

Primary winding

Secondary winding

Flyback(RCC)トランス

トランスの形状を決めるために

Ver.1

Leakage flux

Φ_{12}

Main flux

Φ_{01}

Φ_{02}

Φ_{21}



始めに

■目的

- DC-DCコンバータトランスの形状選択
 - ◆ フライバック(Flyback)回路やリングゲチョーク(RCC)回路のトランス形状を検証するためのツールです。
 - ◆ 出力電力と駆動周波数から形状を選ぶことができますがより根拠に基づいて選択できるようになります。
- 概要
 - ◆ 身近なExcelを利用することで簡単に求められるようになります。
 - ◆ シミュレーションと違いDC-DCコンバータの計算式を使用しているので理論値となります。

■使い方

- 入力・計算結果
 - ◆ 黄色セルが入力です。
 - ◆ 黄緑色セルが結果です。
- Sheet「波形」
 - ◆ 電氣的条件を入力して、電流(波形)、電圧(波形)を計算し表示します。1次(入力)ピーク電流を算出しています。
 - ◆ 連続モード・不連続モードの確認。

- ◆ 反射電圧の確認

- ◆ Duty
の確認を行います。

● Sheet「形状」

- ◆ トランス形状とコアGapより飽和電流、磁束密度、インダクタンス値を計算します。
- ◆ Sheet「波形」のデータと比較して適合するか検証します。

● Sheet「EPC型」「EE型」「ER型」

- ◆ 指定の電線径、巻数で巻き切れるか検証します。
- ◆ 直流抵抗DCRを予想します。

● Sheet「銅損」

- ◆ 表皮効果を加味した銅損を計算します。

■その他

- ◆ 鉄損の計算も用意しております。銅損+鉄損=全損失として発熱計算の基本ができています。
- ◆ その他の回路方式にも対応準備があります。
- ◆ 計算式の提供は可能です。
- ◆ ご協力・ご指導して頂ける方よろしくお願ひ申し上げます。

Sheet「波形」:条件入力

■入力関係

- RCC
 - ◆ フライバック方式がDefaultですがリングングチョーク(RCC)型ならチェックを入れます。
- EE型、ER型、EPC型
 - ◆ トランスのコア形状を選択します。
- 電気的条件を入力します。
 - ◆ 出力Pout1~Pout10まで出力電圧Voutと出力電流Ioutを入力します。
 - ◆ 入力電圧Pout(V)
 - ◆ 推定効率 η (%)
 - ◆ 1次(入力)巻数Np(t)
 - ◆ 2次最大巻数Ns(Max.)(t)
 - ◆ 駆動周波数fsw(kHz)
 - ◆ 各巻線の線径 ϕ (mm)と本数を入れます。

■結果関係

- 各電力Pout
 - ◆ 出力電圧 × 出力電流=出力電力です。
- 合計出力
 - ◆ 各出力電圧の一番高い電圧に負荷を統合しています。その時の出力電圧と出力電流。
 - ◆ これで計算が簡単になります。

● 入力

- ◆ 効率考慮した出力電力と変換出力電圧とその時の出力(負荷)電流。

● 巻数比

- ◆ Np/Ns。

● 反射電圧 vs 入力電圧

- ◆ 入力電圧範囲が広い仕様で低入力電圧の場合、反射電圧が入力電圧を越える場合があります。そのチェックしています。

	入力セル						
	結果セル			<input type="radio"/> EE型	<input type="radio"/> ER型	<input checked="" type="radio"/> EPC型	
out	線径(mm)	本数	形状DCR	決定DCR	手動DCR	電流密度(A)	

