LLC 電流共振 オフラインスイッチング電源用 コントロール IC

SSC3S937

データシート

概要

SSC3S937 は、ハイサイドのパワーMOSFET をドライブするフローティングドライブ回路を内蔵した、LLC タイプの電流共振型（SMZ*方式）電源用制御 IC です。スタンバイ機能、デッドタイム自動調整機能や共振外れ検出機能など、充実した保護機能を搭載しています。これにより、構成部品が少なく、コストパフォーマンスの高い、小型、高効率、低ノイズの電源システムを容易に構成することができます。

*SMZ = Soft-switched Multi-resonant Zero Current switch（すべてのスイッチング領域がソフトスイッチング動作）

パッケージ

SOP18

原寸大ではありません

特長

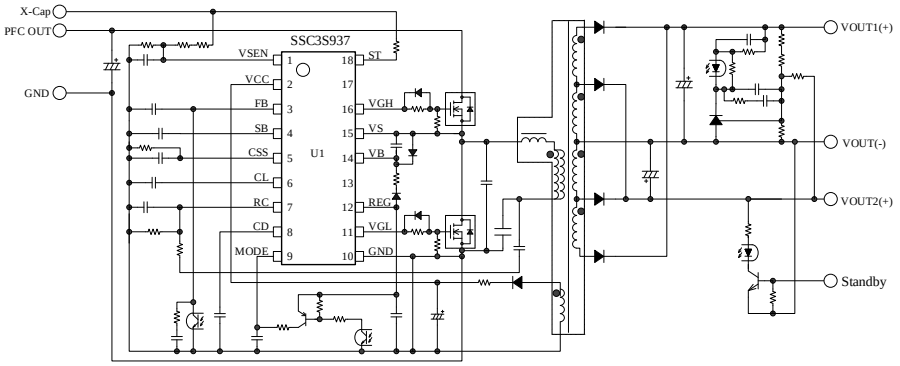
- Pb フリー（RoHS 対応）
- 外部信号によるスタンバイ切り替え機能
  - 軽負荷時出力電力：P_O = 150 mW（P_{IN} = 0.27 W）
  - スタンバイ動作：バースト発振動作
  - ソフトオン/ソフトオフ機能：トランス音鳴り抑制強化
- ソフトスタート機能
- 電流共振外れ検出機能
- リセット検出機能
- デッドタイム自動調整機能
- 起動回路内蔵
- X コンデンサ放電機能（AC 入力モード）
- 入力コンデンサ放電機能（DC 入力モード）
- 保護機能
  - 入力電圧保護機能
    入力過電圧保護機能（HVP）：自動復帰
    入力低電圧保護機能（UVP）：自動復帰
  - ハイサイドドライバ UVLO 保護：自動復帰
  - 過電流保護（OCP）：自動復帰、ピークドレイン電流検出、2 種類の保護動作
  - 過負荷保護（OLP）：自動復帰
  - VCC 端子過電圧保護（OVP）：自動復帰
  - REG 端子過電圧保護（REG_OVP）：自動復帰
  - 過熱保護（TSD）：自動復帰

アプリケーション

- デジタル家電： TV 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

などの各種電子機器用スイッチング電源

応用回路例



© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

目次

概要 ----1
目次 ----2
1. 絶対最大定格 ----3
2. 電気的特性 ----4
3. 機械的特性 ----6
4. ブロックダイアグラム ----7
5. 各端子機能 ----7
6. 応用回路例 ----8
7. 外形図 ----9
8. 捺印仕様 ----9
9. 動作説明 ---- 10
9.1 共振回路動作---- 10
9.2 起動動作---- 13
9.3 低入力時動作禁止機能（UVLO） ---- 14
9.4 バイアスアシスト機能 ---- 14
9.5 ソフトスタート機能 ---- 15
9.6 最低、最大スイッチング周波数の設定 ---- 15
9.7 ハイサイドドライバ ---- 15
9.8 定電圧制御回路動作 ---- 16
9.9 スタンバイ機能---- 16
9.9.1 外部信号によるスタンバイ動作切り換え---- 16
9.9.2 バースト発振動作---- 17
9.10 デッドタイム自動検出機能 ---- 18
9.11 電流共振外れ検出機能 ---- 18
9.12 X コンデンサ放電機能 （AC 入力モードの場合） ---- 19
9.13 入力コンデンサ放電機能 （DC 入力モードの場合） ---- 20
9.14 リセット検出機能---- 21
9.15 VCC 端子過電圧保護機能（VCC_OVP） ---- 23
9.16 REG 端子過電圧保護機能（REG_OVP） ---- 23
9.17 入力電圧保護機能---- 23
9.17.1 入力過電圧保護機能（HVP） ---- 23
9.17.2 入力低電圧保護機能（UVP） ---- 24
9.18 過電流保護機能（OCP） ---- 25
9.18.1 過電流保護機能 1（OCP1） ---- 25
9.18.2 過電流保護機能 2（OCP2） ---- 25
9.19 過負荷保護機能（OLP） ---- 26
9.20 過熱保護機能（TSD） ---- 26
10. 設計上の注意点 ---- 26
10.1 外付け部品---- 26
10.1.1 入力、出力の平滑用電解コンデンサ---- 26
10.1.2 共振トランス---- 26
10.1.3 電流検出用抵抗 R_{OCP}---- 26
10.1.4 電流共振用コンデンサ Ci ---- 26
10.1.5 ゲート端子周辺回路---- 26
10.2 パターン設計---- 27
11. パターンレイアウト例 ---- 29
注意書き ---- 31

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

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）が“＋”、流出（ソース）が“－”と規定します。
特記がない場合の条件 T_A = 25 °C です。

項目	記号	端子	定格	単位
VSEN 端子シンク電流	I_{SEN}	1 − 10	1.0	mA
制御部電源電圧	V_{CC}	2 − 10	−0.3～35	V
FB 端子電圧	V_{FB}	3 − 10	−0.3～6	V
SB 端子電圧	V_{SB}	4 − 10	−0.3～6	V
CSS 端子電圧	V_{CSS}	5 − 10	−0.3～6	V
CL 端子電圧	V_{CL}	6 − 10	−0.3～6	V
RC 端子電圧	V_{RC}	7 − 10	−6～6	V
CD 端子電圧	V_{CD}	8 − 10	−0.3～6	V
MODE 端子シンク電流	I_{MODE}	9 − 10	100	μA
VGL 端子電圧	V_{GL}	11 − 10	−0.3～V_{REG} + 0.3	V
REG 端子ソース電流	I_{REG}	12 − 10	−10.0	mA
VB−VS 端子間電圧	V_B−V_S	14 − 15	−0.3～20.0	V
VS 端子電圧	V_S	15 − 10	−1～600	V
VGH 端子電圧	V_{GH}	16 − 10	V_S − 0.3～V_B + 0.3	V
ST 端子電圧	V_{ST}	18 − 10	−0.3～600	V
動作周囲温度	T_{OP}	−	−40～85	°C
保存温度	T_{STG}	−	−40～125	°C
ジャンクション温度	T_J	−	150	°C

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

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）が“＋”、流出（ソース）が“－”と規定します。
特記がない場合の条件 T_A = 25 °C、V_{CC} = 19 V です。

項目	記号	条件	端子	Min.	Typ.	Max.	単位
起動回路、回路電流							
動作開始電源電圧	$V_{CC(ON)}$		2 − 10	15.8	17.0	18.2	V
動作停止電源電圧(1)	$V_{CC(OFF)}$		2 − 10	7.8	8.9	9.8	V
起動電流供給しきい電圧(1)	$V_{CC(BIAS)}$		2 − 10	9.0	9.8	10.6	V
動作時回路電流	$I_{CC(ON)}$		2 − 10	—	—	10.0	mA
非動作時回路電流(2)	$I_{CC(OFF)}$	V_{CC} = 11 V	2 − 10	—	0.7	1.5	mA
起動電流(2)	I_{ST}		18 − 10	3.0	6.0	9.0	mA
保護動作解除しきい電圧(1)	$V_{CC(P.OFF)}$		2 − 10	7.8	8.9	9.8	V
保護動作時回路電流	$I_{CC(P)}$	V_{CC} = 10 V	2 − 10	—	0.7	1.5	mA
発振器							
最低周波数	$f_{(MIN)}$		11 – 10 16 − 15	27.5	31.5	35.5	kHz
最高周波数	$f_{(MAX)}$		11 – 10 16 − 15	230	300	380	kHz
最小デッドタイム	$t_{d(MIN)}$		11 – 10 16 − 15	0.04	0.24	0.44	µs
最大デッドタイム	$t_{d(MAX)}$		11 – 10 16 − 15	1.20	1.65	2.20	µs
外部調整最低周波数1	$f_{(MIN)ADJ1}$	R_{CSS} = 30 kΩ	11 – 10 16 − 15	69	73	77	kHz
外部調整最低周波数2	$f_{(MIN)ADJ2}$	R_{CSS} = 77 kΩ	11 – 10 16 − 15	42.4	45.4	48.4	kHz
フィードバック制御							
FB端子発振開始しきい電圧	$V_{FB(ON)}$		3 – 10	0.15	0.30	0.45	V
FB端子発振停止しきい電圧	$V_{FB(OFF)}$		3 – 10	0.05	0.20	0.35	V
FB端子最大ソース電流	$I_{FB(MAX)}$	V_{FB} = 0 V	3 – 10	−300	−195	−100	µA
FB端子リセット電流	$I_{FB(R)}$		3 – 10	2.5	5.0	7.5	mA
ソフトスタート							
CSS端子チャージ電流	$I_{CSS(C)}$		5 – 10	−120	−105	−90	µA
CSS端子リセット電流	$I_{CSS(R)}$	V_{CC} = 11V	5 – 10	1.1	1.8	2.5	mA
ソフトスタート時最高周波数	$f_{(MAX)SS}$		11 – 10 16 − 15	400	500	600	kHz
スタンバイ							
MODE端子スタンバイ解除しきい電圧	$V_{MODE(NRM)}$		9 – 10	4.5	5.0	5.5	V
MODE端子スタンバイしきい電圧	$V_{MODE(STB)}$		9 – 10	1.35	1.50	1.65	V
MODE端子シンク電流	$I_{MODE(SNK)}$		9 – 10	3	10	17	µA
MODE端子クランプ電圧	$V_{MODE(CLAMP)}$		9 – 10	7.0	8.5	10.0	V

(1) $V_{CC(OFF)} = V_{CC(P.OFF)} < V_{CC(BIAS)}$
(2) 起動時 VCC 端子供給電流 $I_{START} = I_{ST} - I_{CC(OFF)}$

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

項目	記号	条件	端子	Min.	Typ.	Max.	単位
SB端子発振開始しきい電圧	$V_{SB(ON)}$		4 – 10	0.15	0.30	0.45	V
SB端子発振停止しきい電圧	$V_{SB(OFF)}$		4 – 10	0.05	0.20	0.35	V
SB端子スタンバイしきい電圧	$V_{SB(STB)}$		4 – 10	0.5	0.6	0.7	V
SB端子ソース電流（H）	$I_{SB(SRC)H}$		4 – 10	−19.0	−15.0	−11.0	µA
SB端子ソース電流（L）	$I_{SB(SRC)L}$		4 – 10	−7.5	−5.0	−2.5	µA
SB端子シンク電流（H）	$I_{SB(SNK)H}$		4 – 10	9.0	12.5	16.0	µA
SB端子シンク電流（L）	$I_{SB(SNK)L}$		4 – 10	2.5	5.0	7.5	µA
過負荷保護機能（OLP）							
CL 端子 OLP しきい電圧	$V_{CL(OLP)}$		6 – 10	3.9	4.2	4.5	V
CL 端子ソース電流 1	$I_{CL(SRC)1}$		6 – 10	−29	−17	−5	µA
CL 端子ソース電流 2	$I_{CL(SRC)2}$		6 – 10	−180	−135	−90	µA
CL 端子シンク電流	$I_{CL(SNK)}$		6 – 10	10	30	50	µA
入力低電圧保護機能（UVP）							
VSEN 端子しきい電圧（オン）	$V_{SEN(ON)}$		1 – 10	1.150	1.200	1.250	V
VSEN 端子しきい電圧（オフ）1	$V_{SEN(OFF)1}$		1 – 10	0.955	1.000	1.045	V
VSEN 端子しきい電圧（オフ）2	$V_{SEN(OFF)2}$		1 – 10	—	0.8	—	V
VSEN 端子 HVP しきい電圧	$V_{SEN(HVP)}$		1 – 10	5.3	5.6	5.9	V
VSEN 端子クランプ電圧	$V_{SEN(CLAMP)}$		1 – 10	10.0	—	—	V
AC 検出 VSEN 端子しきい電圧 1	$V_{SEN(AC)1}$		1 – 10	2.56	2.70	2.84	V
AC 検出 VSEN 端子しきい電圧 2	$V_{SEN(AC)2}$		1 – 10	—	2.4	—	V
CD 端子 DC モードクランプ電圧	$V_{CD(DC)}$		8 – 10	1.85	2.00	2.15	V
CD 端子しきい電圧 1	V_{CD1}		8 – 10	2.8	3.0	3.2	V
CD 端子ソース電流	$I_{CD(SRC)}$	V_{CD} = 0 V	8 – 10	–12.0	–10.2	–8.5	µA
CD 端子リセット電流	$I_{CD(R)}$	V_{CD} = 2 V	8 – 10	1.0	2.5	4.0	mA
リセット検出							
最大リセット時間	$t_{RST(MAX)}$		11 – 10 16 – 15	4	5	6	µs
ドライバ電源							
ドライバ電源電圧	V_{REG}		12 – 10	9.6	10.0	10.8	V
ハイサイドドライバ							
ハイサイドドライバ動作開始電圧	$V_{BUV(ON)}$		14 – 15	5.7	6.8	7.9	V
ハイサイドドライバ動作停止電圧	$V_{BUV(OFF)}$		14 – 15	5.5	6.4	7.3	V
ドライブ回路							
出力ソース電流 1	$I_{GL(SRC)1}$ $I_{GH(SRC)1}$	V_{REG} = 10.5 V V_B = 10.5 V V_{GL} = 0 V V_{GH} = 0 V	11 – 10 16 – 15	—	–540	—	mA
出力シンク電流 1	$I_{GL(SNK)1}$ $I_{GH(SNK)1}$	V_{REG} = 10.5 V V_B = 10.5 V V_{GL} = 10.5 V V_{GH} = 10.5 V	11 – 10 16 – 15	—	1.50	—	A

