出します。また、FB_PFC 端子で、PFC 部の出力電圧 $V_{OUT(PFC)}$を検出し、負荷に応じて Q1 のオン時間を制御し、$V_{OUT(PFC)}$が一定になるように制御します。

9.8.1. PFC 部出力定電圧制御とオン時間制御

図 9-17 に FB_PFC 端子と COMP 端子の周辺回路と内部ブロック図を示します。

VG 端子のオン時間は次のように制御します。まず FB_PFC 端子に接続されている内部の誤差増幅器（Error Amp.）で FB_PFC 端子の入力電圧とフィードバック基準電圧 V_{REF_PFC} = 2.500 V を比較します。この誤差増幅器の出力電圧は、COMP 端子に接続される C11 と R11 で平均化および位相補償されます。さらに、COMP 端子電圧 V_{COMP} とランプ波形 V_{OSC} を比較して VG 端子のオン時間を決めます。C11 を 20 Hz 以下の低周波数に応答するようにすることで、商用周期内のオン時間はほぼ一定になります（図 9-18）。

オン時間は負荷に応じて変動します。C11 と R11 で、負荷変動の際の応答速度を調整できます。C11 は 1 μF 程度、R11 は 68 kΩ 程度です。C11 が大きすぎるとダイナミック変動時などの応答が遅れ、出力電圧の低下など、不安定動作の原因になるため、最終的に実機で動作を確認し、定数を調整する必要があります。C12 は出力リップルの平均化用で 1 μF 程度です。C12 が小さすぎると出力リップルの影響を受け、動作が不安定になる可能性があります。

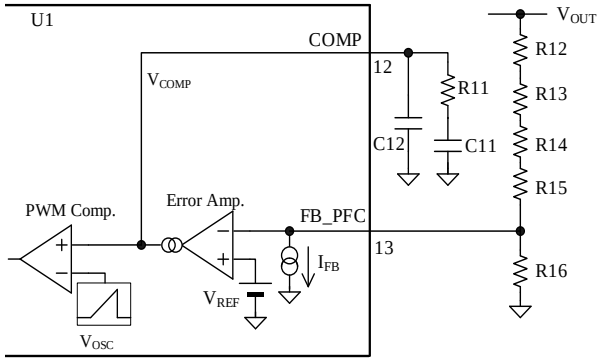


図 9-17　FB_PFC 端子、COMP 端子の周辺回路と内部ブロック図

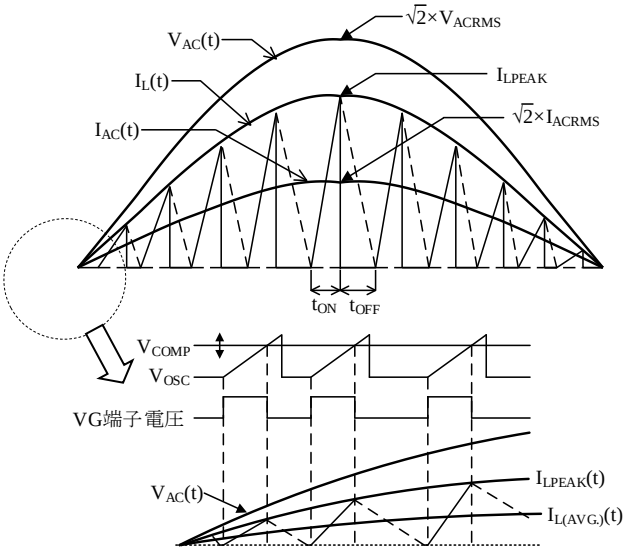


図 9-18　動作波形

9.8.2. 臨界モードとオフ時間制御

オフ時間は、トランス T1 のブースト巻線 P_P に流れる電流がゼロになるタイミングを検出して決めます。補助巻線 D_P に R10 と C10 を接続し、これらで検出した信号を ZCD 端子に入力して、ゼロ電流を検出します。T1 のブースト巻線 P_P と補助巻線 D_P は図 9-19 に示す極性です。

VG 端子の電圧が“L”なり、Q1 がターンオフすると、補助巻線 D_P の正の電圧が ZCD 端子に印加されます（図 9-20）。Q1 がターンオフした後、ZCD 端子の電圧が $V_{ZCD(H)}$ = 1.40 V を超えている間は、VG 端子電圧を“L”に維持します。ZCD 端子電圧が $V_{ZCD(L)}$ = 0.70 V 以下になると、IC は L1 に流れる電流がゼロであると判断し、遅延時間 $t_{DLY(ZCD)}$ = 70 ns 後に VG 端子電圧を“H”にして、Q1 をターンオンします。Q1 がターンオフした後、ブースト巻線 P_P に

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

流れる電流がゼロになると、Q1 のドレイン–ソース間の電圧 V_{DS} の波形は、P_P のインダクタンス L_P、Q1 の出力容量 C_{OSS}、およびこれら周辺の寄生容量で決まる周波数で自由振動します。V_{DS} のボトムポイントは、この自由振動の半周期で、次式で算出できます。

$$t_{HFP} \approx \pi\sqrt{L_P \times C_V}\ \text{(s)} \tag{7}$$

ここで、

t_{HFP}：自由振動の半周期 (s)

L_P：ブースト巻線 P_P のインダクタンス (H)

C_V：パワーMOSFET 出力容量 C_{OSS} と、これら周辺の寄生容量の合成容量 (F)

臨界モードの昇圧方式のオフデューティ D_{OFF} は、ある時点における商用入力電圧を $V_{AC}(t)$とすると、次式の関係があり、入力電圧に比例します。

$$D_{OFF}(t) = \frac{V_{AC}(t)}{V_{OUT(PFC)}} \tag{8}$$

以上のように、ZCD 端子電圧でゼロ電流を検知し、Q1 のターンオンタイミングを制御します。これにより Q1 のオフ時間が決まり、図 9-18 のようにインダクタンス電流 I_L のピーク電流 I_{LPEAK} は正弦波状になります。入力部のローパスフィルタでリップル電流を平滑すると、入力電流は商用正弦波入力電圧に相似な波形になり、高力率が実現できます。なお、インダクタンスを算出する際は、最低動作周波数を可聴周波数（20 kHz）より高い値に設定する必要があります。

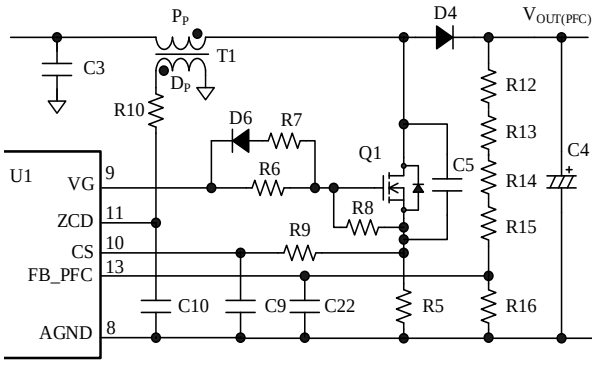


図 9-19　PFC 部回路

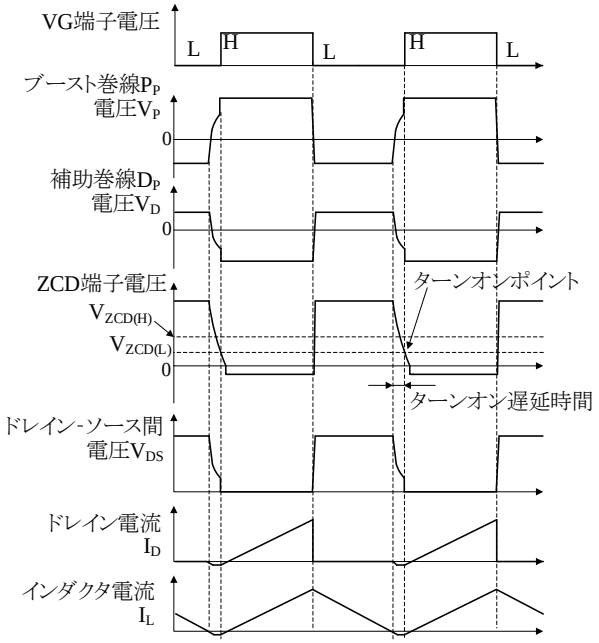


図 9-20　臨界モードの動作とボトムオン動作

電流制限用抵抗 R10 の値は ZCD 端子の入出力電流が、絶対最大定格を超えないように設定します。ZCD 端子に流れる電流は 3 mA 以下を推奨します。なお、R10 の値は式(9)、式(10)の両方を満足する値を選定します。

