

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

Thermal Module を使うとメーカー標準インダクタの巻線損失、コア損失及び温度上昇を計算することができます。このチュートリアルではインダクタをどのように定義し、計算するかを図1のインバータ回路例を使って説明します。

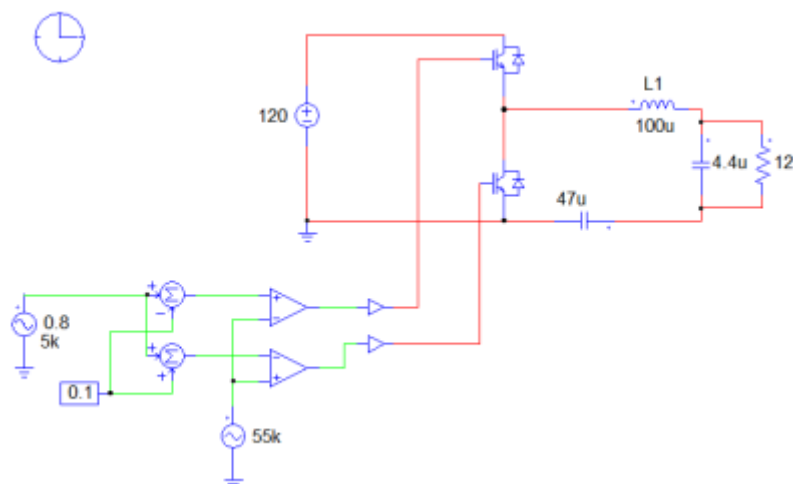


図 1 インダクタ損失計算用インバータ回路例

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 メーカー: FERROXCUBE
コア: E24/21/15
型番: 3C90
巻線 ワイヤ: 丸 AWG18 エナメル 2 層絶縁
巻数: 25
空隙: 1. 35mm

一般的に、次のような手順で計算を行います。

- 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ー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。

- メーカー : 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)
- μ_r : 透磁率 μ_r
- 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_r 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。

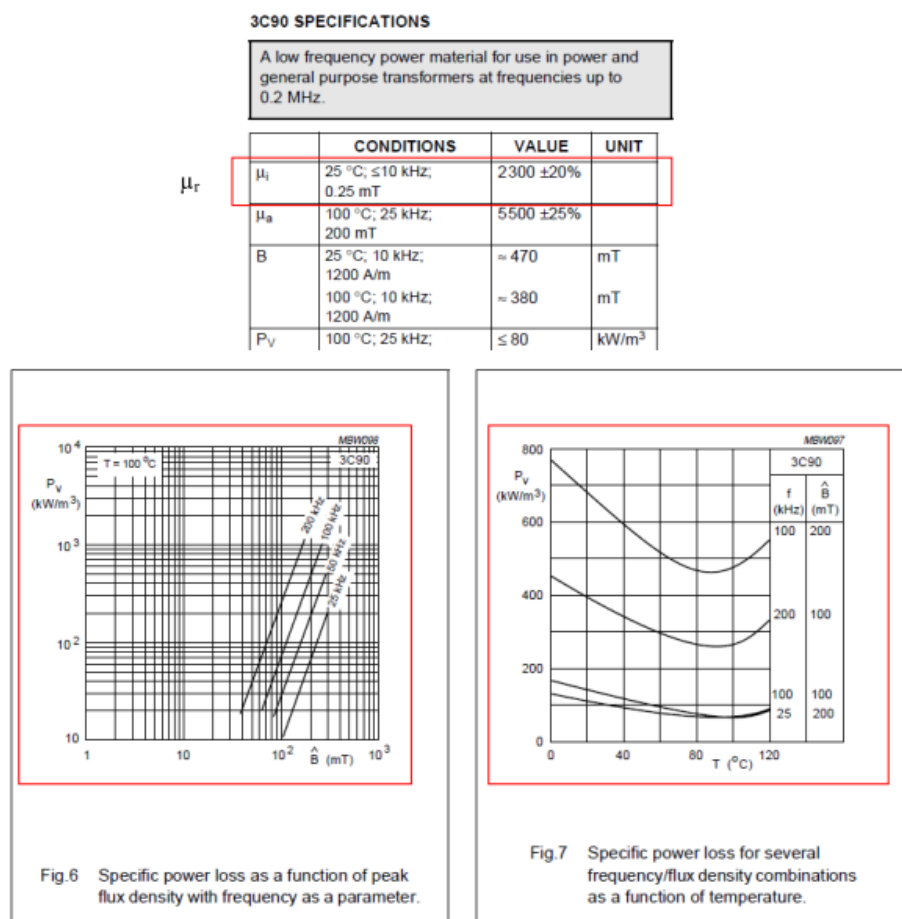


図 2 データシート記載内容

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

- 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 のコアの直径(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。

