# PSIMチュートリアル インダクタの損失計算

Mywayプラス株式会社



図 1 インダクタ損失計算用インバータ回路例

インダクタL1の損失を計算します。このインダクタのスペックは以下です。

インダクタンス:	100uH
コア メーカ:	FERROXCUBE
コア:	E24/21/15
型番:	3C90
巻線 ワイヤ:	丸 AWG18 エナメル2層絶縁
卷数:	25
空隙:	1. 35mm

一般的に、次のような手順で計算を行います。

Myway

- データベースにコア材料の情報を入力する
- データベースにコアとボビンの情報を入力する
- データベースに巻線の情報を入力する
- データベース内にインダクタを作る
- 回路上でインダクタを定義する
- コア材料、コア、ボビンの情報はいずれもメーカのデータシートから得られます。

今回の例では、Ferroxcube 社のデータシートから値を入力しています。

#### 1. コア材料の情報を入力

コア材料のデータベースには以下の情報が必要です。

- メーカ: 製造元の名前(例:Ferroxcube)
- タイプ: 材料のタイプ(例:Ferrite)
- 材料: 材料名(例:3F3,3C90)
- mur: 透磁率 µr
- Ploss vs Bpk : 電力損失 Ploss と磁束密度 Bpk のグラフ
- Ploss vs Tc : 電力損失 Ploss とコア温度 Tc のグラフ

μ の値は Ferroxcube のデータシート p84 の表に記載されています。Ploss と Bpk、Ploss と Tc の グラフもデータシートp85 に記載されています。下記の赤枠で囲んだ部分になります。



#### 図 2 データシート記載内容

始めに、PSIM を立ち上げ、ユーティリティからデバイスデータベースエディタを選択します。デバ イスデータシートエディタで、"デバイス>コア材料データベース編集"を選択し、下記を入力しま

TN-146	P. 3	Ver.1.0
インダクタの損失計算		2018/11/01



す。

- メーカ : Ferroxcube
- ー タイプ : Ferrite
- 材料: 3C90
- mur : 2300

Ploss vs. Bpkのグラフの4本の曲線をキャプチャします。Ploss vs. Tcのグラフは、周波数200kHz, Bpk100mT の曲線をキャプチャします。

データベースエディタは下記のようになります。

Manufacturer	Туре	Material	mur	*	メーカー	タイプ	材料	mur
Ferroxcube	Ferrite	3C98	2500	-	Ferroxcube	Ferrite	3C90	2300
Ferroxcube	Ferrite	3F4	900		1	1		1
Ferroxcube	Ferrite	3F5	650					
Ferroxcube	Ferrite	3F45	900					
Ferroxcube	Ferrite	3F36	1600					
Ferroxcube	Ferrite	3C94	2300					
Ferroxcube	Ferrite	3F3	2000		Ploss vs. Bpk	編集	Ploss vs. Tc	編集
Ferroxcube	Ferrite	3F35	1400					
Ferroxcube	Ferrite	3C95	3000					
Ferroxcube	Ferrite	4F1	80					
Ferroxcube	Ferrite	3C96	2000	=				
Ferroxcube	Ferrite	3C90	2300			11,		
Ferroxcube	Ferrite	3F31	1800	1		- / //		
Ferroxcube	Ferrite	3C91	3000					
Ferroxcube	Ferrite	3C30	2100			1///		
				Ŧ		[1][		
•								
New	训除 Dupl	icate 保存	Save	То		C	lose	

図 3 コア材料データベース編集ウィンドウ

これでコア材料のデータベースへの入力は完了です。

### 2. コアとボビンの情報入力

コアとボビンの情報には以下の情報が必要です。

- メーカ: コアとボビンの製造元の名前(例:Ferroxcube)
- タイプ: コアタイプ(例:E,RM)
- モデル: コアモデル(例:E42/21/15,RM8)
- カラムタイプ: 中心カラムの形状。丸形(0)長方形(1)

コアのカラムの数

- 形状タイプ: コアの形状: TypeA(0)、TypeB(1)、その他(2)
- 材料: コアを支える材料(3F3, 3C90 等)
- Ae: 有効範囲(mm2)
- Ve: 有効体積(mm3)
- Le: 有効長さ(mm)

— N col:

- Diameter1 : コアの周りのボビンの直径(mm)
- Diameter2 : コアの周りのボビンの直径(mm)
- Diameter3 : コアの周りのボビンの直径(mm)
- Height1 : ボビンの高さH1(mm)
- Height2 : ボビンの高さH2(mm)
- Width1 : 長方形コアのボビンの幅(mm)
- Width2 : 長方形コアのボビンの幅(mm)
- Width3 : 長方形コアのボビンの幅(mm)
- Depth1 : 長方形コアのボビンの奥行き(mm)
- Depth2 : 長方形コアのボビンの奥行き(mm)
- Depth3 : 長方形コアのボビンの奥行き mm
- CoH1 : コアの高さ(mm)
- CoH2 : コアの高さ(mm)
- CoW1 : 形状 A のコアの幅(mm)
- CoW2: 形状 A のコアの幅(mm)
- CoD : 形状 A のコアの奥行き(mm)
- CoDi1 : 形状 B の⊐アの直径(mm)
- CoE1: 形状 B のコア空間(mm)
- Clip Vertical : 垂直方向のクリップエリアのパーセンテージ
- Clip Horizontal : 水平方向のクリップエリアのパーセンテージ

上記はコアの種類によって全てのパラメータが必要になるわけではありません。

コアの形を以下に定義します。



図 4 コア形状の定義

例えば、E42/21/15のコアは以下のようなEコアです。



図 5 E42/21/15のコア

コアの情報は Ferroxcube 社のデータシートの p270 に記載されています。必須のパラメータ は赤枠で囲った値です。



図 6 コアの情報(Ferroxcube 社のデータシートより)

コアボビンの情報は p272 に記載されています。必須のパラメータは赤枠で囲ったパラメータです。



図 7 コアボビンの情報

コアクリップは水平、垂直両方向のコアエリアの 50%をカバーしていると仮定します。

デバイスデータベースエディタのメニューバー"デバイス>インダクタコアデータベース編集"でインダクタコアデータベースエディタを起動します。データベースに次のように E42/21/15 のコアとボビンの情報を入力します。

Manufacturer	Type	Model		<u>~</u>	Manufacturer	Type	Model	Column Type	Shap	e Type
Ferroxcube	EC	EC70			Ferroxcube	E	E42/21/15	Rectangular	• Туре	A
Ferroxcube	EC	EC41			Manager			Makana	THE LOCAT	Num of Colum
Ferroxcube	EC	EC52			Material		Effe. Area	volume	Erre, Length	Num. or Colu
Ferroxcube	EP	EP17			3C81, 3C90, 30	91, 3C92, 3C9	4, 178	17300	97	1
Ferroxcube	EP	EP7			Column		. )			
Ferroxcube	EP	EP5			Column					
Ferroxcube	EP	EP20			Height1	Height2				
Ferroxcube	EP	EP 10			26.2	28	_			
Ferroxcube	EP	EP13			12012	1-0				
Ferroxcube	E	E42/33/20			Width1	Width2	Width3	Depth1	Depth2	Depth3
Ferroxcube	E	E20/10/6		1	Line	line.				1
Ferroxcube	E	E19/8/5			15.7	17.9	34	12.6	14.6	29
erroxcube	E	E41/17/12	1	=	-					
Ferroxcube	E	E20/14/5			Shape					
Ferroxcube	E	E35/18/10		-	Height1	Height2				
Ferroxcube	E	E25/10/6	_		29.6	42	_			
Ferroxcube	E	E42/21/15			125.0	14				
erroxcube	E	E32/16/9			Width1	Width2	Depth	Diameter	Space	
Ferroxcube	E	E16/8/5			20.5	42	15.2		-	1
rerroxcube	E	E30/15/7			25.5	1.2	13.2	J	1	
Ferroxcube	E	E25/13/7			Cha Area					
erroxcube	E	E100/60/28			Clip Area	the lates				
Ferroxcube	E	E34/14/9		÷	width	neight				
-errovcube	H	E/1/33/30					- 1			

図 8 インダクタコアデータベース入力画面

- メーカ(Manufacturer):	Ferroxcube		
- タイプ(Type):	E		
- モデル(Model):	E42/21/15		
- カラムタイプ(Column Type):	1(長方形)		
TN-146	P. 7	Ver.1	.0
インダクタの損失計算		2018/11	/01

- 形状タイプ(Shape Type):	0(TypeA)
- 材料(Material):	3C81,3C90,3C91, 3C92,3C94,3C95,3F3
<ul> <li>Ae(Effective.Area):</li> </ul>	178
<ul> <li>Ve(Effective Volume):</li> </ul>	173000
<ul> <li>Le(Effective Length):</li> </ul>	97
<ul> <li>N_col(Number of Column):</li> </ul>	1
- Height1:	26.2
- Height2:	28
– Width1:	15.7
– Width2:	17.9
– Width3:	34
- Depth1:	12.6
- Depth2:	14.6
- Depth3:	29
– CoH1:	29.6
– CoH2:	42
– CoW1:	29.5
– CoW2:	43
- CoD:	15.2
- Clip Vertical:	0.5
- Clip Horizontal:	0.5