1) ZCD 端子の流出電流による制限（パワーMOSFET オン時）

$$R10 > \frac{\sqrt{2} \times V_{ACRMS(MAX)} \times \frac{N_D}{N_P}}{3 \times 10^{-3}(A)}\ (\Omega) \tag{9}$$

ここで、

$V_{ACRMS(MAX)}$：商用入力電圧の上限の実効値 (V)

N_P：ブースト巻線 P_P の巻数 (turns)

N_D：補助巻線 D_P の巻数 (turns)

2) ZCD 端子流入電流制限(パワーMOSFET オフ時)

$$R1 > \frac{V_{OUT} \times \frac{N_D}{N_P}}{3 \times 10^{-3}(A)}\ (\Omega) \tag{10}$$

ここで、

V_{OUT}：出力電圧 (V)

N_P：ブースト巻線 P_P の巻数 (turns)

N_D：補助巻線 D_P の巻数 (turns)

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

また、図 9-21 のように、R10 と C10 でボトムオンのタイミングを調整します。

ZCD 端子の周辺部品の定数は、最終的に、実際の動作で EMI ノイズを確認して調整してください。

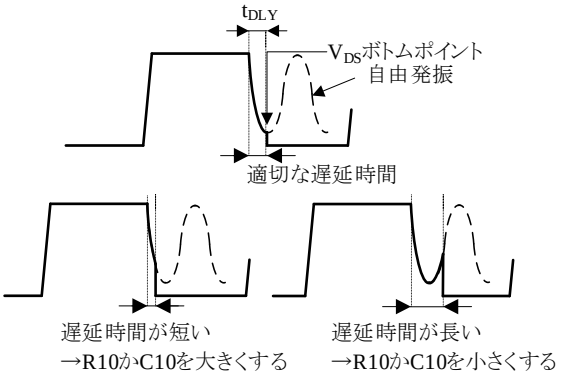


図 9-21　V_{DS} ターンオンタイミング

9.9.　PFC 部最高発振周波数制限機能

臨界モードの PFC の場合、商用正弦波入力電圧の 1 周期でパワーMOSFET（Q1）の発振周波数が変化します。発振周波数は、正弦波の波高部が最も低く、ボトム付近ほど高くなります。また、負荷が低下すると全体的に周波数が上昇します。

スイッチング損失を抑制するため、本 IC は最高発振周波数制限機能を搭載し、発振周波数を f_{MAX} = 300 kHz で制限します。

9.10.　PFC 部最大オン時間

本 IC は、過渡状態時のトランスの音なりを抑制するため、PFC 部のパワーMOSFET（Q1）の最大オン時間を t_{MAX_PFC} = 18.3 μs に制限します。

9.11.　PFC 部過電流保護機能

図 9-22 に CS 端子の周辺回路を示します。本 IC は、PFC 部過電流検出機能（PFC_OCP：PFC Overcurrent Protection）を搭載しています。過電流を検出するため、パワーMOSFET（Q1）がオンしているときのインダクタ電流 $I_{L(ON)}$を電流検出抵抗 R5 で検出し、R5 の両端電圧 V_{RCS} を CS 端子に入力します。CS 端子には R9、C9 の CR フィルタを接続します。

本 IC は 2 段階の過電流保護があります。

9.11.1. PFC 部過電流保護機能 1

R5 の両端電圧 V_{RCS} が $V_{CS(OC1)}$ = 0.50 V 以上になると、パルス・バイ・パルスで VG 端子の出力をオフにします。これにより、Q1 のドレイン電流の増加を抑制します。

9.11.2. PFC 部過電流保護機能 2

PFC 部過電流保護機能 2（PFC_OCP2）は、ブーストダイオード D4 が短絡するなど、瞬間的に Q1 に大電流が流れた際に動作します。瞬間的な大電流により CS 端子電圧が $V_{CS(OC2)}$ = 1.50 V 以上になると PFC_OCP2 が動作し、VG 端子の出力をラッチ状態で“L”にします。PFC 部の出力電圧が低下し、FB_PFC 端子電圧が $V_{LLC(OFF)}$以下になると、LLC 部の動作も停止します。ラッチ動作の解除は VCC 端子電圧を $V_{CC(OFF)}$以下にすることで行います。

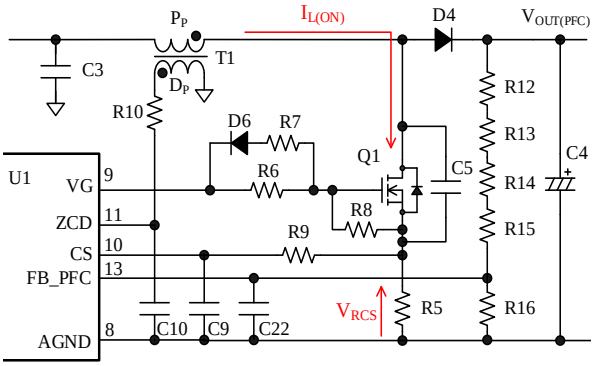


図 9-22　CS 端子周辺回路

9.12.　PFC 部出力過電圧保護機能

PFC 部の出力過電圧は、FB_PFC 端子または OVP 端子で保護できます。FB_PFC 端子は自動復帰タイプ、OVP 端子はラッチタイプの過電圧保護機能です。そのため、通常は FB_PFC 端子で過電圧保護を行ってください。何らかの異常が発生し FB_PFC 端子で過電圧保護ができない場合に、OVP 端子の過電圧保護を使用するようにします。

● **FB_PFC 端子 PFC 部出力過電圧保護機能**

FB_PFC 端子電圧が V_{OVP_PFC1}（V_{REF_PFC} = 2.500 V の 1.060 倍）に達すると、FB_PFC 端子による PFC 部出力過電圧保護機能（PFC_OVP：PFC Output Overvoltage Protection）が動作し、瞬時に VG 端子出力を“L”にし、PFC 部のスイッチング動作を停止します。これにより、出力電圧の上昇を防止します。その後、FB_PFC 端子電圧が V_{OVP_PFC} − $V_{OVP_PFC(HYS)}$ まで低下すると、VG 端子はスイッチング動作を再

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

開します。

● **OVP 端子 PFC 部出力過電圧保護機能**

OVP 端子電圧が V_{OVP_PFC2} = 2.70 V 以上になると、OVP 端子による過電圧保護機能が動作し、瞬時に VG 端子出力を“L”にして、ラッチ状態で PFC 部のスイッチング動作を停止します。PFC_OVP 保護動作を解除するためには、AC 入力電圧を遮断し、VCC 端子電圧を $V_{CC(P.OFF)}$以下にする必要があります。