L値とピーク電流の関係		RCC		
項目	各電圧Vout	単位	各電流Iout	各電力Pout
出力Pout1	15.0	V	0.050	0.75
出力Pout2	15.0	V	0.050	0.75
出力Pout3	8.0	V	0.100	0.80
出力Pout4	5.0	V	0.050	0.25
出力Pout5		V		0.00
出力Pout6		V		0.00
出力Pout7		V		0.00
出力Pout8		V		0.00
出力Pout9		V		0.00
出力Pout10		V		0.00
合計出力Pout	15.0	V	0.200	2.55
入力Pin	12.0	V	0.250	3.00
推定効率 η		%		
1次巻数Np		t		
2次最大巻数Ns(max)		t		
巻数比R	1.94			
駆動周波数: fsw	80	kHz		
反射電圧Vr vs 入力電圧				1.40

Sheet「波形」: 線径と電流密度

■入力関係

- 線径
 - ◆ 各巻線の公称線径を入力します。
- 本数
 - ◆ バイファイラー巻きなど複数本同時に巻線する場合の本数。
- 手動DCR
 - ◆ 既にサンプルなどがありDCRが既知の場合入力します。

線径(mm)	本数	形状DCR	決定DCR	手動DCR	電流密度(A/mm ²)
0.10	1	0.588	0.588		6.97
0.10	1	2.603	2.603		6.97
0.10	2	2.750	2.750		6.97
0.10	1	1.115	1.115		6.97
0.23	2	0.137	0.137		3.01

■結果関係

- 形状DCR
 - ◆ 別Sheetで推定DCRを計算しています。その結果が表示されます。
- 決定DCR
 - ◆ 手動DCRの入力があれば決定DCRに転記されます。
- 電流密度
 - ◆ 一般的に経験則で4-6A/mm²と言われています。越えていれば注意が必要です。

Sheet「波形」: 臨界モード・スパイク電圧

■結果関係(臨界モード)

- Duty(%)
- Ton(usec)
- Toff(usec)
- 1次臨界L値Lpb(uH)
 - ◆ 臨界(バウンダリー)モード時のインダクタンス値を表示します。
- 1次ピーク電流Io-p(A)
 - ◆ コアの飽和電流以下に抑えなければなりません。
- 周期T(usec)

臨界モード時の計算		
Duty	39.13	%
Ton	4.891	usec
Toff	7.609	usec
1次臨界L値Lpb	45.94	uH
1次ピーク電流Io-p	1.278	A
周期T	12.5	usec

■入力関係(スパイク・リングング電圧)

- リーケージLe値(uH)
 - ◆ 1次-2次間の漏れインダクタンスを入力します。
- スイッチング素子のターンオフ時間Tf(nsec)
- 1次-2次間の分布容量Cs(pF)
- 減衰k(リングング波形を書かせるため。お遊び。)

■結果関係(スパイク・リングング電圧)

- スパイク電圧Vsg(V)
- リングング周波数frin(kHz)
- 反射電圧Vr(V)
 - ◆ 出力側から跳ね返ってくる電圧。

スパイク・リングング電圧計算		
リーケージL値Le	0.25	uH
SW素子のターンオフTf	200	nsec
スパイク電圧Vsg	1	V
1次-2次分布容量Cs		pF
リングング周波数frin	-	kHz
減衰k	0.1	
反射電圧Vr	0.77	V

