

スイッチング電源の設計支援ツールの開発

Development of a Design Support Tool for Switch-mode Power Supplies

深石 雄士*

Yuji Fukaishi

概要 スイッチング電源の設計計算は使用するICの理解やトランス設計・回路設計等知識が必要であり、電源の設計を容易にすることは、その電源ICの採用機会を拡大する効果が期待できる。

そのような機会を増やすため、当社ICを使用した電源設計の設計支援ツール「Sanken STR Pro」を開発した。ツールの対象製品としては、販売数の多いフライバックコンバータ電源ICを選定し、周辺回路を含めた自動計算が可能である。

1. まえがき

電源ICの選定には、「ICの対応電力」「端子機能」「内部動作」「周辺回路構成・定数」等把握が必要となる内容が多い。複数メーカーの電源ICがある中で、電源を専門としない設計者が電源ICを選定する場合、QCD以外にもサポートの充実など試作検討までの容易性、検討のしやすさも要素としてあげることができる。

当社電源ICにはLLC用、PFC用などのラインナップがあり、幅広い顧客で使用されている。今回、当社電源ICの採用機会の拡大を目的とし、フライバックコンバータ用電源ICを使用した、AC/DCコンバータ設計ツール「Sanken STR Pro」を開発した。

2. ツールの思想

ユーザーには、簡易に計算結果が得られるよう、設定可能項目を最小限にした。図1にSanken STR Pro入力画面を示す。

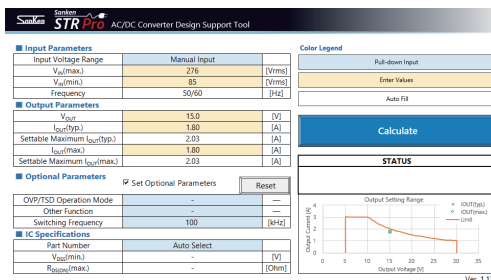


図1：Sanken STR Pro 入力画面

* 技術開発本部 ハードウェア開発統括部
システム開発部 電源制御開発課

入力画面内の黄色セルに入出力仕様と水色セルに希望する電源ICを選択することで、設計結果が得られるようにした。

設計結果として、基板設計に必要な回路図、部品表、トランス仕様を出力することで、速やかに実機の作製に取り掛かれるようにした。

3. 内部計算手順

ツール内部での設計計算は下記の順でおこなう。

- 1：トランス計算
- 2：ICの選択
- 3：周辺定数の計算

上記計算から実用的な結果を得るには理論値に加えて経験から得られた知見も必要となり、従来はFAEが手動で計算して提供していた。本ツールは理論式に加えてFAEが蓄積した知見も盛り込みエクセル・VBAを用いて自動化したものであり、ユーザーは簡単な操作で現実即した結果が得られる。

スイッチング電源の設計の根幹となるのはトランスの設計であり、まず入出力仕様をベースに条件に見合うトランスを計算する。計算は下記の要件で行っている。

- ・対応する電源ICが使用できるか (IC温度上昇が50度以下となること)
- ・トランスをできるだけ小さくする (EI16から順に計算)
- ・NI余裕度 (磁束の飽和がないこと)
- ・巻厚 (実際に巻くことができるか)

フローチャートとして示すと、図2のように示せる。

また、変数要素についても複数存在し、トランス仕様の計算は複雑である。そのため、フライバック電圧・想定効率については、入出力の条件に対してテーブルを用意して、パラメータを選択するようにした。

トランスの計算としては、二次側巻き数 N_s ・一次側巻き数 N_p を仮定し、出力仕様に合わせて、必要線径を

仮定する。その条件で、ギャップ L_g を0mmから徐々に増加させて、すべての判定を満たすまで繰り返すものとなる。

ここで L_g とトランスのインダクタンス L とNI余裕度(一次側許容電流)の関係を図3に示す。 L_g が小さいとトランスのインダクタンス L は大きくなり、NI余裕度(図3の一次側許容電流)が小さい。NI余裕度が必要な値となる L_g でその計算条件で最大のインダクタンスとなるため、インダクタンスが基準判定値より大きければ計算終了となる。