9.13. FB_PFC 端子低入力電圧保護機能

FB_PFC 端子低入力電圧保護機能（FB_PFC_UVP：FB_PFC Pin Undervoltage Protection）は、フィードバックループの異常で、FB_PFC 端子電圧が低下した場合に動作します。フィードバックループの異常には、R12～R15 のオープン、R16 のショート、FB_PFC 端子のオープンなどがあります。FB_PFC_UVP は、フィードバックループの異常で FB_PFC 端子電圧が V_{UVP_PFC} = 300 mV 以下になると、瞬時に VG 端子出力を“L”にし、PFC 部のスイッチング動作を停止します。これにより、$V_{OUT(PFC)}$の異常な上昇を防止します。異常要因を取り除き、FB_PFC 端子電圧が V_{UVP_PFC} + $V_{UVP(HYS)_PFC}$ まで上昇すると、VG 端子はスイッチング動作を再開します。

9.14. リスタート回路

本 IC は自励発振で動作します。VG 端子のオフ時間は、ZCD 端子でゼロ電流信号を検出して決定しています。ただし、VG 端子のオフ時間がリスタート時間 t_{RS} = 220 μs 以上継続すると、リスタート回路が動作し、VG 端子をターンオンします。このときの VG 端子のオン時間は $t_{ON(RS)}$ = 1.70 μs です。起動時や軽負荷時は、発振停止と再起動を繰り返す間欠発振動作になります。間欠発振動作時は、スイッチング動作を安定させるためにリスタート回路が動作します。

9.15. LLC 部定電圧制御

図 9-23 に FB_LLC 端子と RC 端子の周辺回路を示します。

FB_LLC 端子には、コンデンサ C15 とフォトカプラ PC1 を接続します。フォトカプラは、負荷に応じて FB_LLC 端子からフィードバック電流を引き抜き、FB_LLC 端子電圧 V_{FB_LLC} を調整します。

軽負荷時は FB_LLC 端子からの引き抜き電流が増加し、V_{FB_LLC} が低下するため、オン時間が減少して、動作周波数が高くなります。重負荷時はこの逆の動作になり、V_{FB_LLC} が上昇するため、オン時間が増加して、動作周波数が低くなります。このように発振周波数を制御して、出力電圧を一定にします（制御はインダクタンス領域）。

重負荷時、V_{FB_LLC} の上昇に伴い V_{RC} のピーク値が V_{RC_OCP1} = 1.87 V 以上になると、LLC 部過電流保護機能（LLC_OCP）が動作し、パルス・バイ・パルスで電流を制限します。LLC_OCP の詳細は、9.21 項を参照してください。

C15 は 1 nF～10 nF 程度です。C15 の値は最大出力電力に影響するため注意が必要です。

2 次側エラーアンプ回路部の定数は、フォトカプラ PC1 のコレクタ電流が FB_LLC 端子の最大ソース電流の絶対値 195 μA より多く流せるように設定します。特に、フォトカプラの電流伝達率 CTR は経年変化を考慮した設計が必要です。R18 と C14 は位相補償用の抵抗とコンデンサです。R18 は 2.2 kΩ、C14 は 0.1 μF 程度です。最終的に実機で動作を確認して、定数を調整してください。

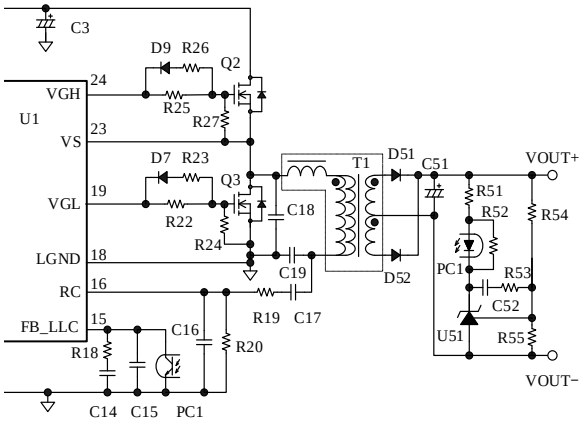


図 9-23　FB_LLC 端子、RC 端子周辺回路

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

9.16. スタンバイ機能

本 IC は、軽負荷時の効率を改善するため、スタンバイ機能を搭載しています。外部信号により、スタンバイ動作に切り換えることができます。LLC 部と PFC 部のスタンバイ動作は連動しています。詳細は、9.16.2 項を参照してください。

9.16.1. 外部信号による切り換え

外部信号でスタンバイ動作と定常動作を切り換える場合は、図 9-24 のように MC 端子にオン／オフ回路を接続します。

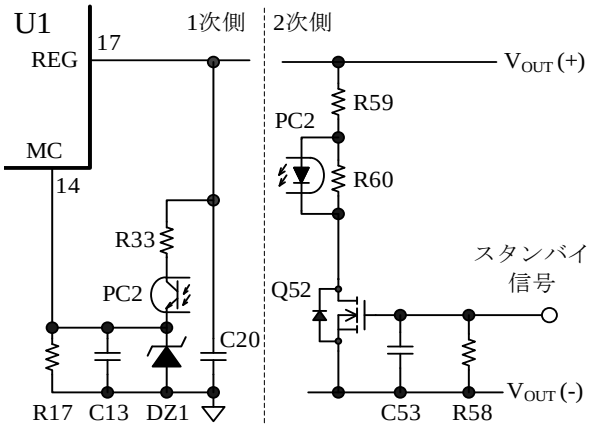


図 9-24　スタンバイ信号入力回路

2 次側のスタンバイ信号入力端子を“L”にすると、フォトカプラ PC2 がオフします。これにより、MC 端子電圧が $V_{MC(ON)}$ = 0.20 V (min.)以下になると、スタンバイ動作に移行します。

スタンバイ信号入力端子を“H”にして、MC 端子の電圧が $V_{MC(OFF)}$ = 1.20 V (max.)より高くなるか、FB_LLC 端子の電圧が 1.50 V (typ.)（内部基準電圧）より高くなると、スタンバイ動作から定常動作に復帰します。

9.16.2. スタンバイ動作

図 9-25 にスタンバイ動作時の波形を示します。MC 端子の電圧が低下して、MC 端子スタンバイ移行電圧 $V_{MC(ON)}$ = 0.55 V 以下になると、スタンバイ動作に移行します。スタンバイ動作中は、スイッチング損失を低減するために、PFC 部、LLC 部ともにバースト発振動作を行います。

LLC 部は、バースト発振動作時に FB_LLC 端子の電圧変化を検出し、ドレイン電流の急峻な変化を抑制するように、VGH 端子と VGL 端子のスイッチング周波数を制御します（ソフトオン／ソフトオフ機能）。これにより、トランスの音鳴りを抑制できます。LLC 部のバースト発振周期は IC 内部で設定されています。LLC 部がバースト発振動作に切り換わると、IC は FB_PFC 端子電圧の値に基づいて、PFC 部の出力電圧を制御します。FB_PFC 端子の電圧が基準電圧 V_{REF_PFC} の約 90%になると、PFC 部（VG 端子）の発振を停止します。さらに FB_PFC 端子の電圧が低下し、V_{REF_PFC} の約 89%になると、VG 端子の発振を再開します。このように、PFC 部は FB_PFC 端子の電圧を検出してバースト発振動作をします。