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

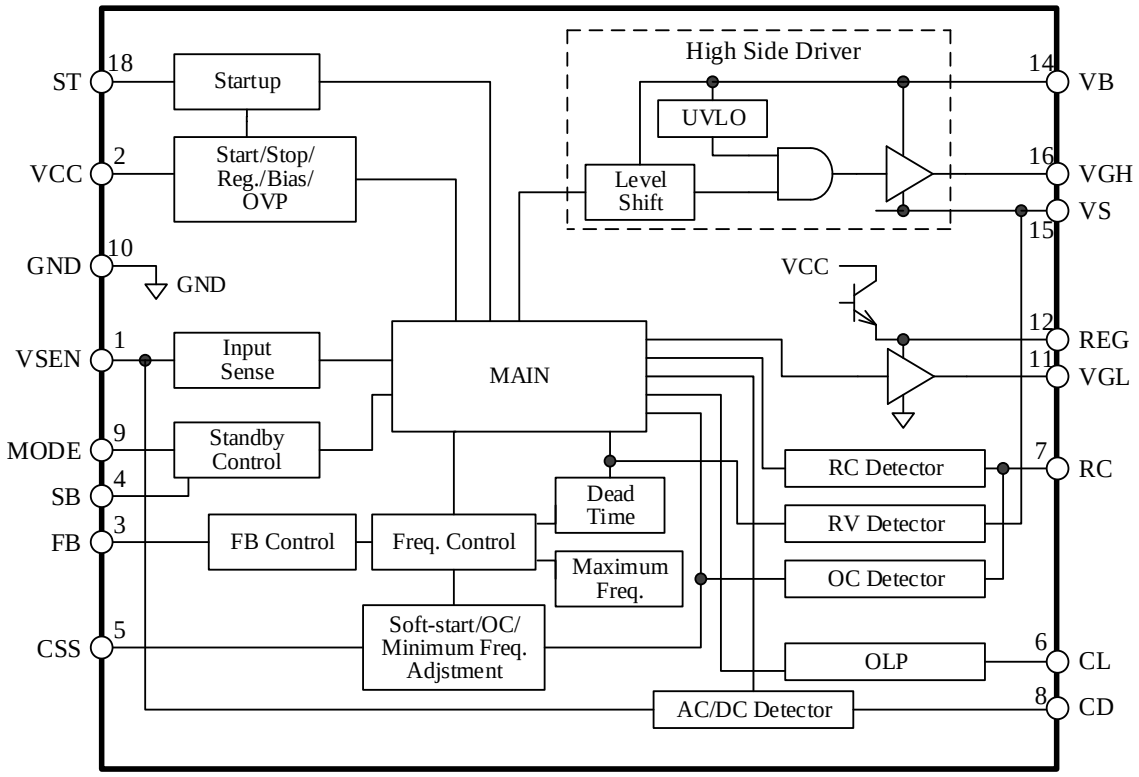
項目	記号	条件	端子	Min.	Typ.	Max.	単位
出力ソース電流 2	$I_{GL(SRC)2}$ $I_{GH(SRC)2}$	V_{REG} = 11.5 V V_B = 11.5 V V_{GL} = 10 V V_{GH} = 10 V	11 – 10 16 – 15	−140	−90	−40	mA
出力シンク電流 2	$I_{GL(SNK)2}$ $I_{GH(SNK)2}$	V_{REG} = 11.5 V V_B = 11.5 V V_{GL} = 1.5 V V_{GH} = 1.5 V	11 – 10 16 – 15	140	230	360	mA
電流共振検出、過電流保護機能（OCP）							
電流共振外れ検出電圧 1	V_{RC1}		7 – 10	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}		7 – 10	0.20	0.30	0.40	V
				−0.40	−0.30	−0.20	V
RC 端子しきい電圧（Low）	$V_{RC(L)}$		7 – 10	1.80	1.90	2.00	V
				−2.00	−1.90	−1.80	V
RC 端子しきい電圧（High speed）	$V_{RC(S)}$		7 – 10	2.62	2.80	2.98	V
				−2.98	−2.80	−2.62	V
CSS 端子シンク電流（Low）	$I_{CSS(L)}$		5 – 10	1.1	1.8	2.5	mA
CSS 端子シンク電流（High speed）	$I_{CSS(S)}$		5 – 10	13.0	20.5	28.0	mA
過電圧保護機能（OVP）							
VCC 端子 OVP しきい電圧	$V_{CC(OVP)}$		2 – 10	30.0	32.0	34.0	V
REG 端子 OVP しきい電圧	$V_{REG(OVP)}$		12 – 10	11.5	12.4	13.5	V
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}		—	—	—	95	°C/W

3. 機械的特性

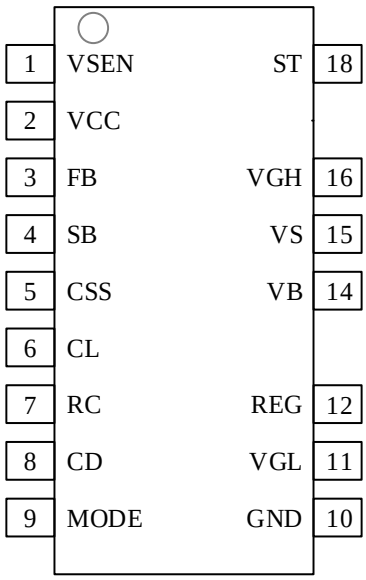
項目	測定条件	Min.	Typ.	Max.	単位	備考
質量		—	0.27	—	g	

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

4. ブロックダイアグラム



5. 各端子機能



端子番号	端子名	機能
1	VSEN	電源入力電圧保護信号入力
2	VCC	制御部電源入力、過電圧保護信号入力
3	FB	定電圧制御信号入力
4	SB	スタンバイ制御用コンデンサ接続
5	CSS	ソフトスタート用コンデンサ接続
6	CL	過負荷保護検出用コンデンサ接続
7	RC	共振電流検出信号入力、過電流保護検出信号入力
8	CD	遅延時間設定用コンデンサ接続
9	MODE	スタンバイ切り替え信号入力
10	GND	グランド
11	VGL	ローサイドゲートドライブ出力
12	REG	ゲートドライブ回路用電源出力
13	—	（抜きピン）
14	VB	ハイサイドゲートドライブ電源入力
15	VS	ハイサイドドライバ・フローティンググランド
16	VGH	ハイサイドゲートドライブ出力
17	—	（抜きピン）
18	ST	起動電流入力

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

6. 応用回路例

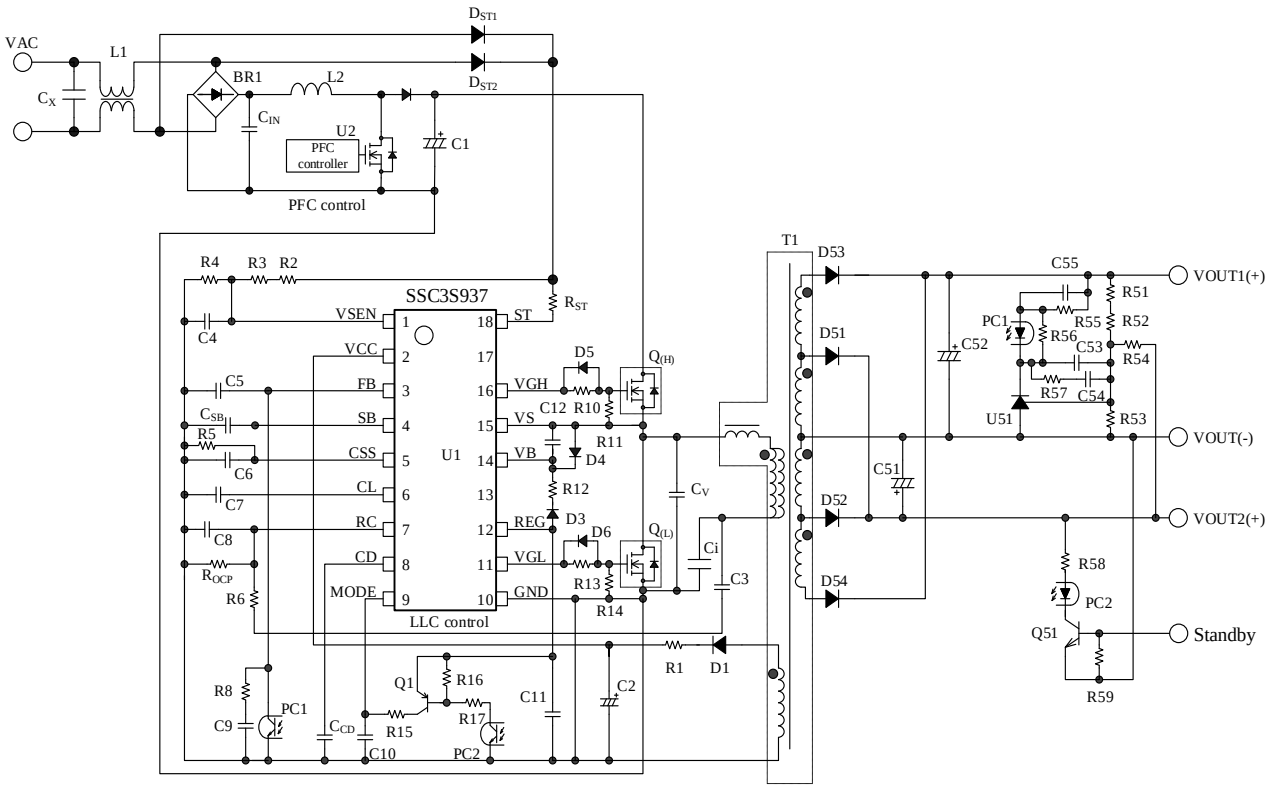


図 6-1 応用回路例（AC 入力モード）

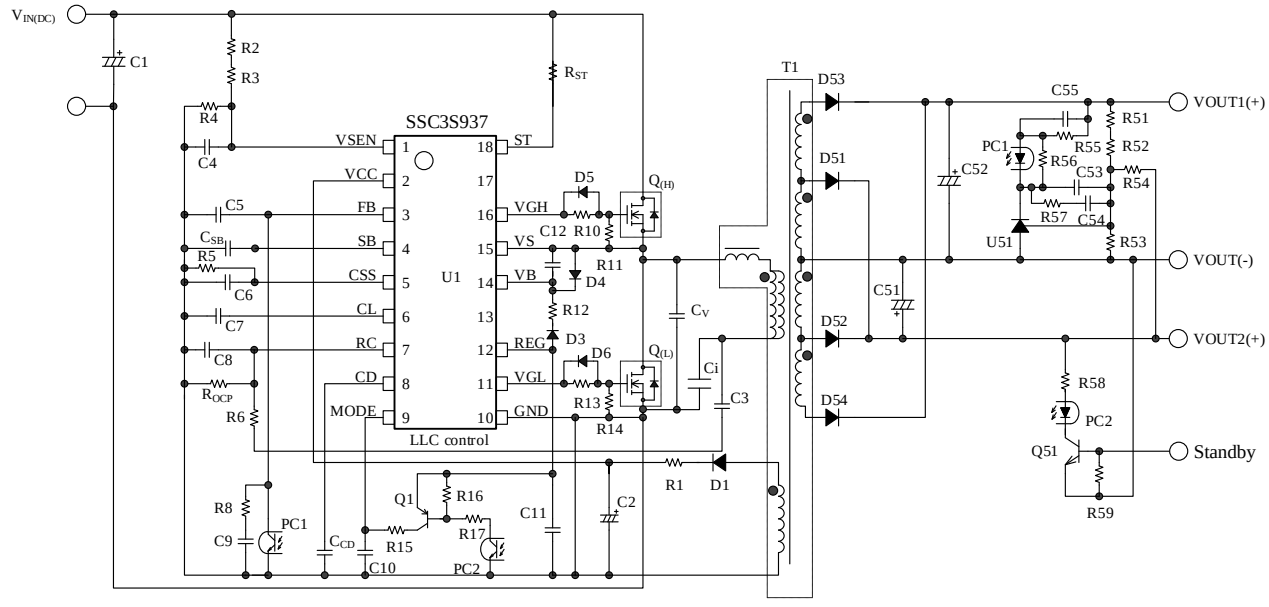
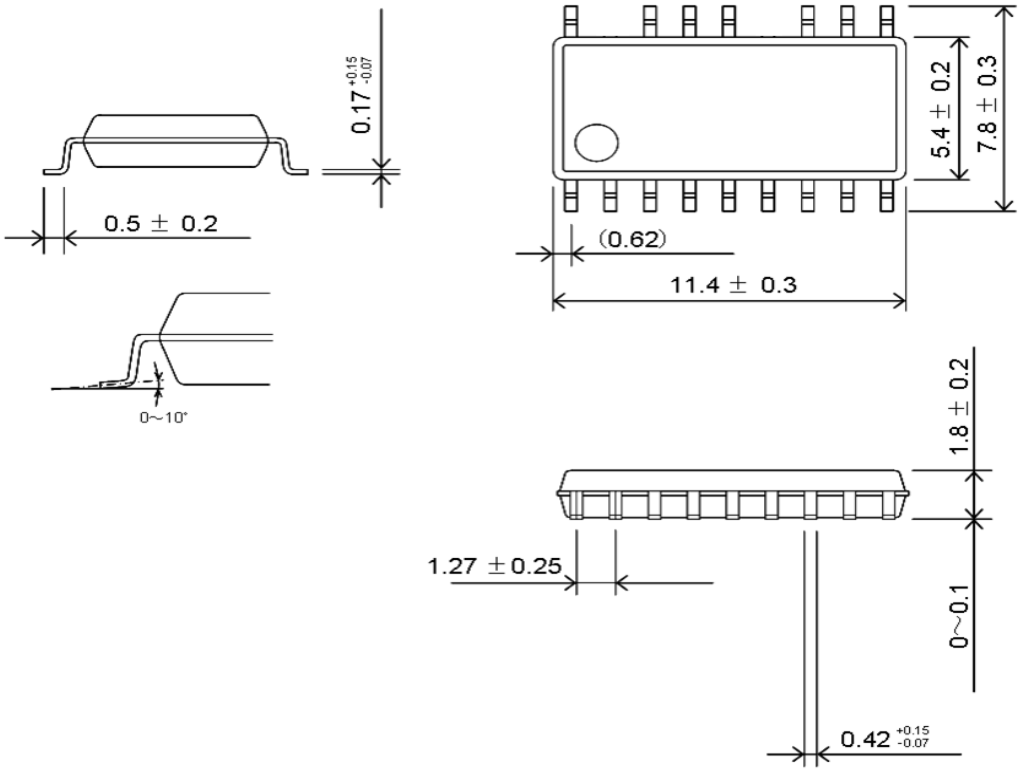