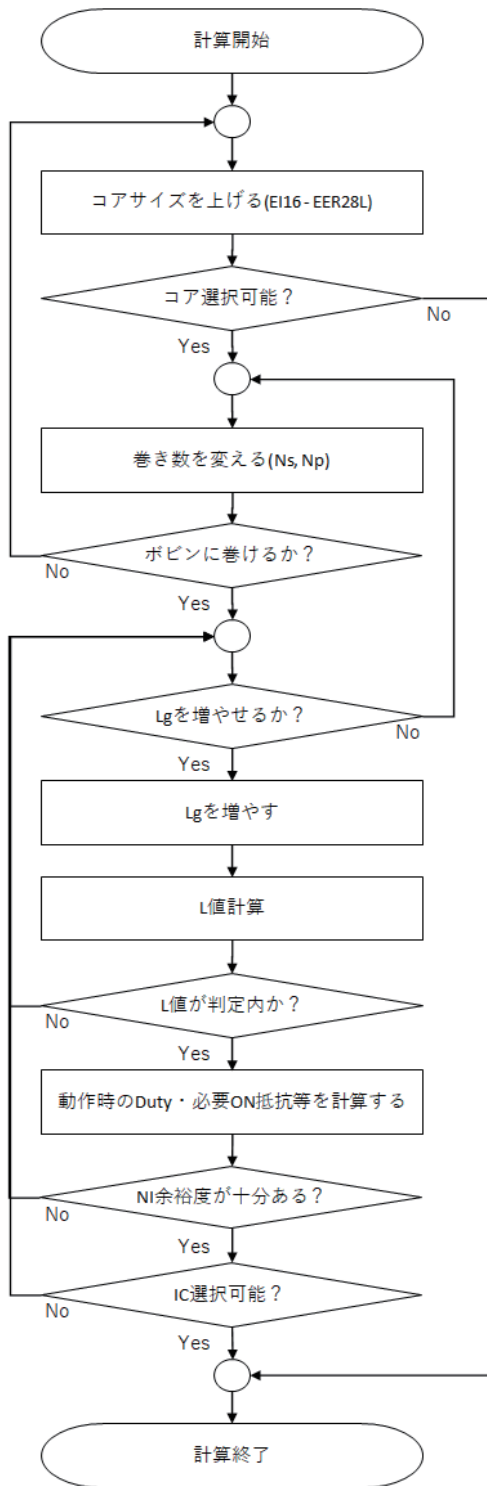


図2：トランス計算判定フローチャート

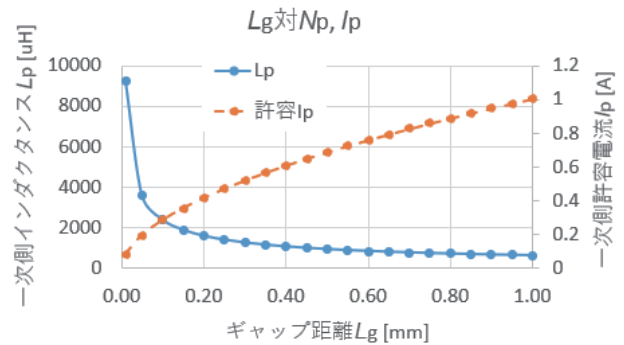


図3： L_g とインダクタンスの関係(例：EI16, $N_p=100T$)

トランスを試作・量産するためには、コアやポビン等の部材入手性を考慮する必要がある。そのため今回は、サンシン電気⁽¹⁾ 経由で供給可能なコアとボビンの情報を提供いただき、その図面をもとに計算するようにしている。供給可能なポビンに基づいた設計を行うため、実現可能な設計結果を得ることができるほか、結果を基にトランス試作依頼も可能である。

手計算の手法ではある程度のあたりをつけて計算を行うため、最適値に調整するためには計算する工数が多くなりすぎる場合がある。本ツールでの計算は、二次側巻き数 N_s ・ L_g の組み合わせに対して総当たりで計算を行い、より小さいコアで必要なインダクタンスを満たすかどうかを判定している。そのため、手計算では工数がかかりすぎて難しい、指定条件内で最適となる結果を得ることができる。