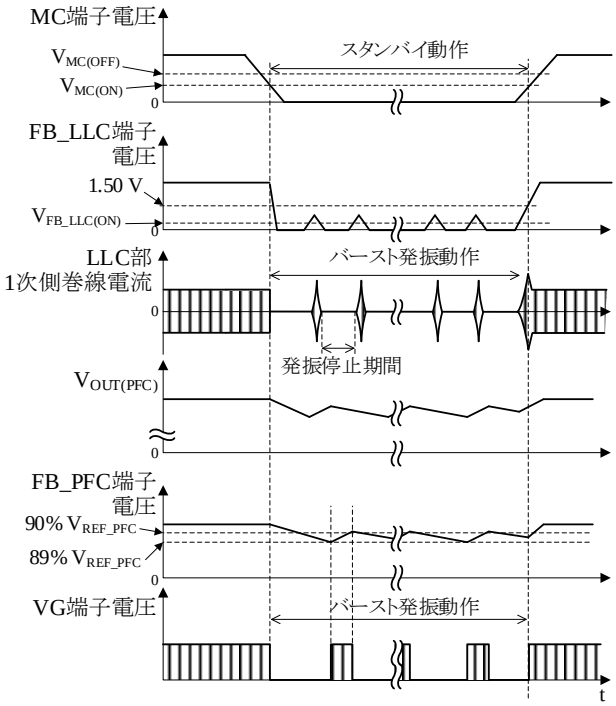


図 9-25　スタンバイ動作波形

本 IC は、バースト発振動作時の発振停止期間にも LLC 部の保護機能が動作します。

電流共振外れや過電流が発生している状態でバースト発振動作が停止し、発振停止期間が 80 ms (min.)以上経過すると、リスタート回路（9.14 項参照）が動作します。スタンバイ動作中にリスタート回路が動作する場合は、電流共振外れや、スイッチングノイズにより過電流保護機能が動作していないかなどの確認をしてください。

9.17. LLC 部デッドタイム自動調整機能

デッドタイムは、LLC 部のハイサイドとローサ

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

イドのパワーMOSFET（Q2、Q3）が両方ともオフする期間です。デッドタイム期間が電圧共振期間より短い場合は、図 9-26 のように電圧共振期間の途中でパワーMOSFET がターンオン、ターンオフします。この場合、パワーMOSFET はハードスイッチング動作になり、スイッチング損失は増大します。デッドタイム自動調整機能は、ハードスイッチング動作にならないように、IC 内部で電圧共振期間を検出して、Q2 と Q3 の ZVS（Zero Voltage Switching）動作を自動的に制御する機能です。電圧共振期間は電源仕様（入力電圧、出力電力など）によって変化しますが、本機能により電源仕様ごとのデッドタイムの調整が不要になります。

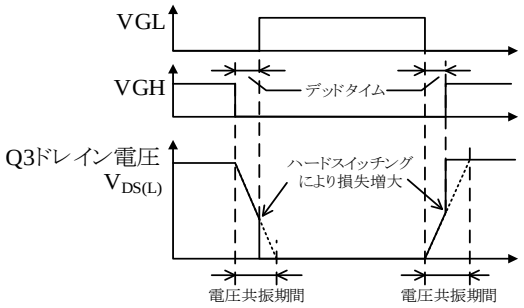


図 9-26　ZVS 不具合波形

図 9-27 のように、本 IC は、ローサイドパワーMOSFET のドレイン–ソース間電圧 $V_{DS(L)}$ 波形の立ち上がりと立ち下がり時の dv/dt を VS 端子で検出して、この期間をデッドタイム期間に設定します。これにより、ハイサイドとローサイドパワーMOSFET の ZVS 動作を自動的に制御します。なお、デッドタイム自動調整機能は $t_{d(MIN)}$ = 0.24 µs ～ $t_{d(MAX)}$ = 1.65 µs の間で動作します。

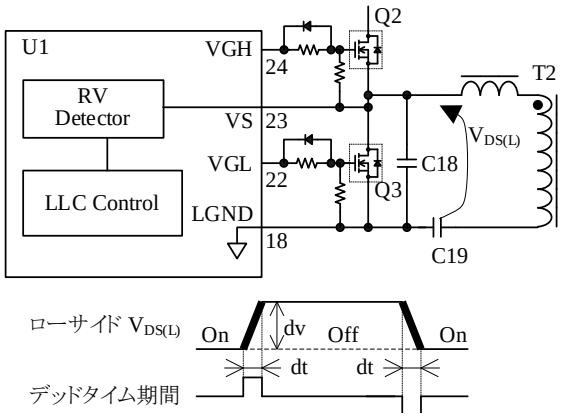


図 9-27　VS 端子とデッドタイム期間

ここで、入力電圧上限で負荷下限の条件と、入力電圧下限で負荷上限の条件において、ZCS（Zero Current Switching）動作をしているか（図 9-28 のドレイン電流がボディーダイオードに流れている期間が 600 ns 程度確保されているか）、実働で確認する必要があります。

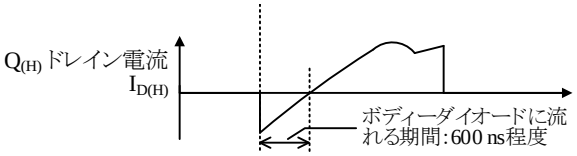


図 9-28　ZCS 確認箇所

9.18. LLC 部電流共振外れ検出機能

電流共振電源は、図 9-29 のインダクタンス領域で動作させます。キャパシタンス領域ではハードスイッチング動作（電流共振外れ）になります。この電流共振外れを防止するため、一般的に電源仕様ごとに最小発振周波数を f_0 より高く設定する必要があります。本 IC は、電流共振外れ検出機能を搭載しており、常に f_0 より高い周波数を維持するように動作します。そのため最小発振周波数の設定が不要で、設計の自由度が向上します。また、共振周波数 f_0 付近まで使用できるので、トランスの利用効率が向上します。

本 IC は、共振電流を RC 端子で検出して、電流共振外れを判定します。電流共振外れの状態を 100 ms 継続すると、LLC 部のスイッチング動作を停止します。LLC_OLP 動作期間は、VCC_UVLO による間欠発振動作を繰り返します（9.21 項参照）。電流共振外れの検出電圧は、図 9-31、図 9-32 のように、負荷に応じて V_{RC1} = ±0.10 V か V_{RC2} = ±0.30 V に切り換わります。電流共振外れ検出機能は以下のように動作します。以下では、ハイサイドパワーMOSFET を $Q_{(H)}$、ローサイドパワーMOSFET を $Q_{(L)}$ とします。

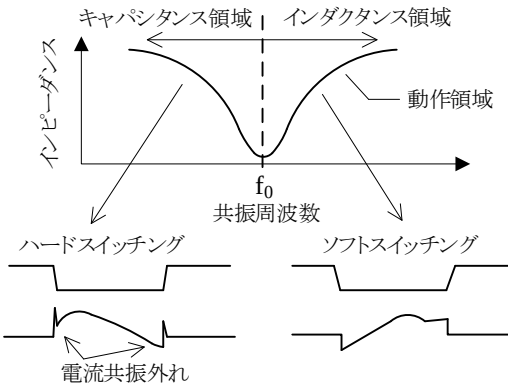


図 9-29　電流共振電源の動作領域

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

● **ハイサイドパワーMOSFET がオンしている期間**

図 9-30 にインダクタンス領域の RC 端子の波形、図 9-31、図 9-32 にキャパシタンス領域の RC 端子の波形を示します。インダクタンス領域で動作している場合、$Q_{(H)}$のオン期間に RC 端子電圧がプラス側の検出電圧を下方向に横切ることはありません（図 9-30 参照）。これに対し、キャパシタンス領域の場合は、プラス側の検出電圧を下方向に横切るポイントがあります。これを検出して電流共振外れと判断し、$Q_{(H)}$ をオフ、$Q_{(L)}$ をオンにします（図 9-31、図 9-32 参照）。