図 6-2 応用回路例（DC 入力モード）

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

7. 外形図

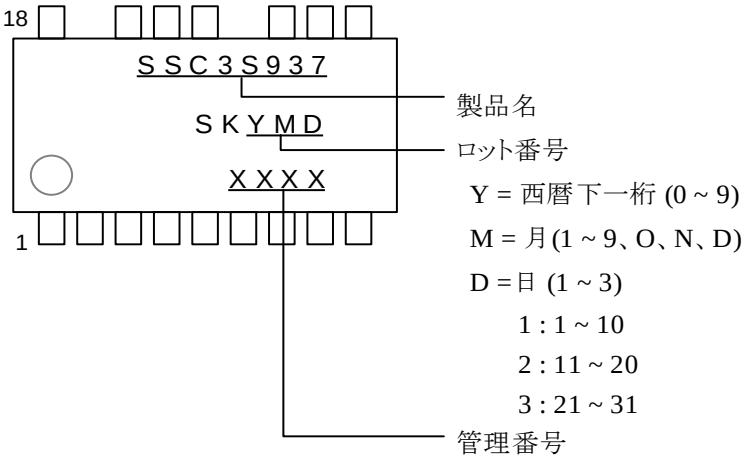
● SOP18



備考：

- 単位：mm
- Pb フリー（RoHS 対応）
- はんだ付けをする場合は、以下の条件内で、できるだけ短時間で作業してください。
  フロー：260 °C、10 s（1 回）
  はんだごて：350 °C、3.5 s（1 回）

8. 捺印仕様



© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

9. 動作説明

特記のない場合の特性数値は 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）が“＋”、流出（ソース）が“－”と規定します。

ハイサイドのパワーMOSFET を $Q_{(H)}$、ローサイドのパワーMOSFET を $Q_{(L)}$、電流共振コンデンサを Ci、電圧共振コンデンサを C_V で表します。

9.1 共振回路動作

図 9-1 に一般的な RLC 直列共振回路を示します。

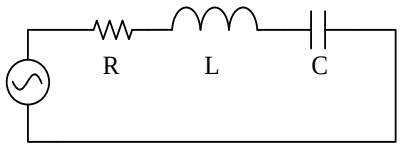


図 9-1 RLC 直列共振回路

この回路のインピーダンス $\dot{Z}$ は次式になります。

$$\dot{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (1)$$

ここで、ω は角周波数です。$\omega = 2\pi f$ なので、

$$\dot{Z} = R + j\left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right) \quad (2)$$

周波数 f が変化すると、共振回路のインピーダンスは、図 9-2 のように変化します。

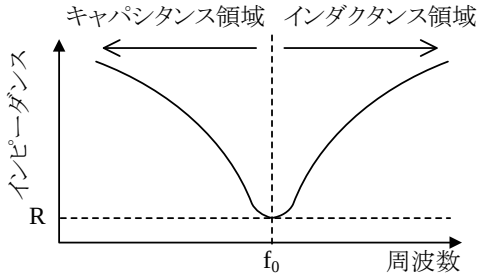


図 9-2 共振回路のインピーダンス

式(2)より、$2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}$ で $\dot{Z}$ は最小値 R になり、このときの角周波数 ω は式(3)です。

$$\omega = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

$\dot{Z}$ が最も低いときの周波数を共振周波数 f_0 と呼びます。共振回路のインピーダンスは、f_0 を中心として周波数の高い方がインダクタンス領域、低い方がキャパシタンス領域です。

式(3)より、共振周波数 f_0 は、式(4)になります。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

図 9-3 に電流共振電源の回路図を示します。

電流共振電源の基本回路は、ハーフブリッジ方式で、入力電源電圧 V_{IN} に対して、パワーMOSFET などのスイッチング素子 $Q_{(H)}$、$Q_{(L)}$を直列に接続します。$Q_{(L)}$には直列共振回路と電圧共振コンデンサ C_V を並列に接続します。直列共振回路は、共振用インダクタ L_R、トランス T1 の 1 次巻線 P、電流共振コンデンサ Ci で構成します。

共振トランス T1 の 1 次巻線と 2 次巻線を疎結合にしてリーケージインダクタンスを大きくし、これを L_R として使用することで、直列共振回路を小さくできます。T1 のドットマークは極性を表します。2 次巻線 S1 と S2 の巻数は等しくし、極性は図 9-3 のように接続します。

式(1)より共振電源のインピーダンスは式(5)、式(4)より共振周波数 f_0 は式(6)になります。

$$\dot{Z} = R + j\left\{\omega(L_R + L_P) - \frac{1}{\omega Ci}\right\} \quad (5)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_R + L_P) \times Ci}} \quad (6)$$

ここで、

R　　：等価負荷抵抗
L_R　　：共振用インダクタのインダクタンス値
L_P　　：T1 の 1 次巻線 P のインダクタンス値
Ci　　：電流共振コンデンサの容量

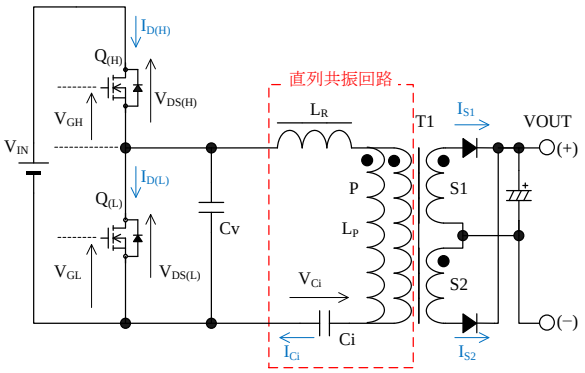


図 9-3 電流共振電源回路図

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

電流共振電源は、$Q_{(H)}$と $Q_{(L)}$が交互にオン／オフします。$Q_{(H)}$と $Q_{(L)}$のオン時間とオフ時間は同じです。$Q_{(H)}$と $Q_{(L)}$のオン期間の間には、両方がオフとなる期間（デッドタイム）があります。

電流共振電源は、周波数を制御し、出力を一定電圧に制御します。出力電圧が低下すると、出力電力を増加させるため、IC は発振周波数 f_{SW} を下げる制御をします。このためにはインダクタンス領域（$f_{SW} > f_0$）の動作が必要です。この領域では、巻線電流の位相が、巻線電圧の位相より遅れるため、$Q_{(H)}$、$Q_{(L)}$のターンオン時はゼロ電流スイッチング(ZCS: Zero Current Switching)、およびターンオフ時はゼロ電圧スイッチング(ZVS: Zero Voltage Switching)で動作し、スイッチング損失はほぼゼロになります。

一方、キャパシタンス領域（$f_{SW} < f_0$）では、出力電圧が低下すると f_{SW} が下がり、出力電力がさらに下がる動作になるため、定電圧制御ができなくなります。また、この領域では、巻線電流の位相が巻線電圧より早くなるため、$Q_{(H)}$と $Q_{(L)}$がハードスイッチング動作になり、電力損失が大きくなります。

このように、キャパシタンス領域で動作することを電流共振外れと呼びます。電流共振電源では共振外れが起きないように回路を動作させる必要があります（詳細は 9.11 項参照）。

図 9-4 に電流共振電源の基本動作波形を示します（図 9-4 の記号は図 9-3 参照）。定常動作時の共振動作波形を期間 A～F に分け、それぞれの期間における共振電源の動作について以下に説明します。

説明に使用する記号の意味は以下のとおりです。

$I_{D(H)}$ ：$Q_{(H)}$のドレイン電流
$I_{D(L)}$ ：$Q_{(L)}$のドレイン電流
$V_{F(H)}$ ：$Q_{(H)}$のボディーダイオードの順方向電圧
$V_{F(L)}$ ：$Q_{(L)}$のボディーダイオードの順方向電圧
I_L ：L_R の電流
V_{IN} ：入力電圧
V_{Ci} ：Ci の両端電圧
V_{CV} ：C_V の両端電圧

1) 期間 A

$Q_{(H)}$がオンのとき、図 9-5 のように共振回路とトランスを通して電流 $I_{D(H)}$が流れ、直列共振回路にエネルギを蓄えます。同時にトランスを介して 2 次側にエネルギを伝達します。

トランスの 1 次側巻線が、2 次側ダイオードがオンするだけの電圧を維持できなくなった時点で、2 次側へのエネルギ伝達が終わります。

2) 期間 B

2 次側の電流がゼロになったあとは、図 9-6 のように 1 次側にのみ共振電流が流れ、Ci を充電します。

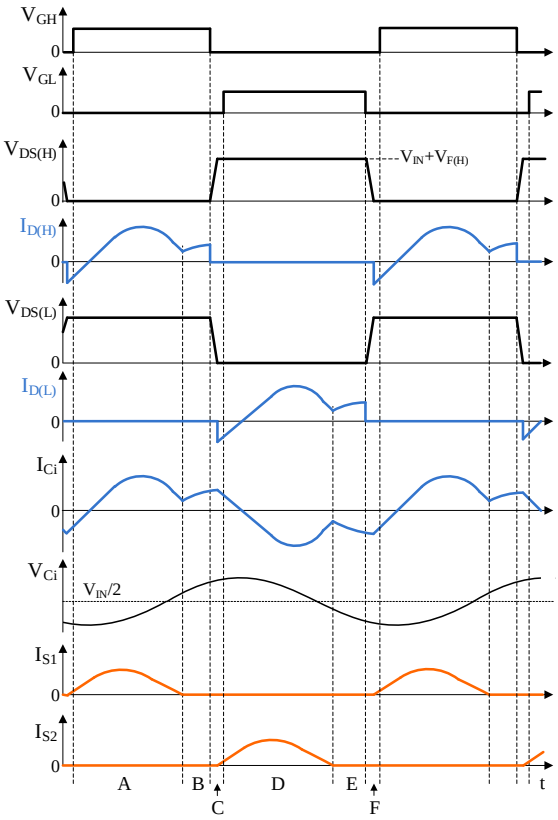


図 9-4　電流共振電源動作波形

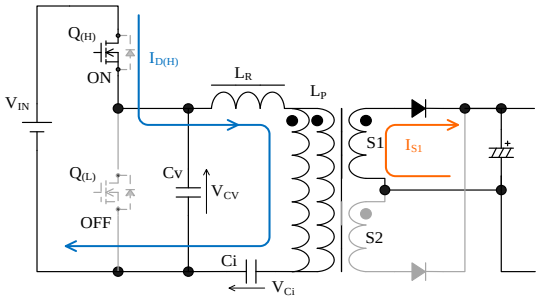


図 9-5　期間 A の動作

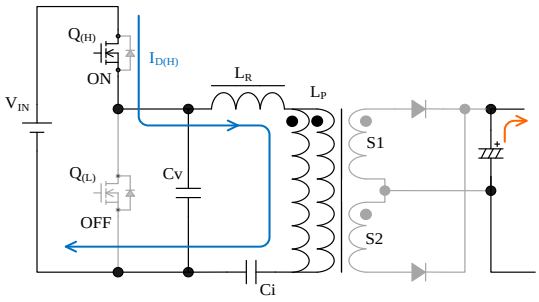


図 9-6　期間 B の動作

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

3) 期間 C

この期間はデッドタイムの期間で、$Q_{(H)}$と $Q_{(L)}$はオフになります。$Q_{(H)}$がターンオフすると、直列共振回路に蓄えたエネルギにより、図 9-7 のように I_L が流れ C_V を放電します。V_{CV} が $V_{F(L)}$まで下がると、$Q_{(L)}$のボディーダイオードに− $I_{D(L)}$が流れ、V_{CV} は $V_{F(L)}$でクランプされます。その後 $Q_{(L)}$がターンオンします。このとき $V_{DS(L)}$はほぼゼロのため、$Q_{(L)}$は ZVS および ZCS 動作になり、スイッチングによる損失はほとんどありません。

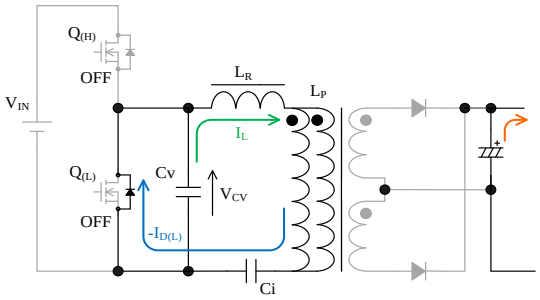


図 9-7　期間 C の動作

4) 期間 D

$Q_{(L)}$がオンすると、その直後は期間 C で流れていた−$I_{D(L)}$が $Q_{(L)}$に流れ続けます。その後、図 9-8 のように $I_{D(L)}$が流れ、トランスの 1 次巻線に V_{Ci} が加わり、トランスを介して 2 次側にエネルギを伝達します。トランスの 1 次側巻線が、2 次側ダイオードがオンするだけの電圧を維持できなくなった時点で、2 次側へのエネルギ伝達が終わります。