Sheet「波形」: 任意のL値

■入力関係

- 任意L値
 - ◆ 計算したい1次インダクタンス(uH)を入れます。

■結果関係

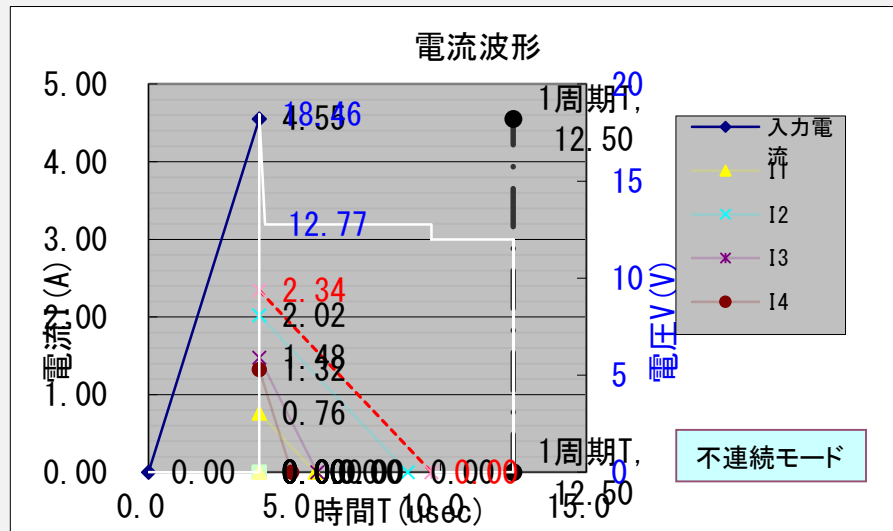
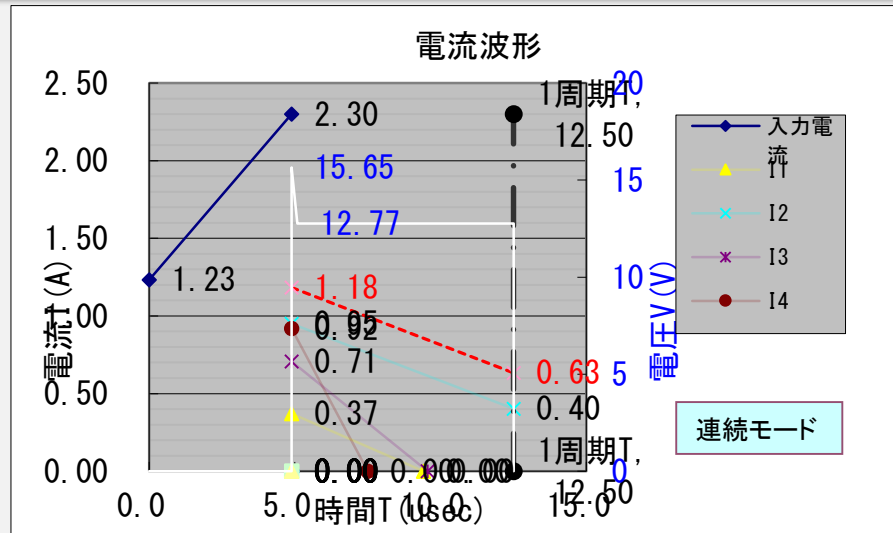
- Duty(%)
- Ton(usec)
- Toff(usec)
- Iv電流(A)
 - ◆ 連続モード時の1次三角波電流の最小値。不連続モードではゼロになります。
- リップル電流(A)
 - ◆ 1次三角波電流の最大値と最小値の差。不連続モードでは1次ピーク電流と同じ値になります。
- モード
 - ◆ 連続モードか不連続モードかを表示します。
- RCC時の周波数(kHz)
 - ◆ 臨界(バウンダリー)モード時の周波数

任意のL値時の計算		
任意L値 : Lp	55.00	uH
Duty	39.13	%
Ton	4.891	usec
Toff	7.609	usec
Iv(Gnd-最低電流)	0.105	A
1次ピーク電流 Io-p	1.172	A
リップル電流 Iripple	1.067	A
モード	連続	
RCC時の周波数 fswb	67	kHz

Sheet「波形」: 波形

■ グラフ説明

- 右上は連続モード例、右下は不連続モード例です。重要波形は3つ。1次電流、1次電圧、2次側出力統合電流
- 1次電流
 - ◆ 濃い青線です。
 - ◆ コアの飽和するかどうかの判断に重要です。
- 1次電圧
 - ◆ 白色です。不連続モード時は階段状になります。
 - ◆ スパイク電圧の高さは計算していますが幅は計算外です。リーケージインダクタンスとスイッチング素子のターンオフと分布容量を入力するとリンギングが発生し波うちます(NG多し。お遊び。)
- 出力総合電流
 - ◆ 赤色の点線です。
 - ◆ 全ての出力を一番高い出力電圧に換算した時の電流波形です。
 - ◆ フライバック回路は昇降圧チョッパ回路と同じ計算式になります。
- 各電流
 - ◆ 薄く表示しています。
 - ◆ 参考まで。 $i_{out} = V_{out} \cdot T_{off} / L_s$ で計算しています。