● **ローサイドパワーMOSFET がオンしている期間**

$Q_{(H)}$の動作とは逆に、キャパシタンス領域の場合は、$Q_{(L)}$のオン期間にマイナス側の検出電圧を上方向に横切るポイントがあります。これを検出して電流共振外れと判断し、$Q_{(L)}$をオフ、$Q_{(H)}$をオンにします。以上のように、電流共振外れをパルス・バイ・パルス方式で検出します。

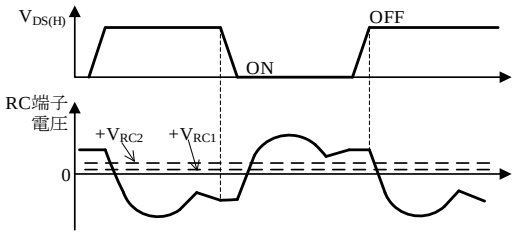


図 9-30　インダクタンス領域の RC 端子の波形

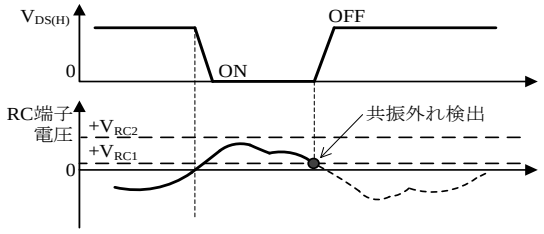


図 9-31　ハイサイド側電流共振外れ検出（軽負荷時）

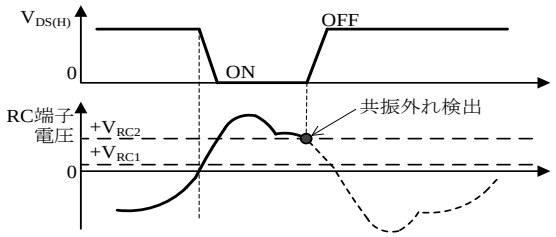


図 9-32　ハイサイド側電流共振外れ検出
（重負荷時）

C17、R20 は、RC 端子電圧の絶対値が $|V_{RC2}| = 0.30$ V より高く、かつ絶対最大定格の±5.5 V 以内になるように調整します。このとき、9.21 項の LLC 部過電流保護機能の調整に加え、電流共振外れが生じやすい、起動、電源入力電圧オフ、出力短絡、ダイナミック負荷急変などの動作の確認が必要です。

9.19. LLC 部リセット検出機能

電源起動時など、LLC 部の出力のフィードバック制御が開始していない場合は、共振動作に使う循環電流の平衡状態が乱れることがあります。LLC 部のパワーMOSFET のオン期間中に循環電流がリセットできず、マイナス電流が流れた状態でパワーMOSFET が切り換わると、ハードスイッチングになり、パワーMOSFET のストレスが増加します。ここで循環電流とは、共振動作を行うために 1 次側だけに流れる電流です。リセット検出機能はこのハードスイッチングを防止します。

図 9-34 に、正常共振動作とリセット不具合発生時のハイサイド側の動作とドレイン電流波形例を示します。リセット検出機能は、ハードスイッチングを防止するために、RC 端子電圧の絶対値が $|V_{RC1}| = 0.10$ V 以上になるまで、オン期間を延長します。なお、オン期間が最大リセット時間 $t_{RST(MAX)} = 5$ μs より長くなった場合は、その時点でオン期間を終了し、ターンオフします（図 9-33 参照）。