以上でコアとボビンのデータベースへの入力は終了です。

### 3. 巻線情報の入力

このインダクタは AWG18 の線を使用しています。この線の情報はすでに PSIM のデータベース に入力されています。

Type	Model		Туре	Model	
Round	AWG18		Round	AWG18	-
Round	AWG8			- 1	
Round	AWG26		Inner Diameter	Outer Di 1 Layer	Outer Di 2 Layers
Round	AWG9		1.024	1.07265	1 1243
Round	AWG27		1.021	1.07205	1.12.13
Round	AWG24		Dect Length	Doct Width	Ins Thickness
Round	AWG25		Receipengen	Noce widen	
Round	AWG31				
Round	AWG48		,	,	,
Round	AWG22		Di Single Wire	Wire Number	Wire Bundles
Round	AWG30				
Round	AWG49		1		1
Round	AWG13				
Round	AWG23	-			
<b>X</b>		•			

### 図 9 巻線データベース編集のウィンドウ

4. データベースにインダクタを作成する

インダクタのデータをデータベースに作成して保存するのに必要な材料、コア、巻線の情報をデ ータベースに保存します。デバイスデータベースエディタで"デバイス>新しいインダクタ"を開くと 下記のウィンドウが表示されます。

メーカー International Rectifier	▲ 報告報告	新しいテキスト		
パッケージ imm_ Basic	<ul> <li>スタイル</li> </ul>			
電気的特性 L (uH) L (推算	:) (uH)	「最大定格 Ir	ms,max (A)	
Core         Winding         Gap         Gap <thg< td=""><td>• • •</td><td></td><td></td><td></td></thg<>	• • •			
- JP材料 材料メーカー オ料シイク 材料シイク 材料名	Ploss vs. Bpk	表示	Ploss vs. Tc	<u></u>

図 10 デバイスデータベース インダクタウィンドウ

"Core"タブでは、コアのタイプとサイズ及びコア材料を設定します。

"Winding"タブでは、巻線タイプとサイズ、巻線の巻数及び分布、平行ワイヤ分布を設定します。 一般的に単線に流れる電流が高すぎる場合は、電流が分割されるよう並行線を使用します。 図 11 では 6 本の平行線からなる巻線のパラメータの定義を表示しています。



図 11 6本の平行線で構成された巻線のパラメータ設定

パラメータは次のように定義されます。

距離(層):	巻線の隣接した2レイヤー間の距離	
距離(コア巻線):	ボビンと巻線内部層との距離	
TN-146	P. 9	Ver.1.0
インダクタの損失計算		2018/11/01

距離(線):	2 つの隣接した線の距離
半径方向平行ワイヤ分布:	半径方向の平行巻線の数
列方向平行ワイヤ分布:	列方向の平行巻線の数

"Gap"タブでは、エアギャップを定義します。

この例では、インダクタンスは Ferroxcube 社の E42/21/15コアと 3C90 のコア材料を使用していま す。25 巻、AWG18 の単線丸形ワイヤで 2 つの絶縁層を持つワイヤです。ワイヤの層は 0.05mm です。ボビンと大部分の内部ワイヤとの距離は"0"です。エアギャップはlegの中心にあり、長さ 1.35mmです。この情報は次のインダクタダイアログウィンドウで表示されています。

メーカー Cree	▼ 部品番号 兼	<i>iい</i> テキスト
パッケージ 「「デオ」 Basic	▼ 25-10	
電気的特性 L (uH)	L (推算) (uH)	最大定格 Irms,max (A)
Core Winding Gap コアタイジとサイズ コア・メーカー		
コア形状    コア・サイズ	•	
コア材料 材料メーカー   材料タイプ   材料名	Ploss vs. Bpk	<u>表示</u> Ploss vs. Tc <u>表</u> -

Core Winding Gap		Core   Winding	Gap		
<ul> <li>一巻線タイプとサイズ</li></ul>	Round  AWG18 2 layers	y	ギャップ番号 ギャップ長さ (mm)	1 (center leg)  135	
参線分布 ————————————————————————————————————					
巻数	25				
距離(層)(mm)	0.05				
距離 (コアが巻き) (mm)	0				
距離(線)(mm)	0				
┌平行ワイヤ分布					
半径方向	1				
円柱方向	1				

図 12 インダクタデバイスデータベースエディタ 各タブ表示内容

すべての情報が入力できたらデバイス保存のアイコンか"デバイス>デバイスを保存"をクリックしてこのインダクタの情報をデータベースへ保存をします。これでインダクタをシミュレーションで使用できるようになりました。