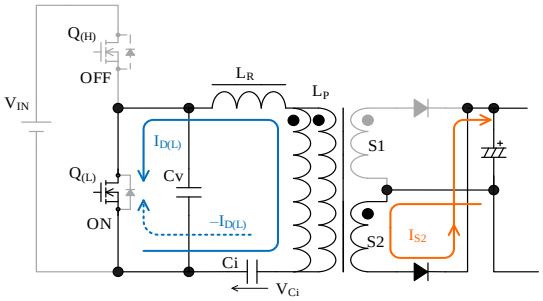


図 9-8　期間 D の動作

5) 期間 E

2 次側の電流がゼロになったあとは、図 9-9 のように 1 次側にのみ共振電流が流れ、Ci を充電します。

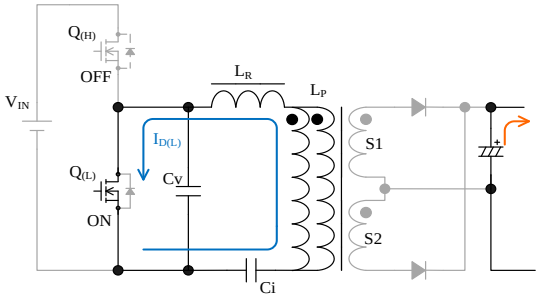


図 9-9　期間 E の動作

6) 期間 F

この期間はデッドタイムの期間で、$Q_{(H)}$と $Q_{(L)}$はオフになります。

$Q_{(L)}$がターンオフすると、共振回路に蓄えたエネルギにより、− I_L が流れ、C_V を充電します。V_{CV} が V_{IN} + $V_{F(H)}$に達すると、−$I_{D(H)}$が $Q_{(H)}$のボディーダイオードに流れ、V_{CV} は V_{IN} + $V_{F(H)}$でクランプされます。その後 $Q_{(H)}$がターンオンします。このとき $V_{DS(H)}$はほぼゼロのため、$Q_{(H)}$は ZVS、および ZCS 動作になり、スイッチングによる損失はほとんどありません。

7) 期間 F 以降

$Q_{(H)}$がオンすると、その直後は期間 F で流れていた−$I_{D(H)}$が $Q_{(H)}$に流れ続けます。その後 $I_{D(H)}$が流れ、期間 A の動作に戻ります。

以上の動作を繰り返し、共振回路から 2 次側へエネルギを伝達します。

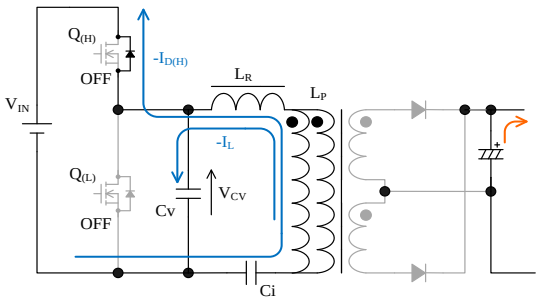


図 9-10　期間 F の動作

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

9.2 起動動作

図 9-11 に VSEN 端子と VCC 端子の周辺回路を示します。本 IC は起動回路を内蔵しています。入力電圧を印加すると、IC 内部で定電流化した起動電流 I_{ST} = 6.0 mA が VCC 端子に接続した C2 を充電します。VCC 端子電圧が動作開始しきい電圧 $V_{CC(ON)}$ = 17.0 V 以上に上昇し、IC が発振を開始すると、VCC 端子への印加電圧は図 9-11 の補助巻線電圧 V_D 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。

本 IC は、入力電源が AC でも DC でも対応可能です。IC の起動時に VSEN 端子に入力される信号で入力が AC か DC かを判断しています。以下にそれぞれの入力における発振開始のタイミングを示します。

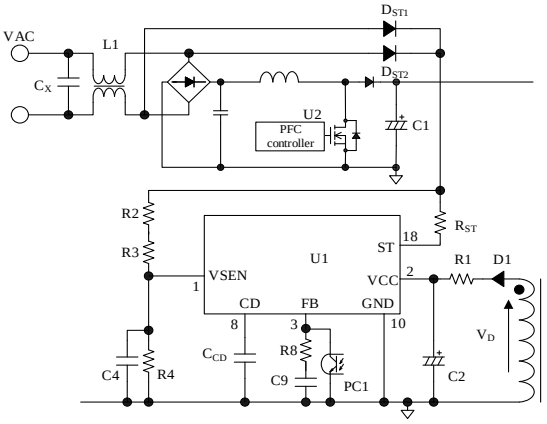


図 9-11　VSEN 端子、VCC 端子周辺回路

● **AC 入力モード**

図 9-12 に入力が AC の場合の起動動作波形を示します。AC 入力を印加すると、起動電流により、VCC 端子電圧 V_{CC} が上昇します。V_{CC} が $V_{CC(BIAS)}$ = 9.8 V を超えた後に、VSEN 端子電圧 V_{SEN} のアップエッジを検出すると、AC 入力モードと判断します。アップエッジを検出するしきい値は $V_{SEN(OFF)1}$ = 1.000 V と $V_{SEN(AC)1}$= 2.70 V の 2 つあります。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 $V_{SEN(OFF)2}$ = 0.8 V、$V_{SEN(AC)2}$ = 2.4 V になります。

V_{CC} が $V_{CC(BIAS)}$ = 9.8 V を超えると、IC は C_{CD} を $I_{CD(SRC)}$ = –10.2 µA で充電開始します。IC が V_{SEN} のアップエッジを検出すると、C_{CD} を放電します。CD 端子電圧が約 0.3 V に低下すると、次のアップエッジまで再度 $I_{CD(SRC)}$で C_{CD} を充電します。このように、CD 端子に接続されたコンデンサ C_{CD} は、VSEN 端子の 2 つのしきい値で充放電を繰り返します。

その後、VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$ = 17.0 V 以上になり、V_{SEN} のアップエッジを検出すると、IC 内部の回路が動作を開始します。これにより、REG 端子電圧が上昇し、FB 端子のコンデンサ C9 の充電を開始します。FB 端子電圧が $V_{FB(ON)}$ = 0.30 V 以上になると、VGH、VGL 端子の発振を開始します。

入力が AC の場合、C_{CD} の値は、起動時（$V_{CC(BIAS)} \leq V_{CC} \leq V_{CC(ON)}$）の CD 端子電圧が $V_{CD(DC)}$ = 2.00 V 未満になるように設定してください。

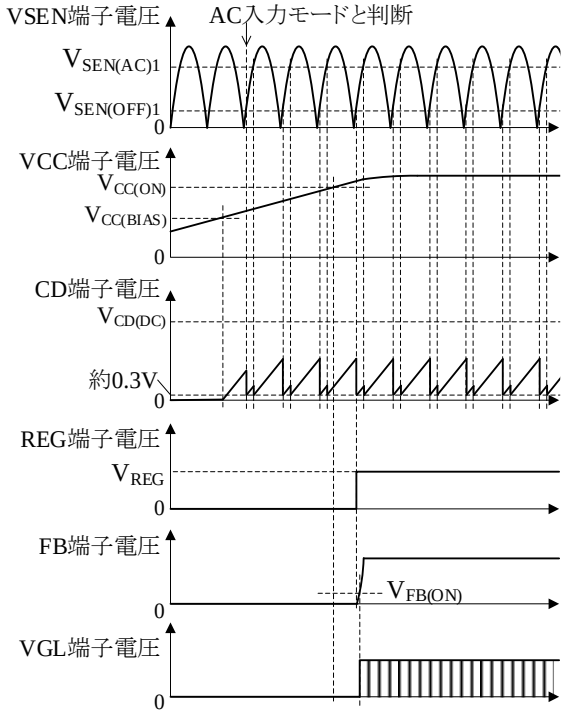


図 9-12　AC 入力モードの起動動作波形

● **DC 入力モード**

図 9-13 に入力が DC の場合の起動動作波形を示します。DC 入力を印加すると、起動電流により、VCC 端子電圧 V_{CC} が上昇します。V_{CC} が $V_{CC(BIAS)}$ = 9.8 V を超えると、IC は CD 端子に接続されたコンデンサ C_{CD} を $I_{CD(SRC)}$ = –10.2 µA で充電します。VSEN 端子電圧 V_{SEN} のアップエッジを検出せずに、CD 端子電圧が $V_{CD(DC)}$ = 2.00 V になると、DC 入力モードと判断します。CD 端子電圧は $V_{CD(DC)}$でクランプされます。

以下の条件をすべて満たすと VGH、VGL 端子の発振を開始します。

- VSEN 端子電圧が $V_{SEN(ON)}$ = 1.200 V 以上
- CD 端子電圧が $V_{CD(DC)}$ = 2.00 V でクランプ
- VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$ = 17.0 V 以上

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

● FB 端子電圧が $V_{FB(ON)}$ = 0.30 V 以上

CD 端子電圧が $V_{CD(DC)}$に到達する前に VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$以上になった場合、CD 端子電圧が $V_{CD(DC)}$になると FB 端子のコンデンサ C9 の充電を開始し、FB 端子電圧が $V_{FB(ON)}$以上になると発振を開始します。

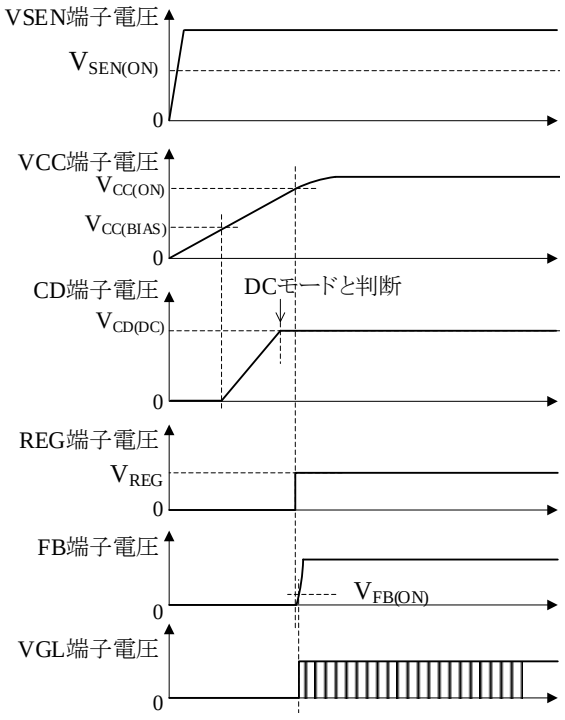


図 9-13　DC 入力モードの起動動作波形

9.3　低入力時動作禁止機能（UVLO）

VCC 端子電圧と回路電流 I_{CC} の関係を図 9-14 に示します。IC が動作した後、VCC 端子電圧が動作停止しきい値 $V_{CC(OFF)}$ = 8.9 V に低下すると、低入力時動作禁止機能（UVLO：Undervoltage Lockout）により、スイッチング動作を停止し、再び起動前の状態に戻ります。

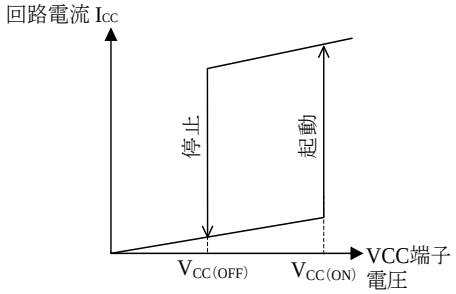


図 9-14　VCC 端子電圧と回路電流 I_{CC}

9.4　バイアスアシスト機能

電源起動時の VCC 端子電圧波形例を図 9-15 に示します。

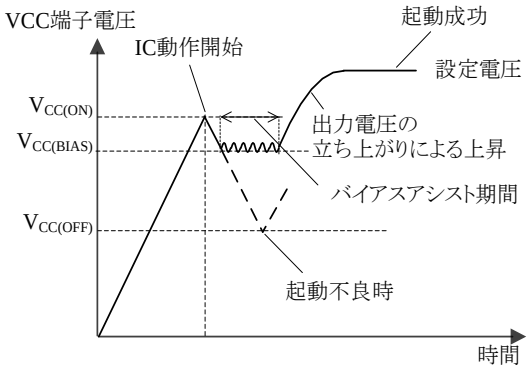


図 9-15　起動時の VCC 端子電圧

9.2 項の起動条件を満たすと、IC が動作を開始します。IC が動作を開始すると、回路電流が増加するため、VCC 端子電圧が低下し、それと同時に補助巻線電圧 V_D は出力電圧の立ち上がり電圧に比例して上昇します。これら電圧のバランスが VCC 端子電圧を作ります。このとき、VCC 端子電圧が低下し、$V_{CC(OFF)}$ = 8.9 V に達すると、スイッチング動作が停止して起動不良が生じる場合があります。これを防ぐため、VCC 端子電圧が $V_{CC(BIAS)}$ = 9.8 V に低下すると、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している間は、起動回路から起動電流 I_{ST} を供給し、VCC 端子電圧の低下を抑えます。

起動動作は、最終的に実機で動作を確認し、起動不良が起きないように VCC 端子電圧を調整します。また、動作時の VCC 端子電圧は、$V_{CC(BIAS)}$以上になるように設定します。VCC 端子電圧が $V_{CC(BIAS)}$まで低下すると、バイアスアシスト機能が動作し、消費電力が増加します。VCC 端子電圧を高くするためには、以下様な調整が必要です。

● 補助巻線と 2 次巻線の巻数比 N_D/N_S を上げる。
● 図 6-1 の C2 を大きくする、または R1 を小さくする

バイアスアシスト機能は、保護動作時には無効になります。

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

9.5 ソフトスタート機能

図 9-16 に起動時のソフトスタート動作波形を示します。

本 IC は部品のストレス低減および共振外れの抑制のため、ソフトスタート機能を搭載しています。ソフトスタート動作時は、CSS 端子に接続した C6 を充電電流 $I_{CSS(C)}$ = −105 μA で充電します。このとき、発振周波数は CSS 端子電圧によって変化します。CSS 端子電圧が上昇するにしたがって、起動時のスイッチング周波数は最大で $f_{(MAX)SS}$* = 500 kHz から徐々に低くなり、同時に出力電力が増加します。出力電力が増加するにつれて、IC はフィードバック信号によるスイッチング周波数制御で動作します。

なお、IC が次のいずれかの条件を満たすと、リセット電流 $I_{CSS(R)}$ = 1.8 mA で C6 を放電します。

- VCC 端子電圧が動作停止しきい電圧 $V_{CC(OFF)}$= 8.9 V 以下
- AC 入力電圧オフ後、CD 端子電圧が CD 端子しきい電圧 1　V_{CD1} = 3.0 V 以上
- 保護動作（OVP、HVP、OLP、TSD）になった場合