AC-DC電源設計ではACラインのノイズ対策も設計が難しい項目としてあげられる。本ツールでは蓄積された実機でのノイズデータを基に、電源の電力仕様に合わせたノイズフィルタを選定するようにしている。これにより妥当なノイズフィルタが選定可能となり、ユーザーのノイズ対策関連の工数削減が期待できる。

また、当社フライバックコンバータ用電源ICは、負荷に応じて発振周波数を低減する「グリーンモード」を有している。図4のように「グリーンモード」により

発振周波数が変化するため、固定周波数のPWMと比較して計算が複雑となる。本ツールでは、計算する負荷領域に対応する発振周波数を求め、より適したICを選択するようにしている。

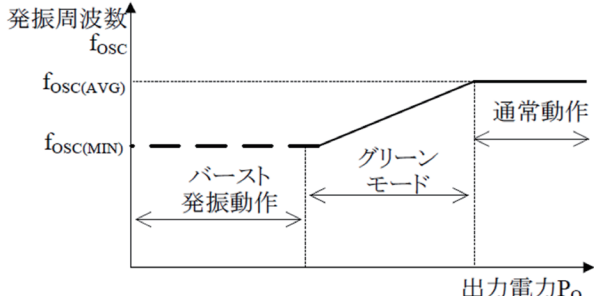


図4：グリーンモード模式図

Reference	Category	Rating	Manufacturer	Reference model number	Remarks
R1	Fuse	250VAC(2.5A)	-	-	Safety standard product
TH1	Thermistor	4.7Ω(0.25A)	-	-	-
C1	Film capacitor	330VAC(0.1uF)	-	-	X2-Safety Class
C2	Electrolytic capacitor	450V(50uF)	-	-	High ripple current product
C3	Chip Ceramic Capacitor	1000V(1000pF)	-	-	-
C4	Chip Ceramic Capacitor	1000V(10pF)	-	-	-
C5	Chip Ceramic Capacitor	50V(1500pF)	-	-	-
C6	Electrolytic capacitor	50V(22uF)	-	-	-
C7	Ceramic Capacitor	300VAC(2200pF)	-	-	X1Y1 Class
C8	Chip Ceramic capacitor	50V(1000pF)	-	-	-
C91	Electrolytic capacitor	25V(470uF)	-	-	Low impedance product
C92	Chip Ceramic Capacitor	50V(100pF)	-	-	-
C93	Electrolytic capacitor	250V(450uF)	-	-	Low impedance product
BR1	Bridge Diode	800V(15A)	-	-	-
D1	Snubber Diode	800V(15A)	Sanken	SARS05	-
DS1	Schottky Diode	150V(5A)	Sanken	SJPE-T15	Need HeatSink
D2	Fast Recovery Diode	300V(10A)	Sanken	SJFX-H3	-
L1	Lane Filter	180mΩ(5A)	-	-	-
T1	Transformer	E02	-	-	-
R1	Chip Resistor	820Ω(0.25W)	-	-	Maximum rated voltage above 200V
R2	Chip Resistor	100Ω(0.25W)	-	-	-
R3	Chip Resistor	2.2Ω(0.25W)±1.5%	-	-	-
R4	Chip Resistor	200Ω(0.50W)±1.5%	-	-	-
R5	Metal Oxide Film Resistor	46Ω(0.1W)	-	-	-
R6	Chip Resistor	120Ω(0.25W)±1.1%	-	-	Theoretical value: 128.8Ω(Ohm) (e.g. 300Ω(Ohm) // 360Ω(Ohm))
R7	Chip Resistor	3.3Ω(0.25W)±1.1%	-	-	Maximum rated voltage above 150V
R8	Chip Resistor	3.3Ω(0.25W)±1.1%	-	-	Maximum rated voltage above 150V
R9	Chip Resistor	3.3Ω(0.25W)±1.1%	-	-	Maximum rated voltage above 150V
R91	Chip Resistor	2.2Ω(0.25W)	-	-	-
R92	Chip Resistor	10Ω(0.25W)	-	-	-
R93	Chip Resistor	100Ω(0.25W)	-	-	-
R94	Chip Resistor	470Ω(0.25W)±1.1%	-	-	-
R95	Chip Resistor	3.3Ω(0.25W)±1.1%	-	-	-
R96	Chip Resistor	100Ω(0.25W)±1.1%	-	-	-
U1	Off-line PWM controller IC	700V(1.95Ω)max	Sanken	STR6161H0D	-
U2	Shunt Regulator	2.485V(±1.1%)	Texas Instruments	TL431	-
PC1	Optocoupler	2x10.16mm	Toshiba	TLF185	-
PN	Connector	2x50V(17A) Pin:7.62mm	JST	BDP3-VH	-

