

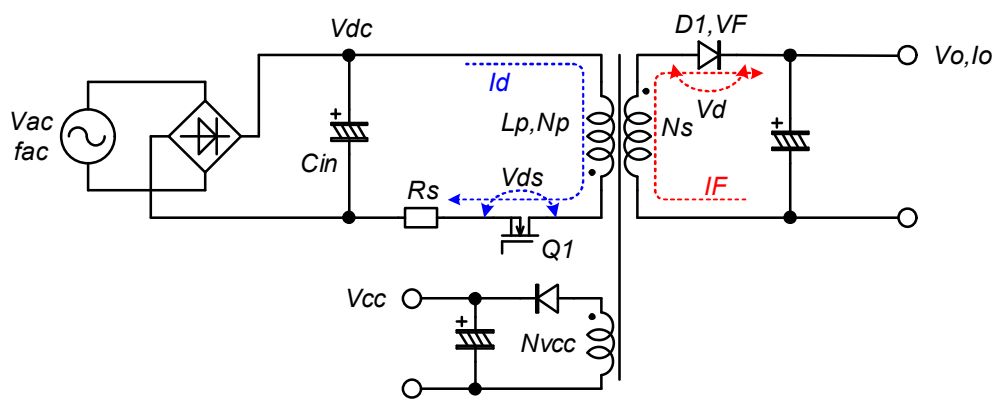
Fly-back トランス設計方法

Design tool

1. 概要

本資料は、Fly-backタイプ電源のトランスの設計方法について説明します。本解説はトランス設計ツールとして提供するExcelファイルについて記載しています。

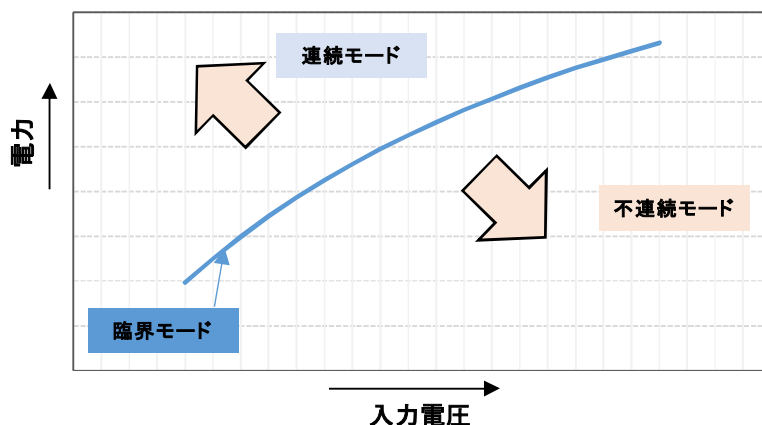
2. Fly-backの基本回路図



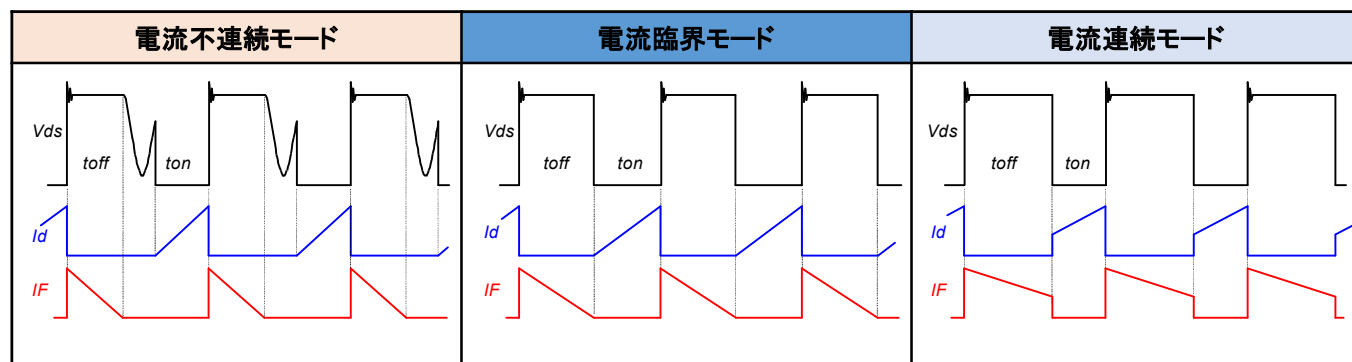
3. フライバック回路の動作モード

フライバック回路の動作モードは、電流不連続モード、電流臨界モード、電流連続モードがあります。この動作モードは入力電圧、出力電流の状態により変化します。(通常、動作モードは混在します) トランス設計の際は、あらかじめ、どの入出力条件でどのモードで動作させるか決めておく必要があります。