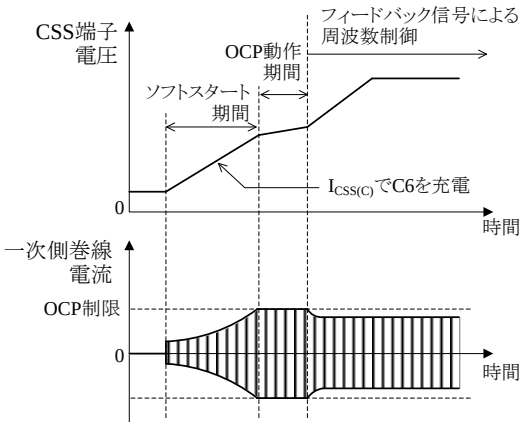


図 9-16　ソフトスタート動作

9.6 最低、最大スイッチング周波数の設定

最低スイッチング周波数は、CSS 端子に接続する R5（R_{CSS}）で調整します。R5（R_{CSS}）と外部調整最低周波数 $f_{(MIN)ADJ}$ の関係を、図 9-17 に示します。

$f_{(MIN)ADJ}$ は、電源入力電圧下限、最大負荷の条件で、共振周波数 f_0 より高く調整します。最大スイッチング周波数 f_{MAX} は、共振回路のインダクタンス、キャパシタンスで決まります。f_{MAX} は、電源入力電圧上限、最小負荷の条件で、最高周波数 $f_{(MAX)}$ = 300 kHz より低くなるように調整します。

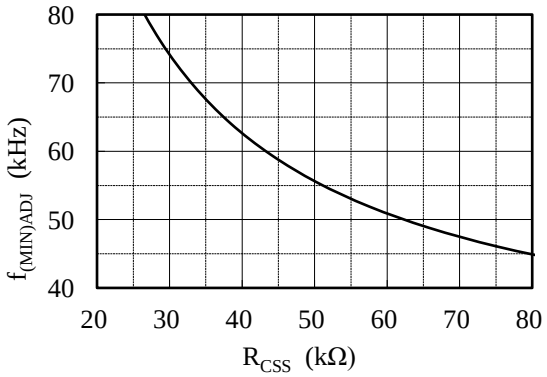


図 9-17　R5（R_{CSS}）と $f_{(MIN)ADJ}$ 特性

9.7 ハイサイドドライバ

図 9-18 にブートストラップ回路を示します。ブートストラップ回路は $Q_{(H)}$をドライブするための回路で、REG 端子と VS 端子の間に D3、R12、C12 で構成します。$Q_{(H)}$がオフ、$Q_{(L)}$がオンのとき、VS 端子電圧はほぼ GND と同じ電位になり、REG 端子は C12 を充電します。

VB 端子と VS 端子間の電圧がハイサイドドライバ動作開始電圧 $V_{BUV(ON)}$ = 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、ハイサイドドライバ動作停止電圧 $V_{BUV(OFF)}$ = 6.4 V 以下になると動作を停止します。この $V_{BUV(OFF)}$により、C12、D4 がショートした場合の保護が可能です。

D4 は、VS 端子の負電位対策用ダイオードです。

- D3 は、リカバリータイムが短く、逆電流の少ない超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いたします。

- C11、C12、R12
  C11 と C12 の容量、R12 抵抗値は、外付けパワーMOSFET のゲートチャージ電荷量 Qg、スタンバイ切り替えのバースト発振動作時の VB と VS 端子間電圧のディップ量により決まります。高圧差動プローブを使い VB と VS 端子間電圧を測定し、$V_{BUV(ON)}$ = 6.8 V より高くなるように調整します。
  C11 の目安は 0.47μF～1 μF です。
  C12 と R12 は、時定数が 500 ns 以下になるように設定します。C12 は 0.047μF～0.1 μF、R12 は 2.2 Ω～10 Ω 程度です。

* 通常動作時の最高周波数は、$f_{(MAX)}$ = 300 kHz

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

C11 および C12 は、低 ESR、漏れ電流の少ないフィルムコンデンサ、またはセラミックコンデンサを使用します。

- D4
  D4 は、VB と VS 端子間電圧が絶対最大定格の −0.3 V 以下にならないよう、順方向電圧 V_F の小さいショットキーダイオードを接続します。

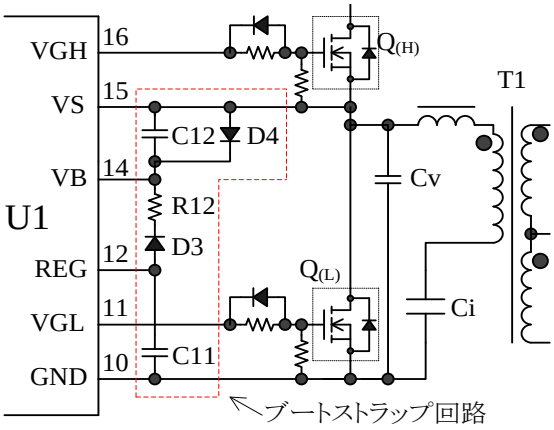


図 9-18　ブートストラップ回路

9.8　定電圧制御回路動作

図 9-19 に FB 端子の周辺回路を示します。FB 端子に接続したフォトカプラ PC1 で FB 端子からフィードバック電流を引き抜き、発振周波数を制御します。これにより、出力を定電圧に制御します（制御はインダクタンス領域）。

微小負荷時はフィードバック電流が増加し、FB 端子電圧が低下します。FB 端子電圧が発振停止しきい電圧 $V_{FB(OFF)}$ = 0.20 V 以下の期間は、スイッチング動作を停止します。これにより、スイッチング損失を低減し、2 次側出力電圧の上昇を抑制します。

図 9-19 の R8 と C9 は位相補償調整用、C5 は高周波ノイズ除去用です。PC1 のコレクタ電流が最大ソース電流 $I_{FB(MAX)}$ の絶対値 195 µA より多く流せるように、2 次側エラーアンプ回路部の定数を設定します。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。

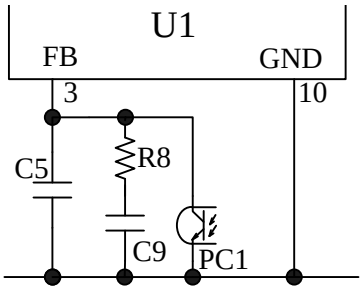


図 9-19　FB 端子周辺回路

9.9　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。スタンバイ機能動作時は、図 9-20 のようにバースト発振動作を行います。

バースト発振動作時は発振期間と発振停止期間があり、これによりスイッチング損失を低減します。一般的に、軽負荷時の効率を改善するため、バースト間隔は、数 Hz 以下にします。さらに、バースト動作時のドレイン電流の急峻な変化を抑制するため、ソフトオン／ソフトオフ機能を搭載しています。これによりトランスの音鳴りを抑制します（9.9.2 項参照）。本 IC は、外部信号により、スタンバイ動作に切り替えることが可能です（9.9.1 項参照）

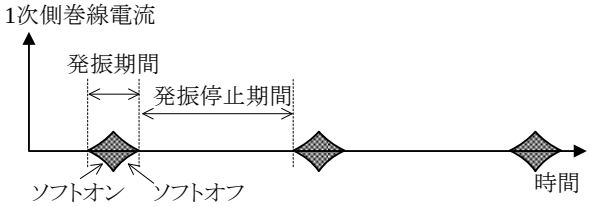


図 9-20　スタンバイ動作波形

9.9.1 外部信号によるスタンバイ動作切り換え

図 9-21 にスタンバイ信号入力回路例、図 9-22 にスタンバイ動作波形を示します。図 9-21 の Standby 入力端子を“L”にすると、Q1 がオフになり、MODE 端子の C10 をシンク電流 $I_{MODE(SNK)}$ = 10 µA で放電します。MODE 端子電圧がスタンバイしきい電圧 $V_{MODE(STB)}$ = 1.50 V まで低下すると、スタンバイ動作に移行します。

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

スタンバイ動作時、以下の条件をすべて満たすと、スイッチング動作を停止します。

- MODE 端子電圧が $V_{MODE(STB)}$ = 1.50 V 以下
- FB 端子電圧が $V_{FB(OFF)}$ = 0.20 V 以下
- SB 端子電圧が $V_{SB(OFF)}$ = 0.20 V 以下

Standby 入力端子を“H”にし、MODE 端子電圧がスタンバイ解除しきい電圧 $V_{MODE(NRM)}$ = 5.0 V 以上になると、定常動作に復帰します。

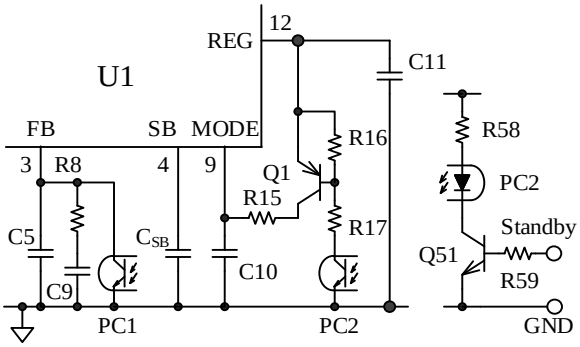


図 9-21　スタンバイ信号入力回路例

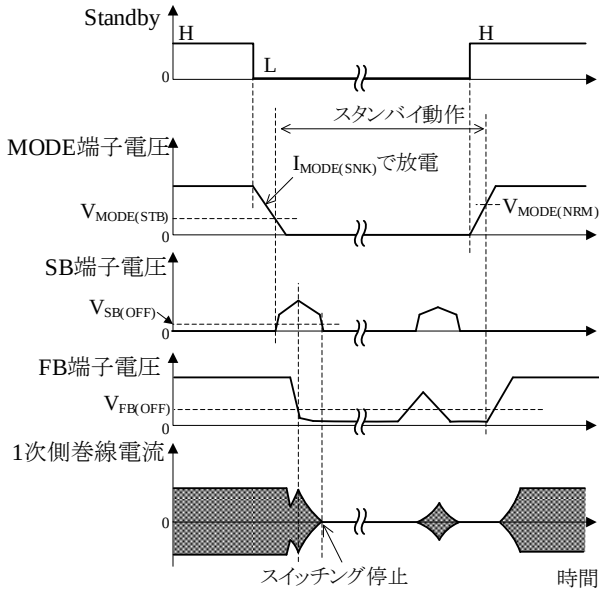


図 9-22　スタンバイ動作波形

9.9.2 バースト発振動作

スタンバイ動作時は、トランスの音鳴りを抑制するために、ドレイン電流の急峻な変化を抑制しながら（ソフトオン／ソフトオフ機能）バースト発振動作を行います。バースト動作時は SB 端子電圧でスイッチング周波数を制御します。

図 9-23 にバースト発振動作波形を示します。

SB 端子電圧が発振停止電圧 $V_{SB(OFF)}$ = 0.20 V 以下、かつ FB 端子電圧が発振停止電圧 $V_{FB(OFF)}$ = 0.20 V になると、スイッチング動作が停止し、出力電圧が低下します。出力電圧が低下すると、FB 端子電圧は上昇し、発振開始しきい電圧 $V_{FB(ON)}$ = 0.30 V に達すると、SB 端子のコンデンサ C_{SB} を $I_{SB(SRC)H}$ = −15.0 µA で充電します。これにより、SB 端子電圧は徐々に増加します。SB 端子電圧が発振開始電圧 $V_{SB(ON)}$ = 0.30 V に達すると、スイッチング動作が再開し、出力電圧は上昇します（ソフトオン）。SB 端子電圧がスタンバイしきい電圧 $V_{SB(STB)}$ = 0.6 V 以上になると、C_{SB} の充電電流は $I_{SB(SRC)L}$ = −5.0 µA に切り換わります。その後、FB 端子電圧が発振停止電圧 $V_{FB(OFF)}$ = 0.20 V に低下すると、C_{SB} を $I_{SB(SNK)L}$ = 5.0 µA で放電します。SB 端子電圧が $V_{SB(STB)}$ = 0.6 V 未満になると、C_{SB} の放電電流は $I_{SB(SNK)H}$ = 12.5 µA に切り換わります。これにより SB 端子電圧は徐々に低下し、再び発振停止電圧 $V_{SB(OFF)}$ = 0.20 V 以下になると、スイッチング動作が停止します（ソフトオフ）。

ソフトオン／ソフトオフ機能の SB 端子の充放電時間は、C_{SB} に依存しています。C_{SB} を大きくすると、バースト動作時のピークドレイン電流を抑え、またバースト間隔が長くなるため、出力リップル電圧が増加したり、VCC 端子電圧が低下したりする場合があります。VCC 端子電圧が低下し $V_{CC(BIAS)}$ = 9.8 V になると、常時バイアスアシスト機能が動作し、消費電力が増加します（9.4 項参照）。

C_{SB} の容量は、入力電圧範囲で出力リップル電圧、VCC 端子電圧を確認しながら調整します。C_{SB} 容量の目安は 470 pF～0.047 µF 程度です。

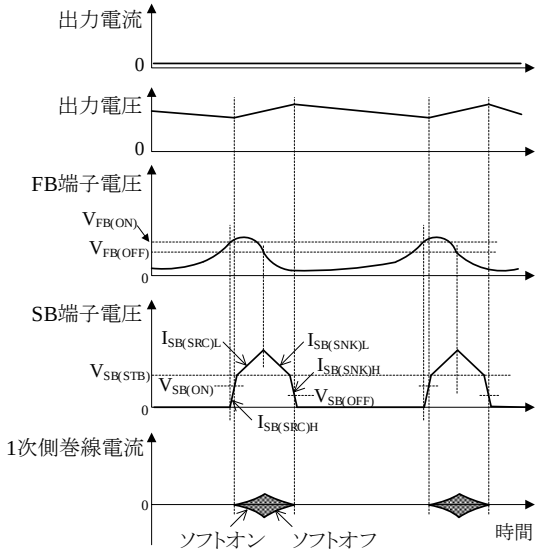


図 9-23　バースト発振動作

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

9.10 デッドタイム自動検出機能

デッドタイムは、ハイサイドとローサイドのパワーMOSFET 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 9-24 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。

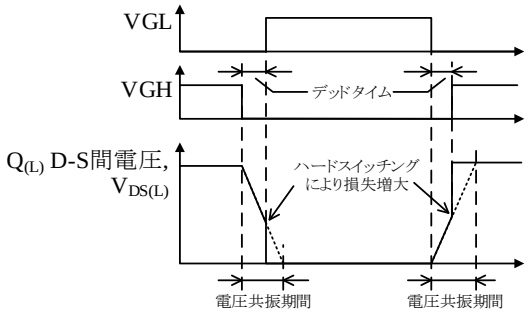


図 9-24　ZVS 不具合波形

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、$Q_{(H)}$と $Q_{(L)}$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 9-25 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。