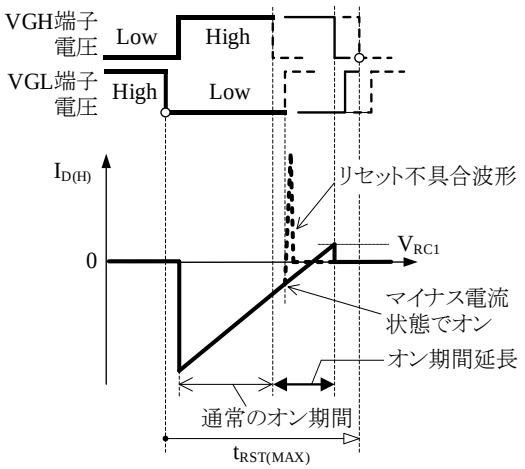


図 9-33　ハイサイドオン期間のリセット検出機能動作例

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

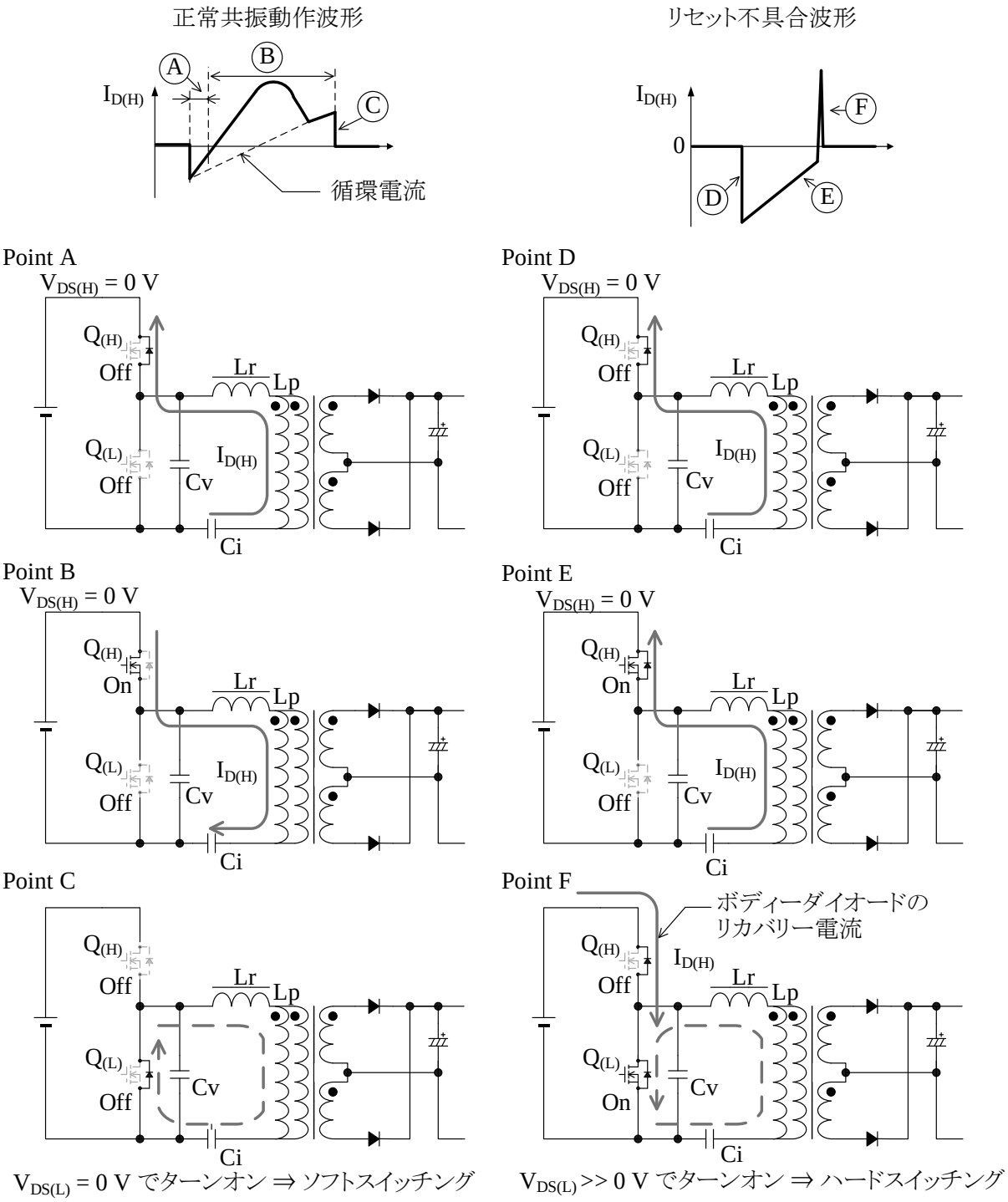


図 9-34　正常共振動作とリセット不具合のハイサイド側の動作とドレイン電流波形例

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

9.20. LLC 部ハイサイドドライバ低入力電圧保護機能

VB 端子と VS 端子間には、ハイサイドドライバ低入力電圧保護機能（VB_UVLO : VB Pin Undervoltage Lockout）が搭載されています。VB–VS 端子間の電圧が $V_{BUV(ON)}$ = 6.8 V 以上になると、内部のハイサイドドライバ回路が動作を開始し、$V_{BUV(OFF)}$ = 6.4 V 以下になると動作を停止します。この VB_UVLO により、ブートストラップ回路用コンデンサ C21 がショートした場合の保護が可能です。

9.21. LLC 部過電流保護機能、LLC 部過負荷保護機能

LLC 部過電流保護機能（LLC_OCP : LLC Overcurrent Protection）は、パワーMOSFET のピークドレイン電流をパルス・バイ・パルス方式で検出して、出力電力を制限します。図 9-35 の分流コンデンサ C17 は、電流共振コンデンサ C19 に比べ小さく設定できます。これにより、1 次側巻線から分流される検出電流は小さくなり、検出抵抗 R20 の損失を低減できるため、R20 には小型の抵抗が使用できます。電流共振電源は、入出力条件などから正確な共振電流の大きさを求める簡便な方法がありません。そのため、R20 や C17 は、実機の動作状態で調整する必要があります。

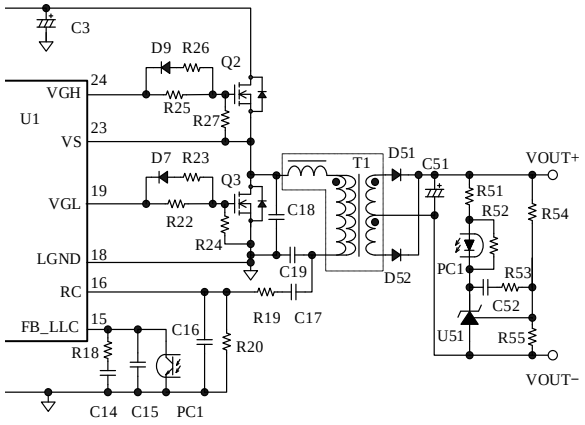


図 9-35　RC 端子周辺回路

R20、C17、R19、C16 の調整方法、定数の目安は以下のとおりです。

● **R20、C17**

R20 は 100 Ω 程度、C17 は 0.1 nF～0.33 nF 程度（C19 の 1%程度）です。R20 の検出電圧は、9.18 項の電流共振外れの検出にも使用します。そのため、過電流検出と電流共振外れ検出双方で R20、C17 を調整します。

● **R19、C16**

高周波ノイズ除去用です。R19 は 100 Ω～470 Ω、C16 は 0.1 nF～1 nF 程度です。

過電流保護動作は、以下の 2 段階があります。

9.21.1. LLC 部過電流保護機能 1

LLC 部のパワーMOSFET に流れる電流が増加し、RC 端子電圧の絶対値が$|V_{RC_OCP1}|$ = 1.87 V より高くなると、LLC 部過電流保護機能 1（LLC_OCP1）が動作し、スイッチング周波数を上昇させて出力電力を抑えます。

9.21.2. LLC 部過電流保護機能 2

出力短絡時など、LLC 部のパワーMOSFET に急峻な過大電流が流れた場合の保護として動作します。RC 端子電圧の絶対値が$|V_{RC_OCP2}|$ = 2.76 V より高くなると、LLC 部過電流保護機能 2（LLC_OCP2）が動作し、即座にパワーMOSFET のオン／オフを反転します。これと同時にスイッチング周波数を急速に上昇させて出力電力を抑えます。出力電力を抑え、RC 端子電圧が$|V_{RC_OCP2}|$ 以下になると、LLC_OCP1 の動作になります。

9.21.3. LLC 部過負荷保護機能

LLC_OCP1 の状態が LLC 部 OLP 遅延時間 $t_{DLY(OLP)}$ = 100 ms 継続すると、LLC 部過負荷保護機能（LLC_OLP : LLC Overload Protection）が動作します。LLC_OLP が動作すると LLC 部（VGH 端子、VGL 端子）のスイッチング動作を停止します。スイッチング動作が停止すると、VCC 端子電圧が低下します。VCC 端子電圧が $V_{CC(P.OFF)}$以下になると、保護を解除し、IC が再度起動します。その後、VCC 端子電圧は起動電流により上昇し、$V_{CC(ON)}$に達すると、制御回路が再び動作します。このように、LLC_OLP 動作時は、VCC_UVLO による間欠発振動作を繰り返します。過負荷の要因を取り除くと、通常の動作に自動復帰します。

9.22. 過熱保護機能

IC の制御回路部の温度が、$T_{J(TSD)}$ = 140 °C (min.) に達すると、過熱保護機能（TSD : Thermal Shutdown）が動作し、PFC 部（VGP 端子）と LLC

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

部（VGH 端子、VGL 端子）のスイッチング動作を停止します。過熱保護動作を解除するためには、AC 入力電圧を遮断し、VCC 端子電圧を $V_{CC(P.OFF)}$以下にする必要があります。

10. 設計上の注意点

10.1. PFC 部インダクタの設計

インダクタ T1 は、ブースト巻線 P_P と補助巻線 D_P で構成します。ブースト巻線 P_P は昇圧、補助巻線 D_P はオフタイミングの検出を行います。

以下に、ブースト巻線 P_P と補助巻線 D_P の計算方法を示します。以下に示す計算式は近似式です。計算したインダクタンス値で実機の動作を確認すると、ピーク電流や周波数などの値が、計算時の設定値と異なる場合があります。そのため、最終的に電源の仕様に合わせてインダクタンス値の調整が必要です。また、インダクタは、銅損・鉄損による温度上昇や磁気飽和に対し、適宜マージンを設けます。

10.1.1. ブースト巻線 P_P

CRM モードのインダクタの L_P 値は、以下のように求めます。

1) 出力電圧 $V_{OUT(PFC)}$の設定

昇圧コンバータの出力電圧 $V_{OUT(PFC)}$は、次式に示すように商用入力電圧上限における波高値より高く設定します。

$$V_{OUT(PFC)} \geq \sqrt{2} \times V_{ACRMS(MAX)} \times V_{DIF} \ \text{(V)} \qquad (11)$$

ここで、
$V_{ACRMS(MAX)}$：商用入力電圧の上限の実効値 (V)
V_{DIF}：昇圧電圧（10 V 程度） (V)

2) 動作周波数 $f_{SW(SET)}$の設定

商用入力電圧の波高値部分における最低動作周波数 $f_{SW(SET)}$を決めます。
動作周波数は、商用入力電圧の波高値部分が最も低く、入力電圧が低くなるにしたがい高くなります。波高値部分の動作周波数 $f_{SW(SET)}$は、可聴周波数（20 kHz）より高く設定します。