Sheet「形状」: 選択

■ 概要

- トランス形名を選択すると登録されたデータより条件を計算します。波形結果と比較して形状を探していきます。

■ 入力関係

- 型名を選択します。
- コア関係
 - ◆ 下記のデータが転記されます。
 - ◆ 初透磁率 μ_i
 - ◆ 飽和磁束密度 B_s (mT)
 - ◆ 残留磁束密度 B_r (mT)
 - ◆ 実効断面積 A_e (mm²)
 - ◆ 実効磁路長 L_e (mm)
- 仕様関係
 - ◆ フェライトコアのセンターGap値を入れます。スペーサーGapの場合は半値になります。
 - ◆ 切削するときは精度を保つため0.1mm以上が良いとされています。
 - ◆ 下記データが転記されます。
 - 1次巻数 N_p (t)
 - 線径 ϕ (mm)
 - 本数 N (本)

● 手動

- ◆ コアデータをちょっと変更したい場合は手動の黄色セルに入力します。この値で計算します。

形状検討				手動
形状	EPC17			値
項目	値	単位	条件・備考	
コア関係				
初透磁率 μ_i	2400	-	通常±25%	
飽和磁束密度 B_s	350	mT	使用温度で	
残留磁束密度 B_r	0	mT	使用温度で	0
実効断面積 A_e	22.8	mm ²		
実効磁路長 L_e	40.2	mm		
飽和磁束密度 B_{sat}	350	mT	B_s - B_r	
仕様関係				
センターGap	0.12	mm	0.1mm以上が良い	↑コアリストにない場合は手動入力
1次巻数 N_p	18	t		
線径 ϕ	0.23	mm	0.05mm~0.5mm	
本数 N	2	本		↑巻数の手動入力

Sheet「形状」:判定

■結果関係(判定)

- 計算値(トランスの性能)
コアのデータとGap及び巻数より下記を計算しています。
 - ◆ トランスの飽和電流 I_{sat} (A)
 - ◆ コアの飽和磁束密度 B_s (mT)
 - ▶ 余裕をもって75%としています。
 - ◆ コアと巻数からの1次インダクタンス L_p (μ H)
 - ◆ 1次巻線の電流密度 J (A/mm²)
- 必要値(回路からの条件)
Sheet波形よりのデータから転記
 - ◆ 回路でのピーク電流 I_{o-p} (A)
 - ◆ 回路動作での磁束密度 B_{o-p} (mT)
 - ◆ 1次インダクタンス L_p (μ H)
 - ◆ 電流密度 J (入力値)(A/mm²)
- 判定
両者を比較して下記の場合がOKとなります。
 - ◆ トランスの飽和電流 > 回路でのピーク電流
 - ◆ コアの飽和磁束密度 > 回路動作での磁束密度
 - ◆ コアと巻数からのインダクタンス > 指定1次インダクタンス(調整は必要)
 - ◆ 1次巻線の電流密度 < 入力電流値

判定	項目	計算値	単位	必要値	単位	判定	説明
	飽和電流 I_{sat} /ピーク電流 I_{o-p}	2.12	A	1.17	A	○	電流
	飽和磁束密度 B_s /動作の磁束密度 B_{o-p}	263	mT	157	mT	○	磁束密度(75%)
	コア・巻数からL値/動作(回路)での L_p	67.91	μ H	55.0	μ H	○	L値
	電線の電流密度 J	3.01	A/mm ²	6	A/mm ²	○	目安

電流密度:トランスでは経験則として4-6A/mm²とされています。放熱が良いトランスと悪いトランス等でこの数値は変わってきます。

Sheet「EPC型」寸法登録

■概要

- 指定した形名にて巻線可能かどうかまた電線のDCRを計算します。ボビン形状は3種類用意しました。EPC型の他にEE型、ER型があります。EE型、ER型の説明は割愛させていただきます。