L(見積もり値)(uH)は入力値を基に計算した値です。これは期待値に近い値となるべきです。

TN-146	P. 10	Ver.1.0
インダクタの損失計算		2018/11/01

もし値が大きく違う場合は core/winding/gap の入力値を確認してください。

### 5. インダクタ使用回路例

ここで作成したインダクタを回路上で使用してみます。"素子>パワー>熱モジュール>インダクタ (熱モジュール)"を選択します。インダクタを次のように配線します。



図 13 インダクタ使用回路例

インダクタには損失計算用に2つのノードがあります。

ドットのついているノードはコア損失用、他のノードは巻き線損失になります。

損失値はノードから流れる電流として表されますので電流計を設置して損失を測定します。

インダクタの属性で開くウィンドウの項目"Device"のパラメータ入力欄の右のボタンをクリックし L\_100uHを選択します。インダクタの属性には次のようなパラメータ項目があります。

TN-146	P. 11	Ver.1.0
	設定します。(℃)	
推定コア温度:	温度フラグがfixedに設定された場合有効となり、推	定コア温度を
空気速度:	冷却方法を強制にした場合には空気速度を設定し	ます。(m/sec)
対流:	冷却方法です。"自然"又は"強制"を選択できます	0
周囲温度:	インダクタの周囲温度(°C)	
	で損失計算をします。	
	使用されます。Fixedを選択した場合はコア温度を打	旨定しその温度
	合、コア温度は回路の動作条件に基づいて計算さ	れ損失計算に
	"Calculated"又は"fixed"を選択できます。Calculat	edを選択した場
温度フラグ:	コア温度の設定方法を選択するフラグです。	
周波数:	インダクタの基本周波数(Hz)でこの周波数で損失	を計算します。

推定巻線温度: 温度フラグがfixedに設定された場合に有効となり、推定巻線温度を 設定します。(°C)

損失計算フラグ: フラグが0の場合、損失計算はシミュレーションの最初から実行され ます。フラグが1の場合、損失計算はシミュレーションの最後の周期 で実行されます。最後の周期で損失計算することで、シミュレーショ ン速度は速くなります。

Current Flag(電流フラグ): インダクタ電流表示用フラグです。

この例ではインダクタは5KHzのAC成分で55kHzの倍数で高調波を切り換えます。 基本周波数は5kHz に設定しなければなりません。もしインダクタがdc成分としてdc回路で高調波 の切換えにのみに使用される場合は、周波数はスイッチング周波数と等しくなります。

コア温度は周囲温度25℃で計算されます。2つのケースでシミュレーションしてみます。強制冷却で空気速度5m/secの場合と自然冷却です。強制冷却の場合のインダクタの設定は次のようになります。

インダクタ(データベーン	ス) : IND1	23		
パラメータ カラー				
デバイスデータベースからのインダクタ		ヘルプ		
		表示		
名前	IND 1			
Device	L_100uH	🗆		
周波数	5k			
温度フラグ	Calculated	•		
周囲温度	25.0			
対流	Forced	•		
空気速度	5			
推定コア温度				
推定巻線温度				
損失計算フラグ	0			
Current Flag	1			

図 14 強制冷却の場合のインダクタの入力ウィンドウ

この2つのケースのシミュレーション結果は図15のようになります。 左が強制冷却で右が自然冷却の結果となります。



図 15 強制冷却(左)と自然冷却(右)の結果

強制冷却の場合、コアと巻線の損失は低く、温度は許容範囲にあります。

自然冷却の場合、巻線損失がかなり大きな値となり、コアと巻線の温度は許容できない高温となっています。

ご注意

- 1. 本資料に記載された製品の仕様は、予告なく変更することがあります。
- 2. 本資料の内容については、万全を期しておりますが、万一ご不明な点などがありましたら、弊社までお申しつけください。
- 3. 本資料に記載された情報に起因する損害または特許権その他権利の侵害に関しては、弊社は一切の責任を負いません。
- 4. 本資料によって第三者または弊社の特許権その他権利の実施権を許諾するものではありません。
- 5. 弊社の書面許諾なく、本資料の一部または全部を無断で複製することを固くお断りします。
- 6. 本資料に記載されている会社名、商品名は、各社の商標または登録商標です。

Copyright by Myway Plus Corporation.

All rights reserved. No part of this manual may be photocopied or reproduced in any form or by any means without the written permission of Myway Plus Corporation. Co., Ltd.

発行 : Myway プラス株式会社 〒220-0022 横浜市西区新花咲町 6-145 横浜花咲ビル TEL : 045-548-8836 FAX : 045-548-8832

ホームページ: <u>https://www.myway.co.jp</u> Eメール: <u>sales@myway.co.jp</u>