3) インダクタンス値 L_P の算出

次式の V_{ACRMS} に商用入力電圧の上限と下限を代入し、L_P を求め、値の小さい方を用います。

$$L_P = \frac{\eta \times V_{ACRMS}{}^2 \times \left(V_{OUT} - \sqrt{2} \times V_{ACRMS}\right)}{2 \times P_{OUT(PFC)} \times f_{SW(SET)} \times V_{OUT(PFC)}} \ \text{(H)} \qquad (12)$$

ここで、
V_{ACRMS}：商用入力電圧の上限／下限の実効値 (V)
$P_{OUT(PFC)}$：出力電力 (W)
$f_{SW(SET)}$：商用入力電圧の波高値部分における最低動作周波数(kHz)
η：PFC の効率（η はパワーMOSFET のオン抵抗 $R_{DS(ON)}$と整流ダイオードの順方向降下電圧 V_F に依存し、通常 0.90～0.97 の範囲です。）

4) インダクタピーク電流 I_{LP} の算出

商用入力電圧下限値の波高値部分のピーク電流 I_{LP} は、次式で求めます。

$$I_{LP} = \frac{2\sqrt{2} \times P_{OUT(PFC)}}{\eta \times V_{ACRMS(MIN)}} \ \text{(A)} \qquad (13)$$

ここで、
$P_{OUT(PFC)}$：出力電力(W)
$V_{ACRMS(MIN)}$：商用入力電圧の下限の実効値(V)
η：PFC の効率（通常 0.90～0.97 の範囲）

5) 最大オン時間 t_{MAX_PFC}

式(12)と式(13)より、商用入力電圧下限値の波高値部分の最大オン時間 $t_{ON(MAX)_OP}$ は次式で計算できます。

$$t_{ON(MAX)_OP} = \frac{L_P \times I_P}{\sqrt{2} \times V_{ACRMS(MIN)}} \ \text{(s)} \qquad (14)$$

ここで、
L_P：インダクタンス値（式(12)より算出）
$V_{ACRMS(MIN)}$：商用入力電圧の下限の実効値 (V)

最大オン時間は、IC 内部で t_{MAX_PFC} = 18.3 μs に固定されています。$t_{ON(MAX)_OP}$ が t_{MAX_PFC} よりも小さくなるように、インダクタンス値を設定してください。

10.1.2. 補助巻線 D_P

ブースト巻線 P_P と補助巻線 D_P の極性は、図 10-1 に示すとおりです。ブースト巻線 P_P と補助巻線 D_P の巻数比は、式(15)のように、パワーMOSFET がターンオフ後、ZCD 端子電圧が $V_{ZCD(H)}$ = 1.40 V に対して十分高くなるように設定します。

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

$$\frac{N_D}{N_P} > \frac{V_{ZCD(H)}}{V_{OUT(PFC)} - \sqrt{2} \times V_{ACRMS(MAX)}} \quad (15)$$

ここで
N_P：ブースト巻線 P_P の巻数 (turns)
N_D：補助巻線 D_P の巻数 (turns)
V_{OUT}：出力電圧 (V)
$V_{ACRMS(MAX)}$：商用入力電圧の上限の実効値 (V)

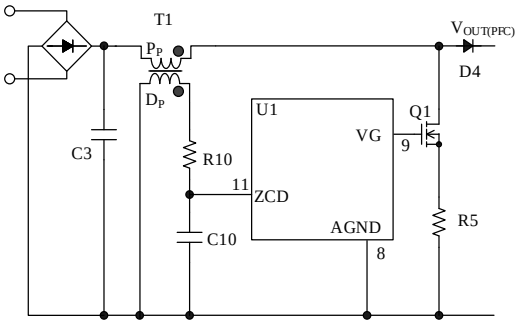


図 10-1　ZCD 端子周辺回路

10.2. 外付け部品

10.2.1. 共振トランス

電流共振電源は、トランスのリーケージインダクタンスを用いるため、トランスの巻線は線経の細いリッツ線を束にしたものを使用し、渦電流、表皮効果の影響を小さくします。

10.2.2. PFC 部のインダクタ

インダクタは、銅損・鉄損による温度上昇や磁気飽和に対し、適宜マージンを設けます。

10.2.3. パワーMOSFET

PFC 部の出力電圧 $V_{OUT(PFC)}$に対して、十分なマージンを確保できる耐圧 V_{DSS} をもつパワーMOSFET を選定します。また、放熱器のサイズは、パワーMOSFET のスイッチング損失とオン抵抗による損失を考慮して選定します。

10.2.4. PFC ブーストダイオード（D4）

PFC 部の出力電圧 $V_{OUT(PFC)}$に対して、十分なマージンを確保できるピーク逆電圧 V_{RSM} をもつダイオードを選定します。また、ノイズや損失を低減するため、逆回復時間 t_{rr} の短い高速ダイオードを推奨します。放熱器のサイズは、順方向降下電圧 V_F による損失と、リカバリー電流による損失を考慮して選定します。

10.2.5. 出力コンデンサ（C4、C51）

出力の平滑用の電解コンデンサは、リップル電流、電圧、温度上昇に対し、適宜設計マージンを設けます。また、リップル電圧を低減するため、スイッチング電源設計に適した、低 ESR タイプを使用してください。

10.2.6. 電流共振用コンデンサ（C19）

C19 には、大きな共振電流が流れます。C19 は、損失が少ない大電流用のポリプロピレンフィルムコンデンサなどを使用します。また、C19 には高周波数の電流が流れるため、コンデンサの周波数特性を考慮する必要があります。

10.3. パターンレイアウト

スイッチング電源は、高周波かつ高電圧の電流経路が存在し、基板のパターンや部品の実装条件が、動作、ノイズ、損失などに大きく影響します。そのため、図 10-2 に示す高周波電流ループは極力小さくし、パターンを太くして、ラインインピーダンスを低くする必要があります。また、グランドラインは輻射ノイズに大きな影響を与えるため、極力太く、短く配線します。

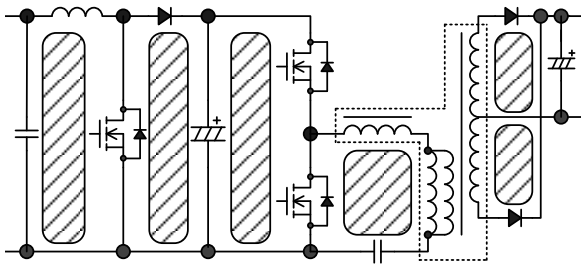


図 10-2　高周波電流ループ

図 10-3 に IC 周辺回路の接続例を示します。さらに、以下に示す内容を配慮したパターン設計が必要です。

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

1) 主回路パターン

PFC 回路、LLC 回路のスイッチング電流が流れる主回路パターンは、極力太く、電流ループを小さく配線します。

2) 制御系グランドパターン

AGND 端子と LGND 端子は基板上で最短で接続します。

制御系のグランドパターンに主回路の大電流が流れると、制御グランドの電位が変動し、IC の誤動作の原因になります。グランドパターンは、できるだけ太く、短く配線してください。

IC の制御系のグランドは、主回路パターンの配線と分けて、AGND 端子のできるだけ近くに 1 点で配線します。

制御系のグランドと VCC 端子のコンデンサのグランド側は AGND 端子の根元に接続します。また、専用パターンで AGND 端子を PFC 回路の出力コンデンサ C4 の根元に 1 点で接続します。