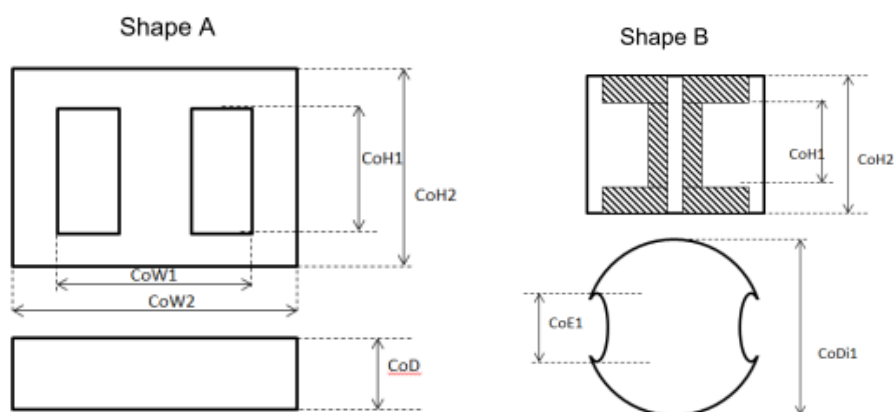


図 4 コア形状の定義

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。

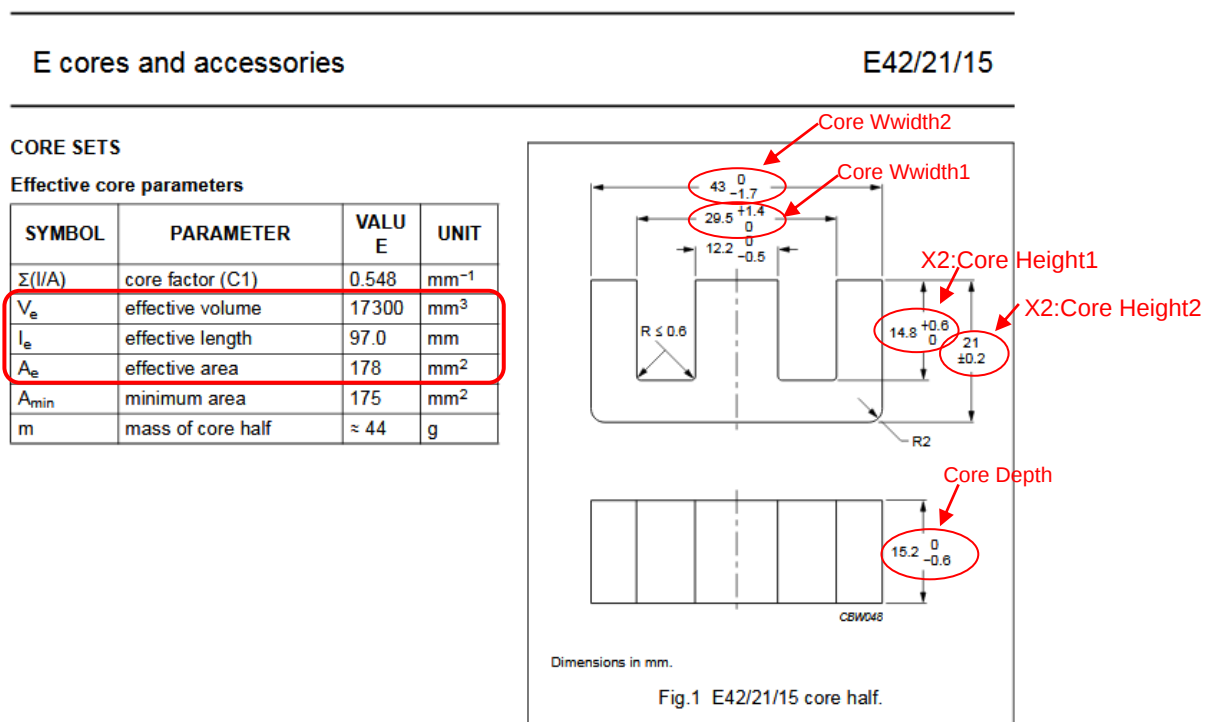


図 6 コアの情報(Ferroxcube 社のデータシートより)