電力 vs. 入力電圧



動作波形



4. トランス設計に必要なパラメータ

項目		記号	単位	必要な条件
電源仕様	出力電圧	V_o	Vdc	
	定格出力電流(最大)	I_o	Adc	
	過負荷保護動作電流	I_{olp}	Adc	
	入力電圧	V_{ac}	Vac	Min,Max
	入力周波数	f_{ac}	Hz	Min
	変換効率	η	%	
	スイッチング周波数	f_{sw}	kHz	
使用部品	入力電解コンデンサ容量	C_{in}	μF	
	2次側ダイオードVF	VF	Vdc	
	使用最大磁束密度	ΔB	T	
使用コア	コア有効磁路長	l_e	mm^2	
	コア有効断面積	A_e	Mm	
	比透磁率(振幅透磁率)	μ_a		
使用条件	フライバック電圧	V_r	Vdc	
	MOSFETサージ電圧(推定)	V_{sgm}	Vdc	
	2次側ダイオードサージ電圧(推定)	V_{sgd}	Vdc	
	動作モード設定時の入力電圧	$V_{in(cr)}, V_{in(cc)}$	Adc	
	動作モード設定時の出力電流	$I_{o(cr)}, I_{o(cc)}$	Adc	
	動作モード設定時の連続度 (連続モードのみ)	k		

5. 計算で算出されるパラメータ

項目		記号	単位	
計算で算出	出力電力	P_o	W	P_o, P_{olp}
	リップル電圧(概算値)	V_{ripple}	Vdc	$V_{ripple}, V_{ripple(olp)}$
	最低入力電圧	$V_{dc(min)}$	Vdc	$V_{dc(min)}, V_{dcolp(min)}$
	最大入力電圧	$V_{dc(max)}$	Vdc	
	入力電力	P_{in}	W	P_{in}, P_{inolp}
	スイッチング周期	T	μs	T, Ton
	MOSFET最大電圧	$V_{ds(max)}$	Vdc	
	2次側ダイオード最大電圧	$V_d(max)$	Vdc	
	Duty	D		
	1次側インダクタンス	L_p	μH	
	1次側巻線数	N_p	Tn	
	2次側巻線数	N_s	Tn	
	VCC巻線数	N_{vcc}	Tn	
	コアギャップ長	l_g	mm	
	1次側ピーク電流	I_{peak}	A	
	1次側電流(実効値)	I_{prms}	Arms	
	2次側電流(実効値)	I_{srms}	Arms	
	出力コンデンサ電流(実効値)	I_{crms}	Arms	
	コア内磁束密度	Bc	T	

6. フライバック用トランス設計フロー

Step	項目	内容
Step-0	動作モードの決定	臨界モード(不連続モード)で設計するか、連続モードで設計するかを決めます。
Step-1	Parameter決定	電源仕様及び使用部品を仮決めます。
Step-2	Flyback電圧決定	使用するMOSFETと2次側ダイオードの耐圧によりフライバック電圧を決めます。
Step-3	巻数比決定	フライバック電圧により巻数比が決まります。
Step-4	臨界or連続モード時の動作条件	設計ポイントにおける各条件を決めます。
Step-5	Duty, L_p 計算	Step-4の動作条件におけるDuty, L_p を計算します。
Step-6	$D(\max)$ 計算 OLP時	電源仕様での最大Dutyを求めます。
Step-7	I_{peak} 計算	Step-4で設定した L_p と最大Duty条件で1次側に流れる最大電流 I_{peak} を求めます。
Step-8	2次側巻数 N_s 決定	使用コアの仕様、 L_p , I_{peak} より2次側巻数 N_s を計算します。
Step-9	1次側巻数 N_p 決定	2次側巻数と巻数比より1次側巻数 N_p を計算します。
Step-10	VCC巻線 N_{vcc} 決定	使用するVCC電圧と2次側巻数からVCC巻線 N_{vcc} を計算します。
Step-11	Gap決定	L_p 値を満たすためのトランスのgapを計算します。
Step-12	計算結果チェック	計算結果をチェックします。ここでは最大磁束密度とフライバック電圧が目標値に合っている事を確認します。
Step-13	電流計算(定格出力時)	連続的に動作させる条件(発熱確認等)での各部の電流値を計算します。 ここで、計算される1次側、2次側電流値及び巻数を確認し、使用する予定のコア(ボビン)で巻けないと考えられる場合は、コアの再選定を行います。
Step-14	動作状態チェック	任意の動作条件におけるDuty、連続度、ピーク電流等を確認します。