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 9-26 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。

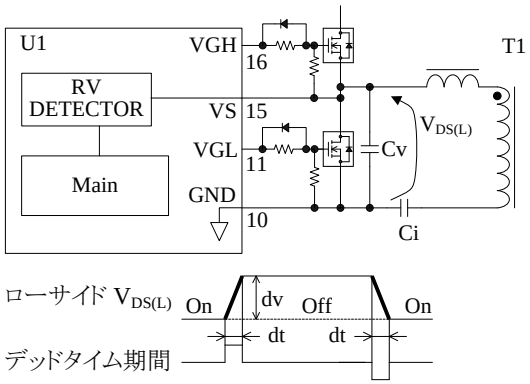


図 9-25　VS 端子とデッドタイム期間

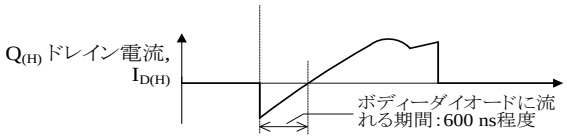


図 9-26　ZCS 確認箇所

9.11 電流共振外れ検出機能

電流共振電源は、図 9-27 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電流共振外れ動作になります（9.1 項参照）。この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、電流共振外れを判断します。電流共振外れを検出すると、CL 端子の C7 をソース電流 $I_{CL(SRC)1}$ = −17 µA で充電します。CL 端子電圧が $V_{CL(OLP)}$になると過負荷保護機能（OLP）が動作します。OLP が動作すると、スイッチング動作を停止し、UVLO による間欠発振動作を繰り返します（9.19 項参照）。電流共振外れの検出電圧は、図 9-29、図 9-30 のように、負荷に応じて V_{RC1} = ±0.10 V か V_{RC2} = ±0.30 V に切り替わります。電流共振外れ検出機能は以下のように動作します。

- **ハイサイドパワーMOSFET がオンしている期間**
  図 9-28 にインダクタンス領域の RC 端子の波形、図 9-29、図 9-30 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

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

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 9-28）。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 9-29、図 9-30）。

- **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、動作周波数を電流共振外れ周波数と同期させることで、電流共振外れの発生を抑制します。R_{OCP}、C3、R6 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± 6 V 以内になるように調整します。このとき、9.18 項の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も確認が必要です。

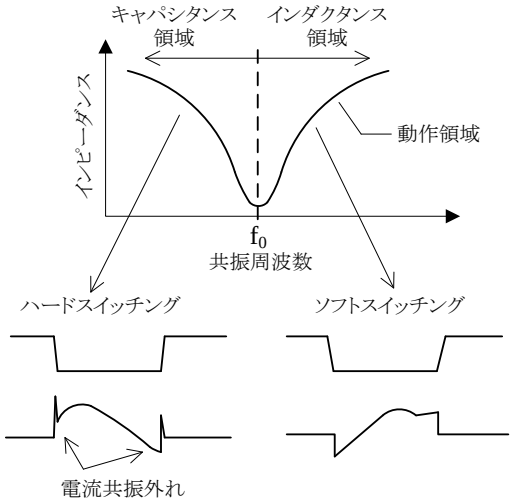


図 9-27　共振電源の動作領域

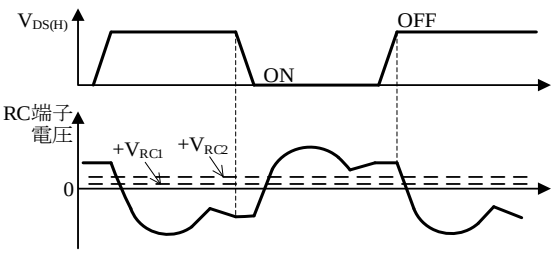


図 9-28　インダクタンス領域の RC 端子の波形

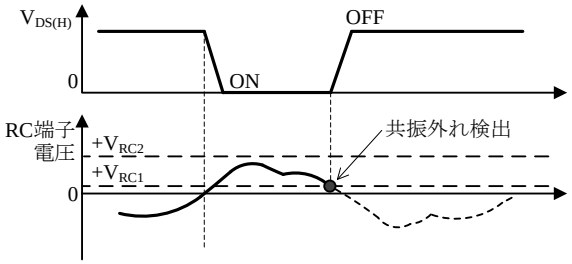


図 9-29　ハイサイド側電流共振外れ検出（軽負荷時）

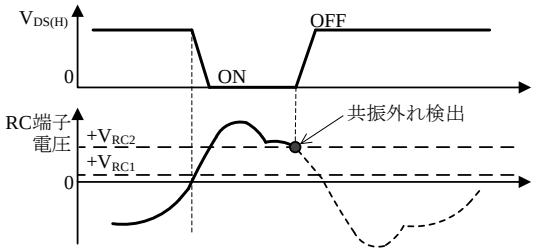


図 9-30　ハイサイド側電流共振外れ検出（重負荷時）

9.12　X コンデンサ放電機能（AC 入力モードの場合）

一般的にスイッチング電源の入力部には、図 9-31 のようにラインフィルタを挿入します。

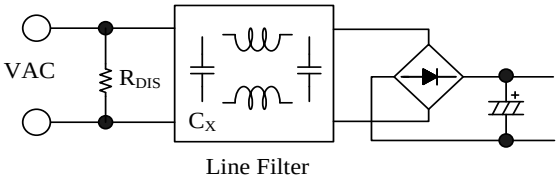


図 9-31　入力部ラインフィルタ標準回路

安全規格 IEC 62368-1 より、C_X の容量が 300 nF 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(7)に示します。

$$P_{RDIS} = \frac{V_{AC(RMS)}{}^2}{R_{DIS}} \qquad (7)$$

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

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。

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。このとき、CD 端子のコンデンサ C_{CD} は、$I_{CD(SRC)}$ = –10.2 μA で充電され、CD 端子の電圧が上昇します。CD 端子の電圧が V_{CD1} = 3.0 V 以上になると、X コンデンサを定電流で放電します。放電時の ST 端子電流は I_{ST} = 6.0 mA です。

AC 入力電圧を遮断してから、CD 端子の電圧が V_{CD1} に達するまでの時間が遅延時間 t_{DLY} です。t_{DLY} は CD 端子のコンデンサで調整できます。t_{DLY} の最大値 t_{DLY_MAX} は 9.17.2 項の式(9)で計算できます。

図 9-32 のように、ST 端子には、AC 入力ラインから D_{ST1}、D_{ST2}、R_{ST} が接続されます。R_{ST} の推奨抵抗値は、5.6 kΩ～10 kΩ 程度です。R_{ST} 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、R_{ST} 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。

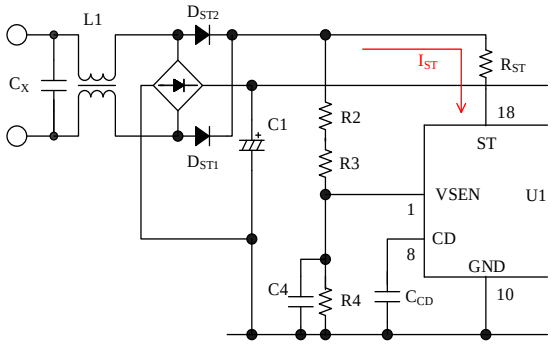


図 9-32　ST 端子周辺回路（AC 入力モード）

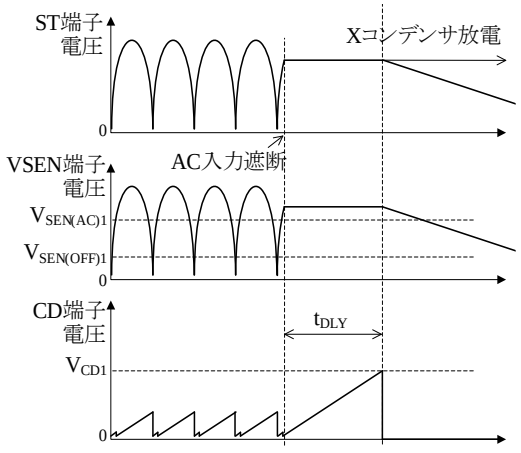


図 9-33　X コンデンサ放電機能動作波形
（AC 入力モード）

9.13　入力コンデンサ放電機能（DC 入力モードの場合）

DC 入力電圧が遮断すると、入力電圧の低下に伴い ST 端子と VSEN 端子の電圧も低下します。VSEN 端子電圧が $V_{SEN(OFF)1}$ = 1.000 V 以下になると、即座に入力コンデンサを定電流で放電します。放電時の ST 端子電流は I_{ST} = 6.0 mA です。

ST 端子には、DC 入力ラインから R_{ST} を接続します。R_{ST} の推奨抵抗値は、5.6 kΩ～10 kΩ 程度です。R_{ST} 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、R_{ST} 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。

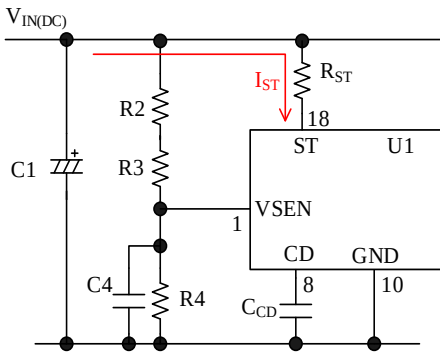


図 9-34　ST 端子周辺回路（DC 入力モード）

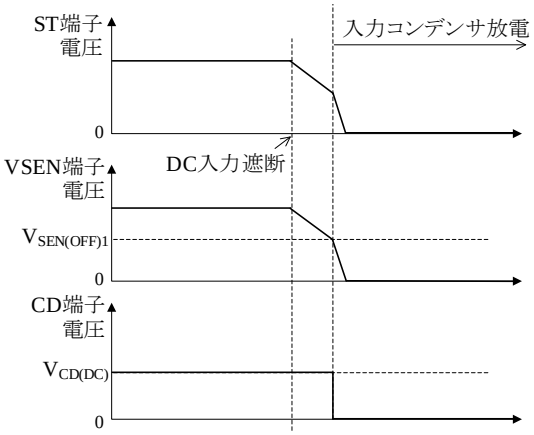


図 9-35　入力コンデンサ放電機能動作波形
（DC 入力モード）

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

9.14 リセット検出機能

電源起動時など、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。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 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 9-37 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 9-36 参照）。

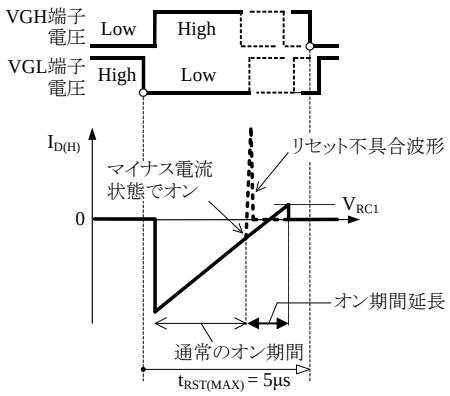


図 9-36　ハイサイドオン期間のリセット検出機能動作例

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

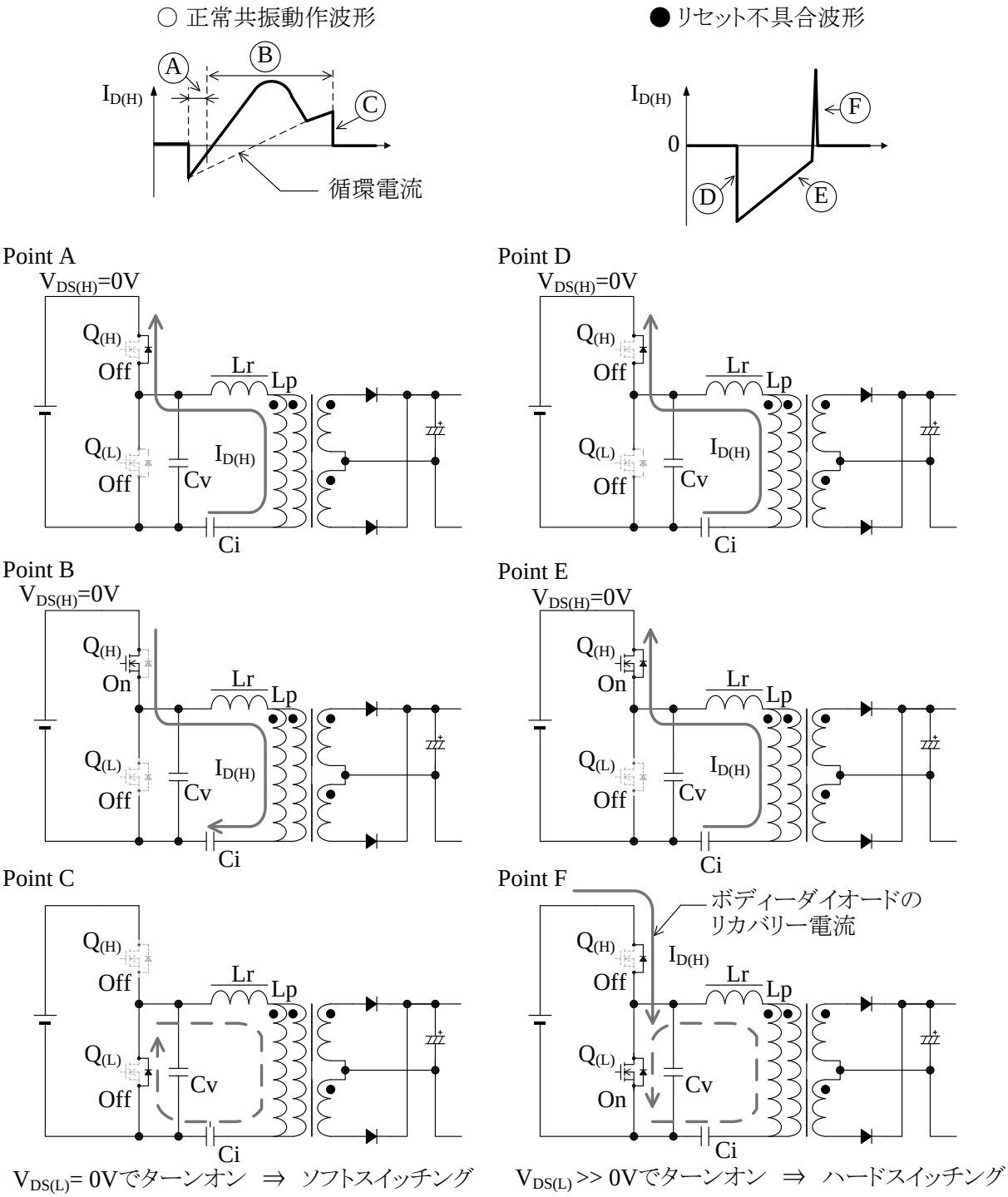


図 9-37　正常共振動作とリセット不具合のハイサイド側の動作とドレイン電流波形例

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

9.15 VCC 端子過電圧保護機能（VCC_OVP）

VCC 端子と GND 端子間に、OVP しきい値 $V_{CC(OVP)}$ = 32.0 V 以上の電圧を印加すると、VCC 端子過電圧保護機能（VCC_OVP：VCC pin overvoltage protection）が動作し、スイッチング動作を停止します。VCC_OVP が動作するとバイアスアシスト機能は無効になり、VCC 端子電圧が低下します。VCC 端子電圧が低下して、保護動作解除しきい電圧 $V_{CC(P.OFF)}$ = 8.9 V になると、保護を解除して、低入力時動作禁止機能（UVLO：Undervoltage lockout）により起動前の状態になります。その後、起動回路が動作して、起動電流により VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$ = 17.0 V に達すると、制御回路が動作を開始します。保護動作期間は再起動と停止を繰り返します。過電圧の要因を取り除くと、通常の動作に自動復帰します。