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。

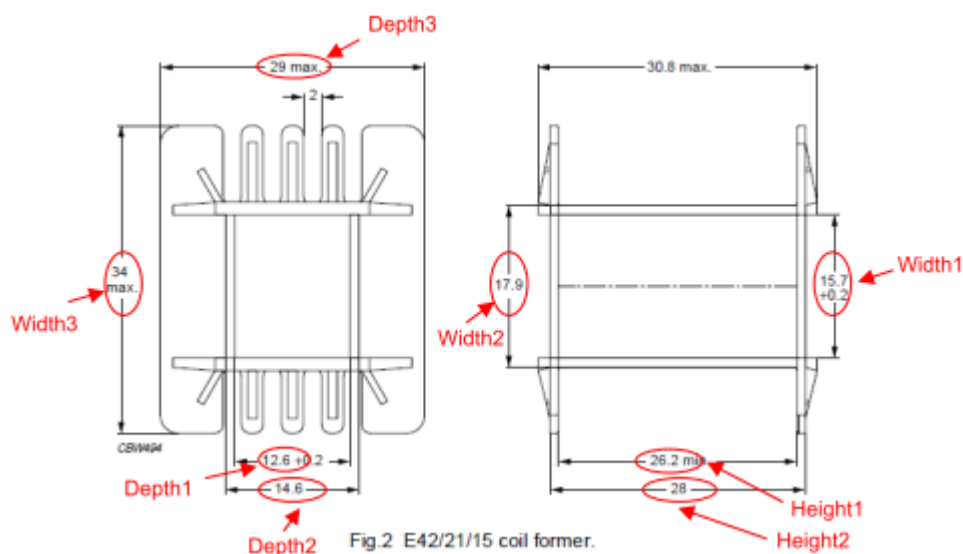


Fig.2 E42/21/15 coil former.

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。

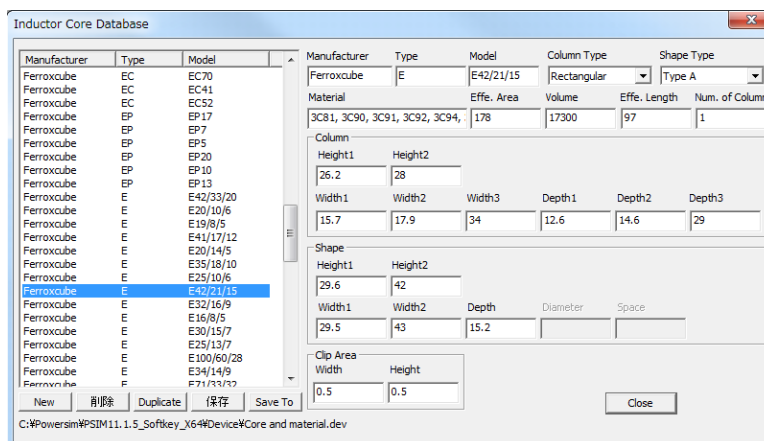


図 8 インダクタコアデータベース入力画面

- メーカー(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)

- 形状タイプ(Shape Type): 0(TypeA)
- 材料(Material): 3C81,3C90,3C91, 3C92,3C94,3C95,3F3
- Ae(Effective.Area): 178
- Ve(Effective Volume): 173000
- Le(Effective Length): 97
- N_col(Number of Column): 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。