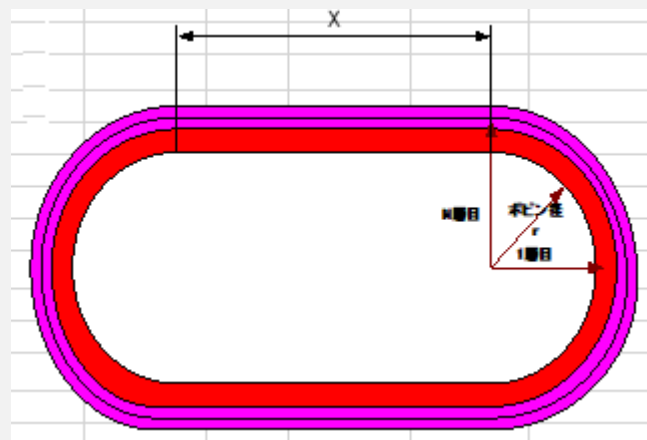
型名	横X(mm)	半径r(mm)	巻幅(mm)	高さ(mm)	X
EPC17	5.00	2.50	9.60	2.10	1
EPC19	6.00	3.50	10.80	3.10	

■入力関係

- 右側にあるボビン寸法を入力します。
- 横X(mm)
 - ◆ 陸上トラックで言えば直線部分です。
- 半径r(mm)
 - ◆ 陸上トラックのコーナー部分の半径です。
- 巻幅(mm)
 - ◆ ボビンの巻幅です。
- 高さ(mm)
 - ◆ 巻線を積み重ねていける高さです。
 - ◆ 少し余裕をもつことを推奨します。

ボビンメーカーのボビン図面で確認可能です。

http://www.pinshine.com/jp/pro-1.php?data_type=Bobbin



Sheet「EPC型」: 型名選択

■入力関係

- EPC型(型名入力)
 - ◆ プルダウンより選択します。
- バリアテープ幅A、幅B
 - ◆ 巻幅の両端のバリアテープの幅となります。
 - ◆ 巻幅-バリアテープ幅A-バリアテープ幅B=実際の巻幅となります。
 - ◆ 各階層のバリアテープ幅は変えられません。要望頂ければ改善したいと思います。
- 手動入力
 - ◆ ちょこっと寸法を変更したいときに利用します。

巻枠と直流抵抗			
EPC型			
EPC17			手動入力
項目	寸法	単位	寸法
横X	5.00	mm	
半径r	2.50	mm	
ホビンの巻幅	9.60	mm	
ホビンの高さ	2.10	mm	
巻枠面積	20.16	mm ²	
バリア幅A	2	mm	
バリア幅B	2	mm	
巻線面積	11.76	mm ²	
巻線幅	5.60	mm	

Sheet「EPC型」:階層

- 階層(巻線毎に入力します)。
- 巻線次。下記参照ください。
 - ◆ 1次側(入力)巻線:0
 - ◆ 出力1の巻線:1
 - ◆ 出力2の巻線:2
 - ◆ : :
 - ◆ 出力10の巻線:10
 - ◆ 層間テープ:空白
- 巻線・テープ
 - ◆ 層間テープの場合はチェックを入れます。
- 巻数
 - ◆ 電線及び層間テープの巻数です。
- BIF=2、TRI=3
 - ◆ 単線の巻線は1、電線2本を同時に巻線(Bifilar)は2、電線3本を同時に巻線(Trifilar)は3を入力します。
- 線径・テープ厚
 - ◆ 公称の線径を入力します。Excelの内部データより最大仕上線径で計算されます。
 - ◆ 層間テープは糊しろを含めた厚みを入力します。