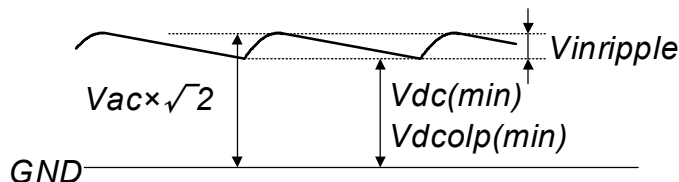
7. フライバック用トランス設計

Step-0 : 動作モードの決定

- ◆ 動作モードを決定します。
 - ✓ 狙いの条件で電流連続モードで動作させたい場合は、『電流連続モード』のシートを選択します。
 - ✓ 狙いの条件が、電流不連続モード及び臨界モードで動作させたい場合は、『電流臨界モード』のシートを選択します。
- ◆ 使用するコア材を仮決定します。
 - ✓ 使用するコアの選定は、カタログに記載されている出力電力を目安にします。

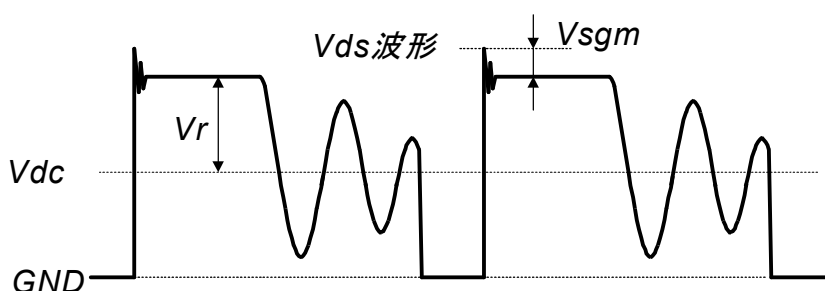
Step-1 : Parameter決定

- ◆ 電源仕様を入力します。
 - ✓ 電源の入出力仕様を入力します。効率は推定値で入力します。
 - ✓ 最低入力電圧は、出力電力及び入力電解コンデンサ容量によって変動します。本シートでは概略値を自動的に計算しています。
- ◆ 使用部品条件を入力します。
 - ✓ 入力電解コンデンサは、温度特性、経年劣化がありますので、それらを考慮した値を入力してください。
 - ✓ 使用最大磁束密度は、使用するコア材によって異なりますが、一般的には0.25～0.3T程度です。



Step-2 : Flyback電圧決定

- ◆ フライバック電圧の目安を決めます。
 - ✓ 使用予定のMOSFETの耐圧と2次側ダイオードの電圧のバランスを見ながらフライバック電圧 V_r を決めます。
 - ✓ サージ電圧 V_{sgm} 、 V_{sgdl} は、設計段階では不明のため、推定値を入力します(30V程度)
 - ✓ 一般的に、ワイド電源(AC90V～AC264V)の場合は、耐圧は600V～900Vを使用します。600V耐圧品を使用する場合は、マージンを考慮して、フライバック電圧は80～110Vに設定します。