図7：部品表

4. 得られる結果

計算の結果として、以下を得ることができる。

1. 「トランス仕様」(図5)
2. 「回路図」(図6)
3. 「部品表」(図7)

Transformer Design

1. Specifications of Power Supply

AC Input Voltage	85 - 276 [VAC]
Frequency	50/60 [Hz]
Total Output Power (Thermal Rating)	15 [W]
Total Output Power (Peak Load)	15 [W]

2. Target Value of Calculation

IC	STR6S161HXD	-
Average Input Current	0.164 [A]	
Peak Switching Current	0.656 [A]	
Max. On Duty IC Control Type	48.8 [%]	
Switching Frequency	100 [kHz]	

3. Transformer Specifications

Core Material / Size	PC40 / E122	-
Center Gap Thickness (Ref.)	0.53 [mm]	
AL - Value	135 [mH/N ²]	
LP - Value	820 [uH]	

4. Circuit Diagram

5. Winding Order

*Insulation tape 25um
Apply 1 layer between S and D, between P and S.
Finally, wrap 3 layers on the outer layer.

No.	Winding	Terminal No.(S-F)	Turns	Layer	Wire type	Wire size [mm]	Remarks
1	P1	3 - 4	52	2	1UEW	0.26	1para Center Solenoid Winding
2	S1	6 - 10	12	1	T1W	0.4	
3	D	2 - 1	15	1	1UEW	0.2	1para Solenoid Winding
4	S2	7 - 9	12	1	T1W	0.4	
5	P2	4 - 5	26	1	1UEW	0.26	

図5：トランス仕様

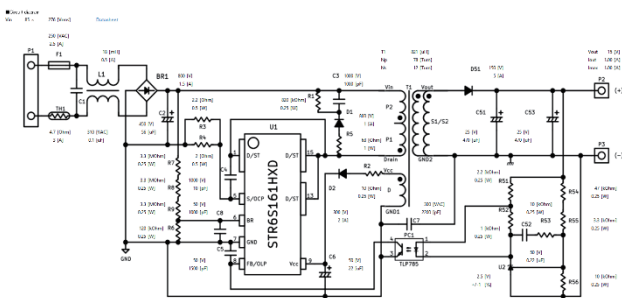


図6：回路図

- ・トランス仕様については、トランス試作に必要なパラメータを網羅した結果を出力可能なため、そのままトランスメーカーへ提出し迅速な試作ができるようにした。
- ・回路図については当社標準デモボードに準拠しているため、基板の作製が容易に可能である。
- ・部品表については定格を記載し、部品選定のサポートとしている。

5. 結果の妥当性

AC/DCコンバータ設計ツールとしては実機に適用できる結果が得られることが重要であり、結果が実用的でない場合は設計効率の改善という主目的が果たせない。

今回、本ツールの検証として、出力された結果を基にSTR6A153MVDを使用した出力15V/1.61Aの基板(DE0023⁽²⁾(3))を試作した。評価した結果を以下に示す。(図8～図11, 表1)