一次巻線は「0」で表示					
階層	巻線次	巻線 テープ*	巻数 (t)	BIF=2 TRI=3	線径・テープ 厚 (mm)
1	0	<input type="checkbox"/>	18	1	0.230
2		<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	0.055
3	1	<input type="checkbox"/>	18	1	0.120
4		<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	0.055
5	2	<input type="checkbox"/>	35	1	0.100
6		<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	0.055
7	3	<input type="checkbox"/>	35	1	0.100
8		<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	0.055
9	1	<input type="checkbox"/>	18	1	0.100
10	4	<input type="checkbox"/>	13	1	0.100
11		<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	0.550
12	0	<input type="checkbox"/>	18	1	0.230
13		<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	0.055
14		<input type="checkbox"/>			
15		<input type="checkbox"/>			
16		<input type="checkbox"/>			

Sheet「EPC型」: 巻線可能確認

■結果関係

- 仕上(最大仕上外径)
 - ◆ この径を積み重ねてボビンの高さと比較します。
 - ◆ 1種線の0.05mm～0.50mmの代表的な線径を対象としています。
- 1層巻数
 - ◆ 実際の巻幅÷最大仕上外形で表します。
 - ◆ なるべく1層ちょうどで巻終わるのが理想です。
- L層
 - ◆ 該当巻線が何層かを計算します。
- 高さ累計
 - ◆ 各巻線を積み上げています。
 - ◆ 最終的にはボビンの高さと比較します。
 - ◆ 最下段の判定が「○」なら巻き切れます。
- EPC中心
 - ◆ トラックのコーナー部分も膨らむので広がる半径を計算しています。
- 単位抵抗
 - ◆ 電線のデータより転記しています。
- 電線長
 - ◆ 各巻線の電線長を計算しています。
- 直流抵抗
 - ◆ 電線長と単位抵抗値より直流抵抗を計算しています。

仕上(mm)	1層巻数(t)	L層(層)	1巻線高さ(mm)	高さ累計(mm)	EPC用中心→(mm)	単位抵抗(Ω/km)	EPC型	
							電線長(mm)	直流抵抗(Ω)
0.277	19	1	0.277	0.277	2.6	438.6	478	0.210
			0.055	0.332	2.9			
0.156	34	1	0.156	0.488	3.1	1,636.0	528	0.864
			0.055	0.543	3.3			
0.132	41	1	0.132	0.675	3.4	2,381.0	1,093	2.603
			0.055	0.730	3.5			
0.132	41	1	0.132	0.862	3.7	2,381.0	1,155	2.750
			0.055	0.917	3.8			
0.132	41	1	0.132	1.049	3.9	2,381.0	626	1.490
0.132	41	1	0.132	1.181	4.1	2,381.0	468	1.115
			0.550	1.731	4.5			
0.277	19	1	0.277	2.008	5.2	438.6	772	0.339
			0.055	2.063	5.5			
0.000		0	0.000	2.063	5.6	0.0		
0.000		0	0.000	2.063	5.6	0.0		
0.000		0	0.000	2.063	5.6	0.0		

0.000	0	0.000	2.063	5.6	0.0		
0.000	0	0.000	2.063	5.6	0.0		
			2.063				
		判定	○				

Sheet「EPC型」: 直流抵抗

● 巻線平均

- ◆ 各出力巻線の直流抵抗DCRを計算しています。
- ◆ サンドイッチ巻きなら抵抗の並列接続で計算します。
- ◆ 1次巻線が直列接続の場合はチェックを入れます。足し算します。

階層	巻線次	巻線 テ-フ°	巻数 (t)	BIF=2 TRI=3	線径・テ-フ°厚 (mm)	仕上(mm)	1層巻数 (t)	L層 (層)	1巻線 高 さ(mm)	高さ累計 (mm)	EPC用中心 →(mm)	単位抵抗 (Ω/km)	電線長 (mm)	直流抵抗 (Ω)	巻線平均	箇所	抵抗(Ω)	直列
	0														0.2742	2	0.1371	<input type="checkbox"/>
	1														1.1768	2	0.5884	<input type="checkbox"/>
	2														2.6034	1	2.6034	<input type="checkbox"/>
	3														2.7503	1	2.7503	<input type="checkbox"/>
	4														1.1146	1	1.1146	<input type="checkbox"/>
	5														#DIV/0!	0		<input type="checkbox"/>
	6														#DIV/0!	0		<input type="checkbox"/>
	7														#DIV/0!	0		<input type="checkbox"/>
	8														#DIV/0!	0		<input type="checkbox"/>
	9														#DIV/0!	0		<input type="checkbox"/>
	10														#DIV/0!	0		<input type="checkbox"/>