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 次側の過電圧を検出できます。この場合、過電圧保護が動作するときの 2 次側出力電圧 $V_{OUT(OVP)}$は、次式で概略計算できます。

$$V_{OUT(OVP)} = \frac{V_{OUT(NRM)}}{V_{CC(NRM)}} \times 32(V) \quad (8)$$

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

9.16 REG 端子過電圧保護機能（REG_OVP）

本 IC は、REG 端子に過電圧が印加された場合の保護として、REG 端子過電圧保護機能（REG_OVP：REG pin overvoltage protection）を搭載しています。

図 9-41 に REG_OVP 動作時の波形を示します。

REG 端子の電圧が REG 端子 OVP しきい電圧 $V_{REG(OVP)}$ = 12.4 V 以上になると、REG_OVP が動作し、スイッチング動作を停止し、REG 端子電圧をグランドレベルに固定します。

REG_OVP が動作するとバイアスアシスト機能は無効になり、VCC 端子電圧が低下します。VCC 端子電圧が保護動作解除しきい電圧 $V_{CC(P.OFF)}$ = 8.9 V になると、保護を解除して、低入力時動作禁止機能（UVLO：Undervoltage Lockout）により起動前の状態になります。その後、起動回路が動作して、起動電流により VCC 端子電圧が $V_{CC(ON)}$ = 17.0 V に達すると、制御回路が動作を開始するため、VCC 端子電圧が低下します。VCC 端子電圧が $V_{CC(BIAS)}$ に低下すると、FB 端子電圧が上昇し、IC は発振を開始します。

RC 端子電圧が V_{RC1} = ±0.10 V 以内の状態で、IC が発振を開始すると、CL 端子に接続しているコンデンサ C7 を $I_{CL(SRC)2}$ = −135 μA で急速に充電します。CL 端子電圧が $V_{CL(OLP)}$ = 4.2 V に達すると IC は発振を停止し、VCC 端子電圧が $V_{CC(OFF)}$に達すると、再起動します。このように、REG_OVP 動作時は、CL 端子の保護機能と UVLO による間欠発振動作を繰り返します。REG 端子の過電圧の要因を取り除くと、通常の動作に自動復帰します。

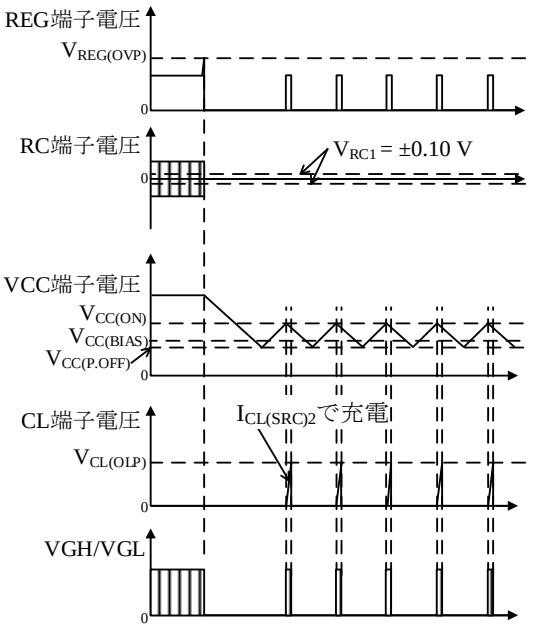


図 9-38　REG_OVP 動作波形

9.17 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）”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）”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抑制します。入力電圧保護機能は、VSEN 端子で入力電圧を検出し、VSEN 端子電圧に応じて発振をオン／オフします。9.17.1 項では HVP について、9.17.2 項では UVP について説明します。

9.17.1 入力過電圧保護機能（HVP）

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

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

$V_{SEN(HVP)}$ = 5.6 V 以上になると、入力過電圧保護機能（HVP）が動作し、スイッチング動作を停止します。HVP 動作中は、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。

9.17.2 入力低電圧保護機能（UVP）

本 IC は入力低電圧保護機能（UVP：Undervoltage Protection）を搭載しています。AC 入力モードの場合と DC 入力モードの場合の動作を以下に示します。

● **AC 入力モードの場合**

VSEN 端子の周辺回路を図 9-39、入力電圧保護機能の動作波形を図 9-40 に示します。

定常動作状態から AC 入力電圧が低下し、VSEN 端子電圧が VSEN 端子しきい電圧（オフ）$V_{SEN(OFF)1}$ = 1.000 V 以下になると、IC が動作状態（$V_{CC(OFF)} \leq$ VCC 端子電圧の状態）でも、その状態が遅延時間 t_{DLY} 継続すると、スイッチング動作を停止します。

AC 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 $V_{SEN(ON)}$ = 1.200 V 以上になると、定常動作に復帰します。

遅延時間の最大値 t_{DLY_MAX} は次式で計算できます。

$$t_{DLY_MAX} = \frac{V_{CD1} \times C_{CD}}{|I_{CD(SRC)}|} \quad (9)$$

ここで

V_{CD1}：CD 端子しきい電圧 1、3.0 V

C_{CD}：CD 端子接続コンデンサの容量（0.1μF～0.47μF 程度）

$I_{CD(SRC)}$：CD 端子ソース電流、–10.2 μA

例）C_{CD} = 0.1μF の場合、

$$t_{DLY_MAX} = \frac{3.0\ V \times 0.1\mu F}{|-10.2\ \mu A|} \approx 29.4\ ms$$

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。

$$V_{AC(OP)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_{SEN(TH)} \times \left(1 + \frac{R2 + R3}{R4}\right) \quad (10)$$

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 HVP しきい電圧	$V_{SEN(HVP)}$	5.6 V
VSEN 端子しきい電圧（オフ）	$V_{SEN(OFF)1}$	1.000 V
VSEN 端子しきい電圧（オン）	$V_{SEN(ON)}$	1.200 V

VSEN 端子には、図 9-39 のように入力電圧を検出抵抗で分圧した電圧を入力します。R2 の目安は 10 MΩ 程度です。R2、R3 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、R3 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。

図 9-39 の C4 はノイズ除去用のコンデンサで、1000 pF～0.01 μF が目安です。R2～R4、C4 は、最終的に実働動作を確認して決定します。

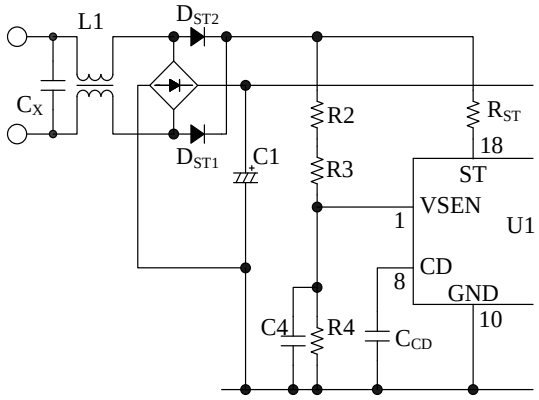


図 9-39　VSEN 端子周辺回路

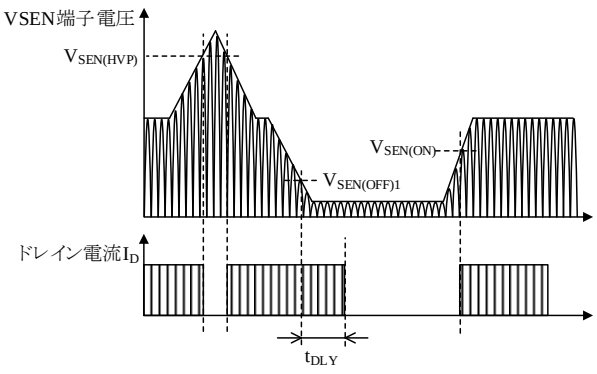


図 9-40　入力電圧保護機能動作波形

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

● **DC 入力モードの場合**

定常動作状態から DC 入力電圧が低下し、VSEN 端子電圧が VSEN 端子しきい電圧（オフ）$V_{SEN(OFF)1}$ = 1.000 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、即座にスイッチング動作を停止します。

DC 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 $V_{SEN(ON)}$ = 1.200 V 以上になると、定常動作に復帰します。

9.18 過電流保護機能（OCP）

過電流保護機能（OCP：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 9-41 の分流コンデンサ C3 は、電流共振コンデンサ Ci に比べ小さく設定できます。これにより、1 次巻線から分流される検出電流は小さくなり、検出抵抗 R_{OCP} の損失を低減できるため、R_{OCP} には小形の抵抗が使用できます。

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、R_{OCP}、C3、R6 は、実機の動作状態で調整する必要があります。

R_{OCP}、C3、R6、C8 の調整方法、定数の目安は以下のとおりです。

● C3、R_{OCP}

C3 は 100 pF～330 pF 程度（Ci の 1 %程度）、R_{OCP} は 100 Ω 前後です。

ハイサイドパワーMOSFET がオンのときの電流を $I_{D(H)}$とすると、R_{OCP} は式(11)で表せます。

R_{OCP} の検出電圧は、9.11 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 R_{OCP}、C3 を調整します。

$$R_{OCP} \approx \frac{|V_{RC(L)}|}{I_{D(H)}} \times \left(\frac{C3 + Ci}{C3}\right) \quad (11)$$

● R6、C8

高周波ノイズ除去用です。

R6 は 100 Ω～470 Ω、C8 は 100pF～1000 pF 程度です。

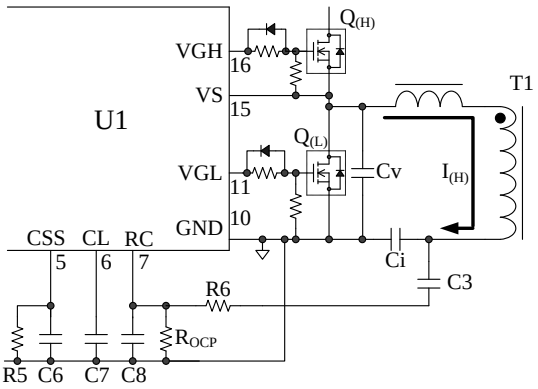


図 9-41　RC 端子周辺回路

過電流保護動作は、以下の 2 段階があります。

9.18.1 過電流保護機能 1（OCP1）

パワーMOSFET に流れる電流が増加し、RC 端子電圧の 絶対値が$|V_{RC(L)}|$ = 1.90 V より高くなると、過電流保護機能 1（OCP1）が動作し、CSS 端子に接続した C6 をシンク電流 $I_{CSS(L)}$ = 1.8 mA で放電します。これにより、スイッチング周波数を上昇させて、出力電力を抑えます。C6 を放電中に RC 端子電圧の絶対値が $|V_{RC(L)}|$以下になると、放電を停止します。

9.18.2 過電流保護機能 2（OCP2）

出力短絡時など、パワーMOSFET に急激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$|V_{RC(S)}|$ = 2.80 V より高くなると、過電流保護機能 2（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 C6 を $I_{CSS(S)}$ = 20.5 mA で放電し、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 端子電が$|V_{RC(S)}|$ 以下になると、OCP1 の動作になります。

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

9.19 過負荷保護機能（OLP）

図 9-42 に過負荷保護機能（OLP：Overload Protection）動作波形を示します。出力負荷の上昇により、RC 端子電圧の絶対値が上昇し、OCP しきい電圧（Low）の絶対値$|V_{RC(L)}|$ = 1.90 V を超えると過電流保護機能 1（OCP1）が動作します。OCP1 が動作すると、CL 端子の C7 をソース電流 $I_{CL(SRC)1}$ = −17 μA で充電します。OCP1 の状態が継続し、CL 端子電圧が $V_{CL(OLP)}$ = 4.2 V になると OLP が動作します。OLP が動作するとスイッチング動作を停止し、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。

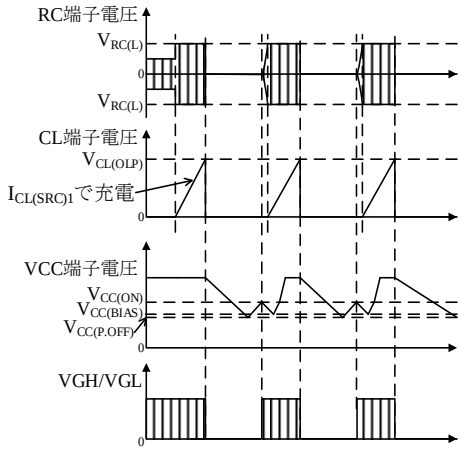


図 9-42　OLP 動作波形

9.20 過熱保護機能（TSD）

IC の制御回路部の温度が、熱保護動作温度 $T_{J(TSD)}$ = 140 °C (min.)に達すると、過熱保護機能（TSD：Thermal Shutdown）が動作し、スイッチング動作を停止します。VCC 端子電圧が $V_{CC(P.OFF)}$ = 8.9 V 以下、かつ IC の制御回路部の温度が $T_{J(TSD)}$ 未満になると保護を解除し、IC が再起動します。保護動作期間は再起動と停止を繰り返します。過熱の要因を取り除くと、通常の動作に自動復帰します。