3) VCC 端子周り

IC の電源供給用パターンのため、極力電流ループを小さく配線します。IC と電解コンデンサ C8 の距離が離れている場合は、VCC 端子と AGND 端子の近くにフィルムコンデンサ C7（0.1 μF～1.0 μF 程度）などを追加します。

4) VB 端子周り

REG 端子と VB 端子間に接続するブートストラップ回路の部品（D7、R21）は、IC のできるだけ近くに配置し、極力電流ループを小さく配線します。VB 端子と VS 端子間のコンデンサ C21 も、短く配線してください。

5) IC の制御信号系部品

IC の制御信号系部品は、IC の近くに配置し、できるだけ短いパターンで IC の端子に接続します。

6) 2 次側整流平滑回路

スイッチング電流が流れる 2 次側主回路パターンです。このパターンは極力太く、電流ループを小さく配線します。

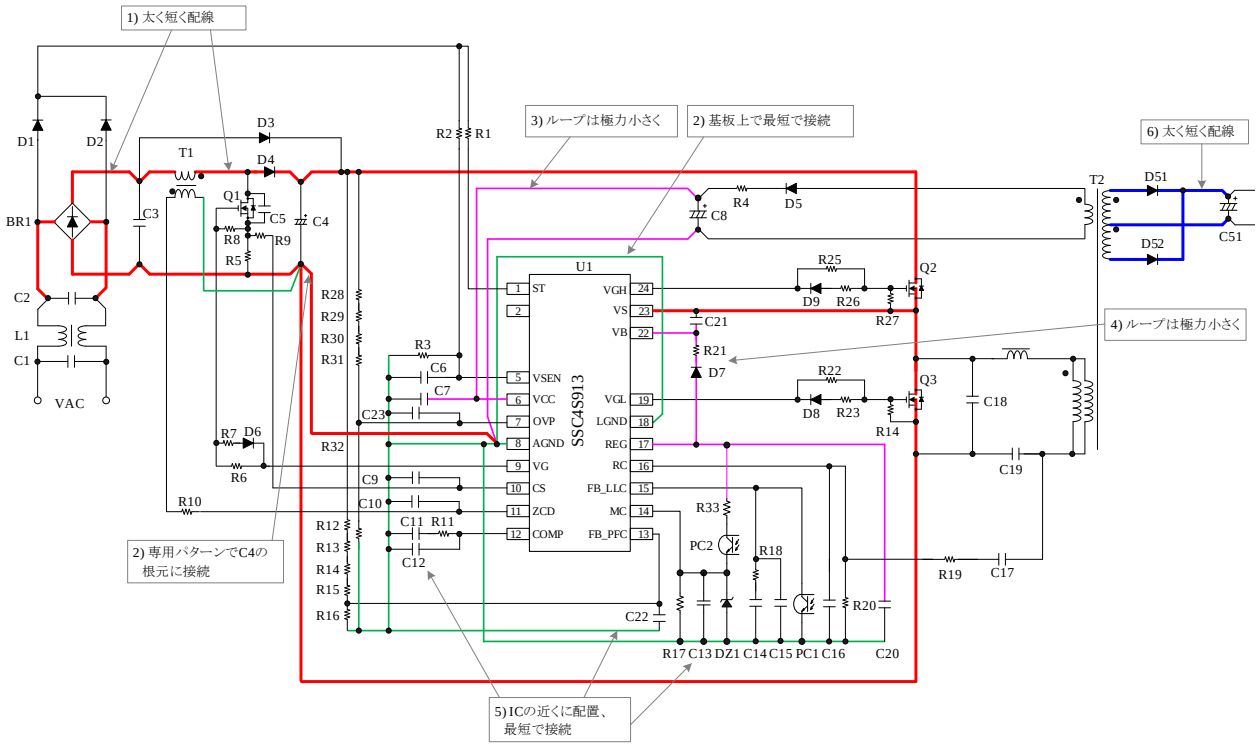


図 10-3　IC 周辺回路の接続例

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021

注意書き

- 本書に記載している製品（以下、「本製品」という）のデータ、図、表、およびその他の情報（以下、「本情報」という）は、本書発行時点のものです。本情報は、改良などで予告なく変更することがあります。本製品を使用する際は、本情報が最新であることを弊社販売窓口に確認してください。
- 本製品は、一般電子機器（家電製品、事務機器、通信端末機器、計測機器など）の部品に使用されることを意図しております。本製品を使用する際は、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。高い信頼性が要求される装置（輸送機器とその制御装置、交通信号制御装置、防災装置、防犯装置、各種安全装置など）に本製品を使用することを検討する際は、必ず事前にその使用の適否について弊社販売窓口へ相談いただき、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。本製品は、極めて高い信頼性が要求される機器または装置（航空宇宙機器、原子力制御、その故障や誤動作が生命や人体に危害を及ぼす恐れのある医療機器（日本における法令でクラスⅢ以上）など）（以下「特定用途」という）に使用されることは意図されておりません。特定用途に本製品を使用したことでお客様または第三者に生じた損害などに関して、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用するにあたり、本製品に他の製品や部材を組み合わせる際、あるいはこれらの製品に物理的、化学的、その他の何らかの加工や処理を施す際は、使用者の責任においてそのリスクを必ず検討したうえで行ってください。
- 弊社は、品質や信頼性の向上に努めていますが、半導体製品は、ある確率で欠陥や故障が発生することは避けられません。本製品が故障し、その結果として人身事故、火災事故、社会的な損害などが発生しないように、故障発生率やディレーティングなどを考慮したうえで、使用者の責任において、本製品が使用される装置やシステム上で、十分な安全設計および確認を含む予防措置を必ず行ってください。ディレーティングについては、納入仕様書および弊社ホームページを参照してください。
- 本製品は、耐放射線設計をしておりません。
- 本書に記載している回路定数、動作例、回路例、パターンレイアウト例、設計例、推奨例、本書に記載しているすべての情報、およびこれらに基づく評価結果などは、使用上の参考として示したものです。
- 本情報に起因する使用者または第三者のいかなる損害、および使用者または第三者の知的財産権を含む財産権とその他一切の権利の侵害問題について、弊社は一切その責任を負いません。
- 本情報を、文書による弊社の承諾なしに転記や複製をすることを禁じます。
- 本情報について、弊社の所有する知的財産権およびその他の権利の実施、使用または利用を許諾するものではありません。
- 使用者と弊社との間で別途文書による合意がない限り、弊社は、本製品の品質（商品性、および特定目的または特別環境に対する適合性を含む）ならびに本情報（正確性、有用性、および信頼性を含む）について、明示的か黙示的かを問わず、いかなる保証もしておりません。
- 本製品を使用する際は、特定の物質の含有や使用を規制する RoHS 指令など、適用される可能性がある環境関連法令を十分に調査したうえで、当該法令に適合するように使用してください。
- 本製品および本情報を、大量破壊兵器の開発を含む軍事用途やその他軍事利用の目的で使用しないでください。また、本製品および本情報を輸出または非居住者などに提供する際は、「米国輸出管理規則」や「外国為替及び外国貿易法」など、各国で適用される輸出管理法令などを遵守してください。
- 弊社物流網以外における本製品の落下などの輸送中のトラブルについて、弊社は一切その責任を負いません。
- 本書は、正確を期すために慎重に製作したものですが、本書に誤りがないことを保証するものではありません。万一、本情報の誤りや欠落に起因して、使用者に損害が生じた場合においても、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用する際の一般的な使用上の注意は弊社ホームページを、特に注意する内容は納入仕様書を参照してください。
- 本書で使用されている個々の商標、商号に関する権利は、弊社を含むその他の原権利者に帰属します。

DSGN-CJZ-16003

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2021