$$V_{ds(max)} = V_r + V_{dc(max)} + V_{sgm}$$

$$V_d(max) = V_o + \frac{V_o + V_F}{V_r} \times V_{dc(max)} + V_{sgd}$$

Step-3 : 巻数比決定

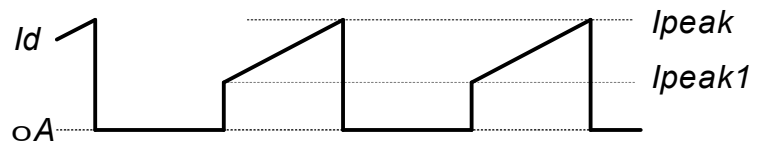
- ◆ フライバック電圧が決まると巻数比 n が決まります。

$$n = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_r}{V_o + V_F}$$

Step-4 : 臨界or連続モード時動作条件

- ◆ どのような条件で、臨界モードまたは連続モードで動作させるか設定します。
- ✓ 臨界モードの場合は臨界モードで動作させたい入力電圧と出力電流を入力します。尚、この時の入力電圧は入力リップル電圧を考慮しておりません。
- ✓ 不連続モードで動作させる場合は、最低入力電圧、最大出力電流条件で臨界モード以下となる電圧、電流を設定してください。
- ✓ 連続モードで設計する場合は、設計ポイントの入力電圧と出力電流及び連続度kを入力します。

$$k = \frac{I_{peak1}}{I_{peak}}$$


Step-5 : Duty, Lpの計算

- ◆ Step-4で設定した動作条件で動作させるための1次側インダクタンスLpを求めます。
- ✓ Lpは計算結果から概数値を入力します。

$$Duty = \frac{V_r}{V_{dc} + V_r}$$

$$Ton = \frac{Duty}{f_{sw}}$$

・臨界モードの場合

$$Lp = \frac{V_{indc}^2 \times Ton^2 \times f_{sw}}{2 \times Pin}$$

・連続モードの場合

$$Lp = \frac{1+k}{1-k} \times \frac{V_{dc}^2 \times Ton^2 \times f_{sw}}{2 \times Pin}$$

Step-6 : D(max)の計算

- ◆ 動作上の最大Dutyを計算します。
- ✓ 最大Dutyの動作条件は、最大出力(過負荷保護動作電流)、最低入力電圧となります。
- ✓ ここでは、最大Dutyとなる条件での動作モードは連続モードとしています。

$$D(max) = \frac{V_r}{V_{dcolp(min)} + V_r}$$

$$Ton(max) = \frac{D(max)}{f_{sw}}$$

Step-7 : Ip(peak)の計算

- ◆ 1次側に流れる最大電流を計算します。

$$k(max) = \frac{2Lp \times Pin_{olp} - V_{dcolp(min)}^2 \times Ton(max)^2 \times f_{sw}}{2Lp \times Pin_{olp} + V_{dcolp(min)}^2 \times Ton(max)^2 \times f_{sw}}$$

$$Ip(peak) = \frac{V_{dcolp(min)} \times Ton(max)}{(1 - k(max)) \times Lp}$$

Step-8: 2次側巻数Nsの決定

- ◆ 2次側巻数を計算します。
- ✓ 計算結果は整数に切り上げて入力します。

$$N_s = \frac{L_p \times I_{peak}}{n \times B_m \times A_e}$$

Step-9: 1次側巻数Nsの決定

- ◆ 1次側巻数を計算します。
- ✓ 計算結果は整数に切り上げて入力します。

$$N_p = n \times N_s$$

Step-10: VCC電圧巻数Nvccの決定

- ◆ VCC電圧巻数を計算します。
- ✓ 使用するICの動作電圧に応じてVcc電圧を入力します。
- ✓ VCC電圧巻線の電圧は、入力電圧、出力電流の条件により変動します。このため、ここで計算されるVCC電圧巻数は目安となります。最終的には実際に動作させて巻数を決定してください。

$$N_{vcc} = \frac{V_{cc}}{V_o + V_F} \times N_s$$

Step-11: gapの決定

- ◆ 使用予定のコア材で必要となるgapを求めます。
- ✓ ここで計算されるgapは目安です。一般的にはL値優先でトランスを作成します。

$$gap = \frac{\mu_0 \times N_p^2 \times A_e}{L_p} - \frac{l_e}{\mu_c}$$

Step-12: 計算結果のチェック

- ◆ L値、巻数を任意の値に設定したので、計算チェックを行います。
- ✓ 使用最大磁束密度はParameterで入力した磁束密度を超えない事を確認してください。
- ✓ フライバック電圧は、設定値と大きく差が無い事を確認してください。