Sheet「銅損」

■結果関係

- 各出力巻線のDCRと表皮効果を考慮した交流抵抗を計算しています。近接効果は考慮していません。

銅損	入力	出力1	出力2	出力3	出力4	出力5	出力6	出力7	出力8	出力9	出力10
周波数f (kHz)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
実効f (Hz)	80,000	221,474	221,474	214,442	383,605						
D.C.R(Ω)	0.137	0.588	2.603	2.750	1.115						
線径(mm)	0.23	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
半径r(m)	1.2E-04	5.0E-05	5.0E-05	5.0E-05	5.0E-05	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
断面積(m ²)	4.2E-08	7.85E-09	7.85E-09	7.85E-09	7.85E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
ピーク電流(Ao-p)	1.172	0.371	0.371	0.708	0.920						
リップル電流(Ao-p)	1.067	0.549	0.549	1.029	1.647						
Iv(GND-Min.)(A)	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000						
Ton/T	0.391	0.361	0.361	0.373	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
銅損(Ω)											
0.1383	0.01056	0.00457	0.02022	0.08172	0.02121	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

コアデータ

■入力関係

- コアのデータを登録します。
- 初透磁率 μ_i
- 飽和磁束密度 B_s (mT)
- 残留磁束密度 B_r (mT)
- 実効断面積 A_e (mm²)
- 実効磁路長 L_e (mm²)
- コア形状(なくても可)

コアメーカーのWEBサイトから調査可能です。

コアメーカーのデータ入力

番号	型名	初透磁率 μ_i	飽和磁束密度 B_s (mT)	残留磁束密度 B_r (mT)	実効断面積 A_e (mm ²)	実効磁路長 L_e (mm)	コア形状	選択
1	Standard	2300	390	60	107.0	90.8	ER	26
2	EER28 (PC40)	2300	390	60	82.1	64.0	ER	
3	EER28L (PC40)	2300	390	60	81.4	75.5	ER	
4	EER35 (PC40)	2300	390	60	107.0	90.8	ER	
5	EER40 (PC40)	2300	390	60	149.0	98.0	ER	
6	EER42 (PC40)	2300	390	60	194.0	98.8	ER	
7	EER49 (PC40)	2300	390	60	231.0	91.3	ER	
8								
9	EE13 (NC1M)	2500	350	95	17.3	30.6	EE	
10	SEE16 (NC-2H)	2300	500	140	24.0	36.5	EE	
11								
12	EI-22 (MB30D)	3000	340	160	36.9	42.0	EE	
13	EI-28 (6H10)	2500	390	110	84.0	48.4	EE	
14	EI-30 (NC1L)	3000	350	120	110.3	58.4	EE	
15	EI-35 (TP4)	2300	390	55	107.0	68.1	EE	
16								
17	FEP7 (BH40)	2400	440	80	10.0	15.7	EP	
18	FEP10 (BH40)	2400	440	80	11.0	19.2	EP	
19	FEP13 (BH40)	2400	440	80	20.0	24.2	EP	
20	FEP17 (BH40)	2400	440	80	34.0	28.5	EP	
21	FEP20 (BH40)	2400	440	80	78.0	39.8	EP	
22								
23	PQ2620 (TP4A)	2400	390	60	119.0	46.3	ER	
24	PQ50/50 (PC44)	2400	390	60	328.0	113.0	ER	
25								
26	EPC17	2400	350	55	22.8	40.2	EP	
27								