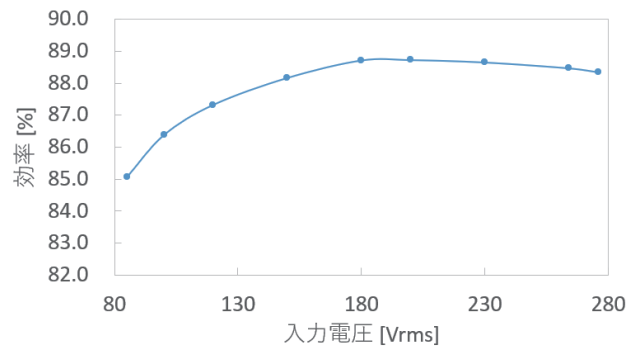


図8：入力電圧対効率

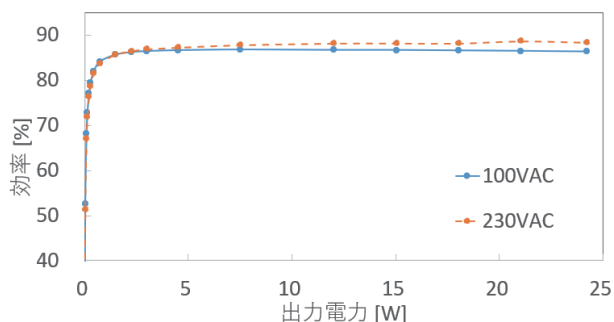


図9：出力電力対効率

図8と図9の効率特性から定格負荷時の効率が85%以上であるため、十分な性能となっていることが確認できた。

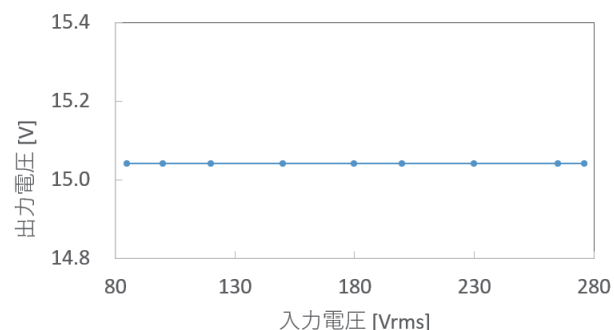


図10：ラインレギュレーション

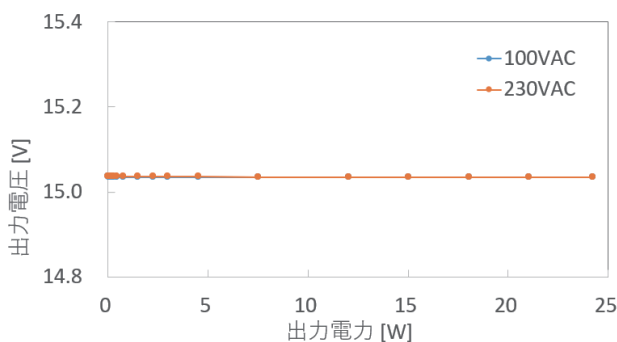


図11：ロードレギュレーション

図10と図11のレギュレーション特性についても入力電圧や出力負荷に対して出力電圧の変化が小さく、問題ないことが確認できた。

表1に部品温度上昇の結果を示す。ICやトランスの温度上昇についても雰囲気温度50度に対して部品温度100度以下であることが確認できた。

以上の結果より、実用上問題の無い特性であることが確認できた。

表1：部品温度

周囲温度 [°C]	入力電圧 [VAC]	定常時ケース温度 [°C]		
		電源 IC (U1)	2次側整流ダイオード (D51)	トランス (T1)
25	85	70.5	72	52.7
	276	59.8	72.4	52.7
50*	85	95.5	97	77.7
	276	84.8	97.4	77.7

* 周囲温度 25°C から換算したケース温度

6. 今後の展望

今回開発した Sanken STR Pro は当社ホームページで自由にダウンロードできるようにしており、国内外の幅広い方々にダウンロード頂くことができた。

現時点のツールは単出力であるが、フライバックコンバータは多出力で使われることも多く、ユーザーから多出力対応の要望もいただいている。また、ユーザーの関心点としてはトランスの温度上昇も挙げられる。

そのため次バージョンとして多出力、トランス温度推定機能の追加も検討中である。

7. むすび

今回、当社フライバックコンバータ用電源ICであるSTRシリーズを使用した、AC/DCコンバータ設計ツール「Sanken STR Pro」を開発し、経験が必要だったAC-DC電源の設計を簡略化することができた。

今後も機能の追加アップデートを行い、より利便性の高いツールとしていきたい。

最後に、ツール作成にあたり協力してくださった方々に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) サンシン電気株式会社
<https://www.sanshin-ele.com/sanshin/index.html>
- (2) サンケン電気 AC/DC コンバータ IC 電源設計例 DE0023 日本語版
<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/common/pdf/designexample/dej0023.pdf>
- (3) サンケン電気 AC/DC コンバータ IC 電源設計例 DE0023 英語版
<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/common/pdf/designexample/dee0023.pdf>