$$B = \frac{\mu_0 \times N_p \times I_p}{\frac{l_e}{\mu_c} + gap}$$

$$V_r = \frac{N_p}{N_s} \times (V_o + V_F)$$

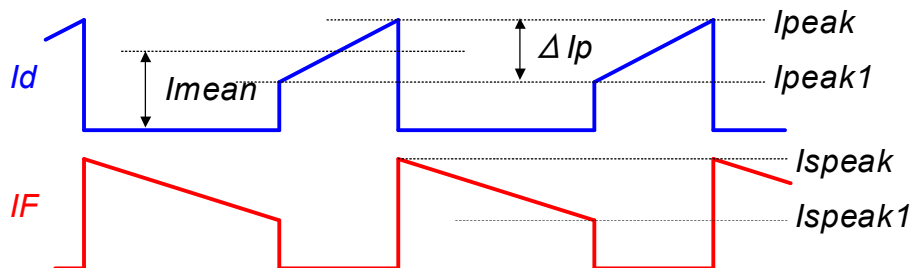
Step-13: 電流計算(定格出力時)

- ◆ 定格出力時または、最大出力時の電流値を求めます。
 - ✓ 1次側電流及び2次側電流を求め、トランスに使用する線材の目安とします。
 - ✓ 出力コンデンサに流れる電流(実効値)を求め、電解コンデンサを選定します。

$$D = \frac{V_r}{V_r + V_{dc}(\min)}$$

$$T_{on} = \frac{D}{f_{sw}}$$

・連続モードの場合



・連続モードの場合

$$I_{mean} = \frac{P_{in}}{V_{dc} \times D}$$

$$\Delta I_p = \frac{V_{dc} \times D}{L_p \times f}$$

$$I_{peak} = I_{mean} + \frac{\Delta I_p}{2}$$

$$I_{peak1} = I_{mean} - \frac{\Delta I_p}{2}$$

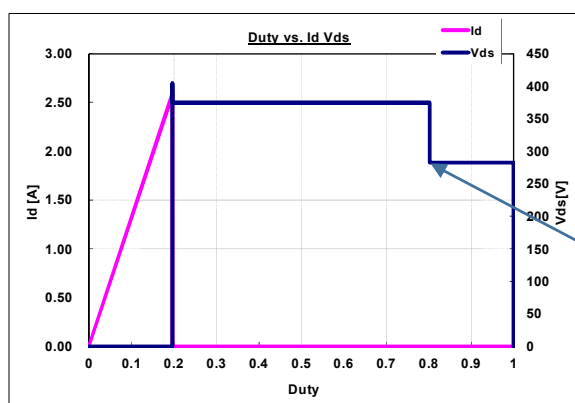
$$I_{prsm} = \sqrt{D \times \left(\frac{\Delta I_p^2}{3} + I_p \times I_{pb} \right)}$$

$$I_{srms} = \sqrt{(1-D) \times \left(\frac{\Delta I_s^2}{3} + I_{sp} \times I_{sb} \right)}$$

$$I_{crms} = \sqrt{I_{srms}^2 - I_o^2}$$

Step-14: 動作状態チェック

- ◆ 任意のポイントでの動作状態をチェックします。
 - ✓ 動作状態をチェックしたい入力電圧と出力電流を入力すると、波形表示されます。尚、この時の入力電圧は入力リップル電圧を考慮しておりません。
 - ✓ また、本動作チェックは周波数低減機能を内蔵したICには適用していませんのでご注意ください。



Vds波形に段差が付いている場合は不連続モード動作となります。

ご注意

1. 本資料の内容（製品の仕様、特性、データ、材料、構造など）は2016年7月現在のもので、この資料に記載の製品は仕様変更のため、または他の理由により事前の予告なく変更されることがあります。この資料に記載されている製品を使用される場合には、その製品の最新版の仕様書を入手して、データを確認してご使用ください。
2. 本資料に記載の手法による計算結果は、あくまで参考値としてご使用ください。この資料を使用して得られた計算結果（計算値）は富士電機製品、及び動作を保証するものではありません。
3. 本資料の一部または全部の転載複製については、文書による当社の承諾が必要です。

- 本資料の内容は改良などのために予告無く変更することがあります。
- 本資料に記載されている応用例や部品定数は、設計の補助を目的とするものであり、部品バラツキや使用条件を十分に考慮したものではありません。ご使用にあたっては、これら部品バラツキや使用条件等を考慮した設計をお願いします。