10. 設計上の注意点

10.1 外付け部品

各部品は使用条件に適合したものを使用します。

10.1.1 入力、出力の平滑用電解コンデンサ

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。

10.1.2 共振トランス

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。

10.1.3 電流検出用抵抗 R_{OCP}

電流検出用抵抗 R_{OCP} は、高周波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。

10.1.4 電流共振用コンデンサ Ci

Ci には、大きな共振電流が流れます。Ci 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、Ci 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。

10.1.5 ゲート端子周辺回路

VGH 端子、VGL 端子は、外付けのパワーMOSFET を駆動するためのドライブ端子です。VGH 端子、VGL 端子のピークソース電流は–540 mA、ピークシンク電流は 1.50 A です。

図 10-1 の D_S は、ターンオフ時のゲート立下りスピードを早めます。R_A、D_S 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の低減など）、EMI ノイズにより調整します。

R_{GS} は、パワーMOSFET がターンオフするとき

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

の 急峻な dv/dt による誤動作防止用です。R_{GS} は 10 kΩ～100 kΩ 程度をパワー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 10-2 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。

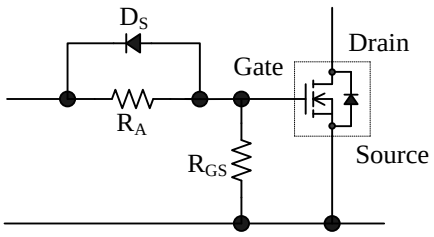


図 10-1　パワーMOSFET ゲート周辺回路

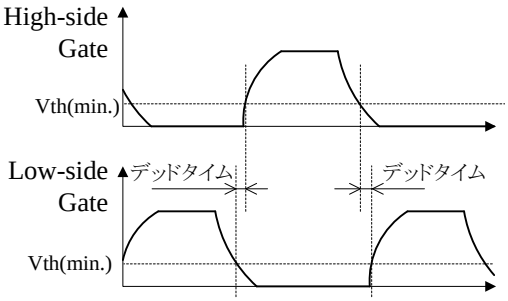


図 10-2　デッドタイムの確認

10.2 パターン設計

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 10-3 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。

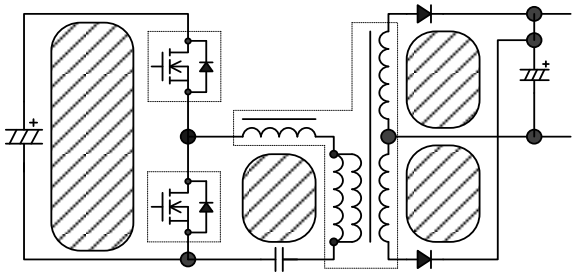


図 10-3　高周波電流ループ

以下に示す内容も配慮してパターンを設計する必要があります。 図 10-4 に IC 周辺回路の接続例を示します。

1) 主回路パターン
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
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。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、GND 端子のできるだけ近くに 1 点で配線します。

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 C2 の距離が離れている場合は、VCC 端子と GND 端子の近くにフィルムコンデンサ C_f（0.1 μF～1.0 μF 程度）などを追加します。

4) 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。

5) VB 端子周り
VCC 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（D3、R12）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。

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。

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

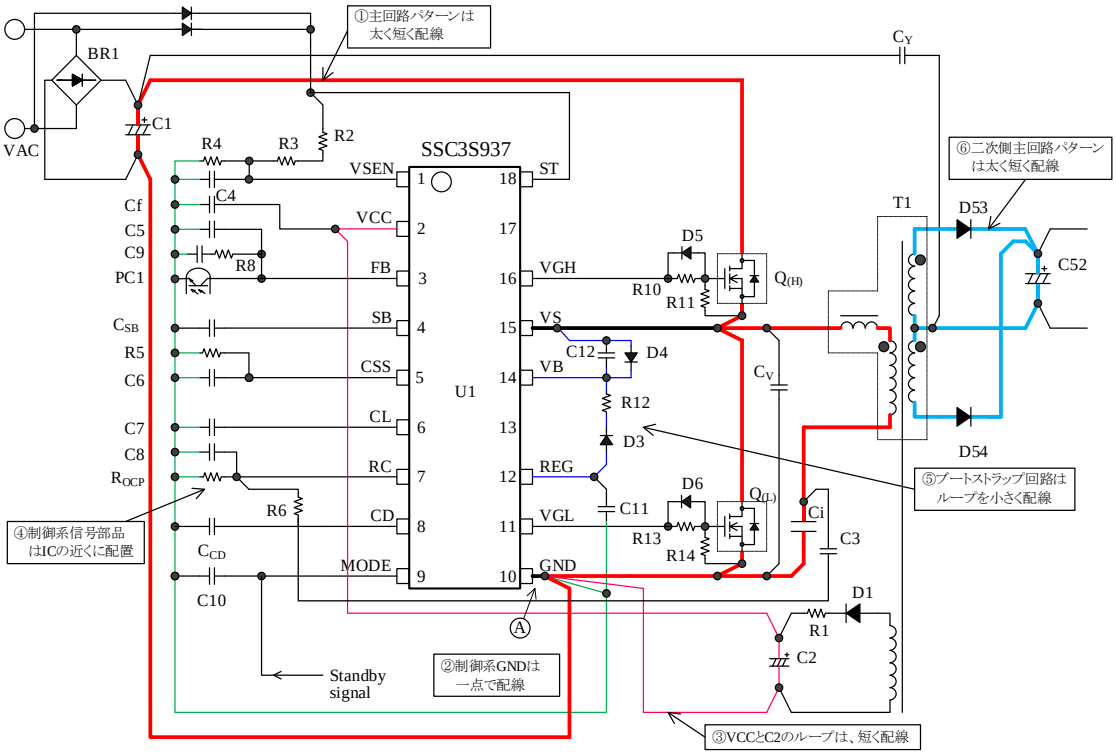


図 10-4　IC 周辺回路の接続例

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

11. パターンレイアウト例

以下に SSC3S937 を使用した 2 出力タイプのパターンレイアウト例とその回路図を示します。

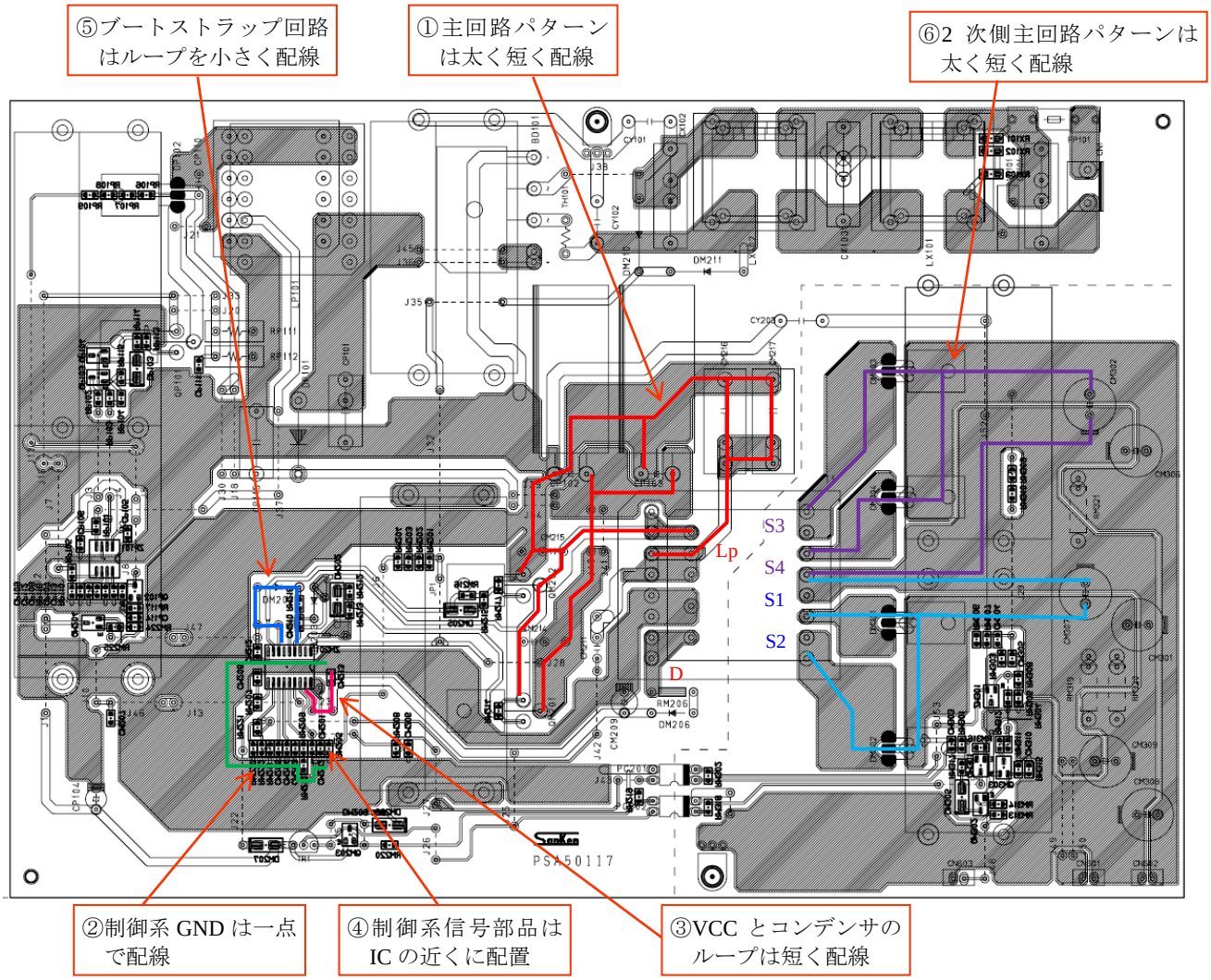


図 11-1 パターンレイアウト例

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

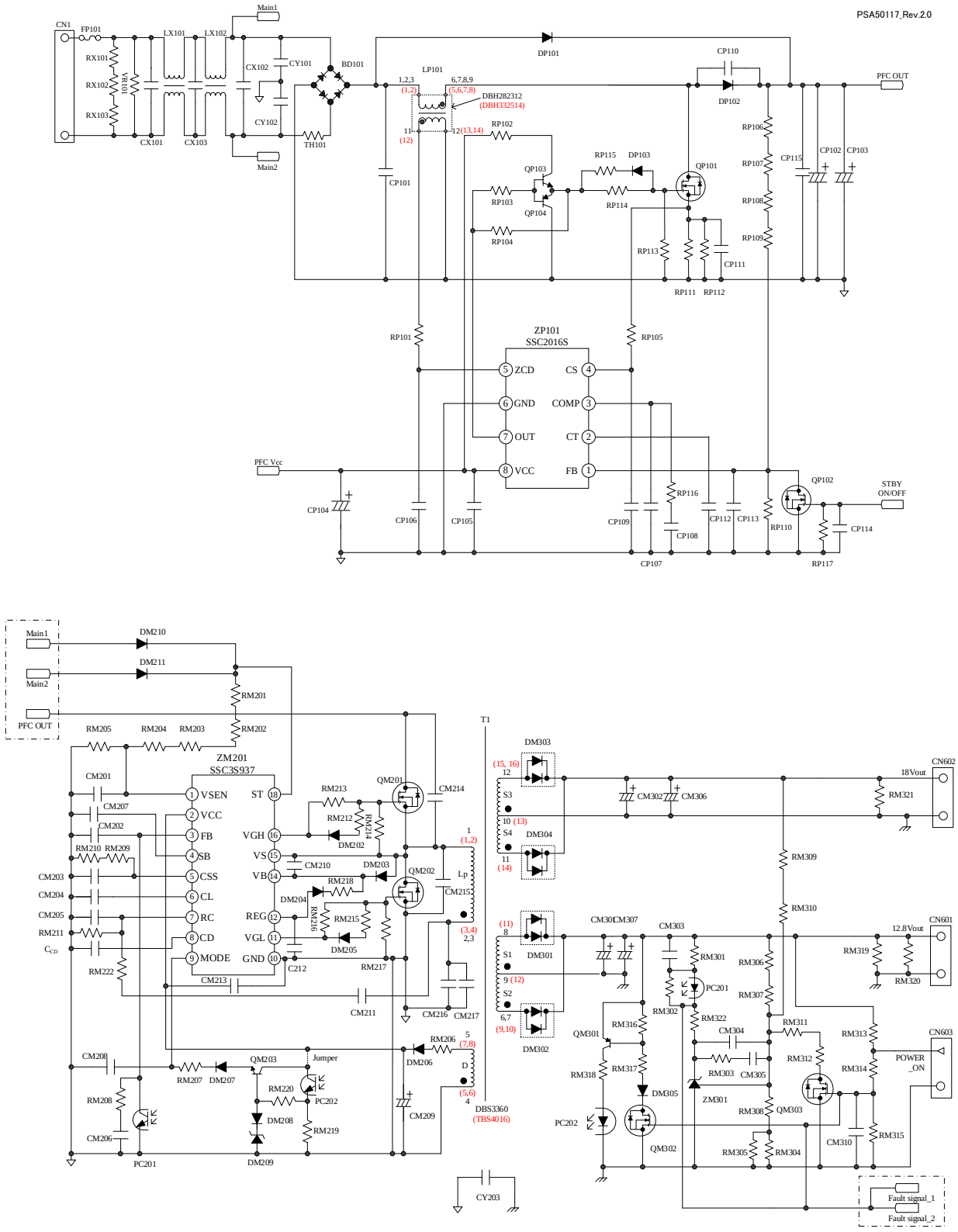


図 11-2 パターンレイアウト例回路図

© SANKEN ELECTRIC CO., LTD. 2020

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. 2020