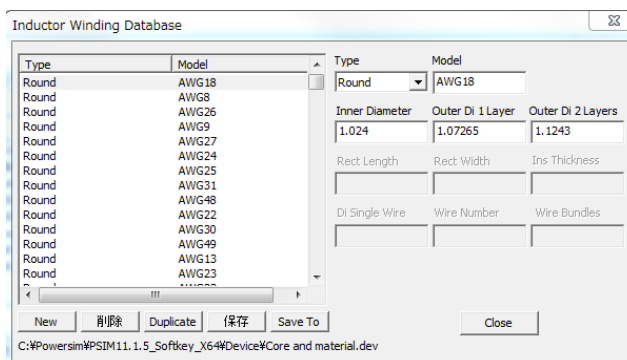


図 9 巻線データベース編集のウィンドウ

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。

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。

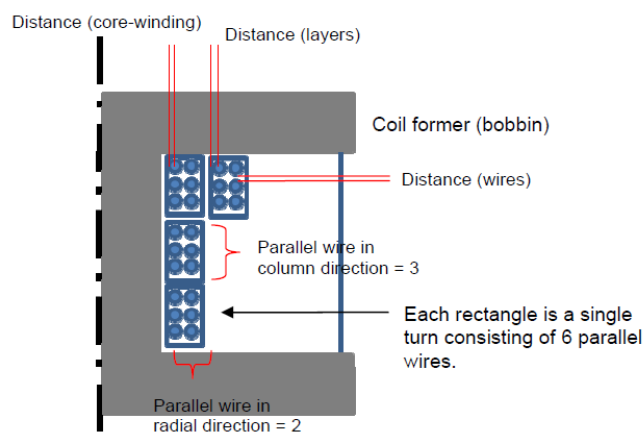


図 11 6 本の平行線で構成された巻線のパラメータ設定

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

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。ポ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。

The figure displays three screenshots of the Inductor device database editor interface, showing different tabs: Core, Winding, and Gap.

- Core Tab:**
 - メーカー: Cree
 - 部品番号: 新しいデキスト
 - パッケージ: Basic
 - スタイル:
 - 電気的特性: L (uH), L (巻線) (uH), 最大定格: I_{rms,max} (A)
 - コアタイプとサイズ: 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
- Winding Tab:**
 - 巻線タイプとサイズ: 導体タイプ (Round), 導体サイズ (AWG18), 絶縁タイプ (2 layers)
 - 巻線分布: 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)
- Gap Tab:**
 - ギャップデータ: ギャップ番号 (1 (center leg)), ギャップ長さ (mm) (1.35)

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え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。

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。

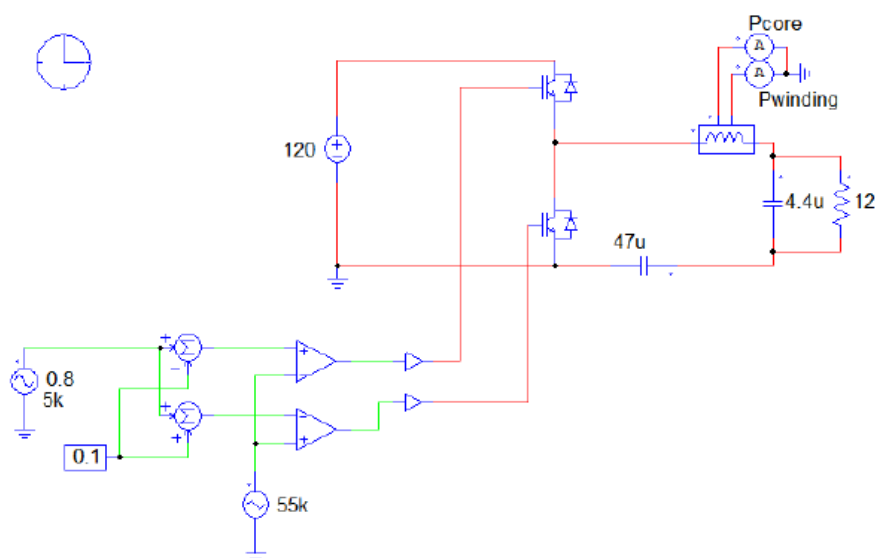


図 13 インダクタ使用回路例

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。

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。
温度フラグ:	コア温度の設定方法を選択するフラグです。 “Calculated”又は“fixed”を選択できます。Calculatedを選択した場合、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使用されます。Fixedを選択した場合はコア温度を指定しその温度で損失計算をします。
周囲温度:	インダクタの周囲温度(°C)
対流:	冷却方法です。“自然”又は“強制”を選択できます。
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)
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、推定コア温度を設定します。(°C)

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°C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(データベース) : IND1	
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	
名前	IND1
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。

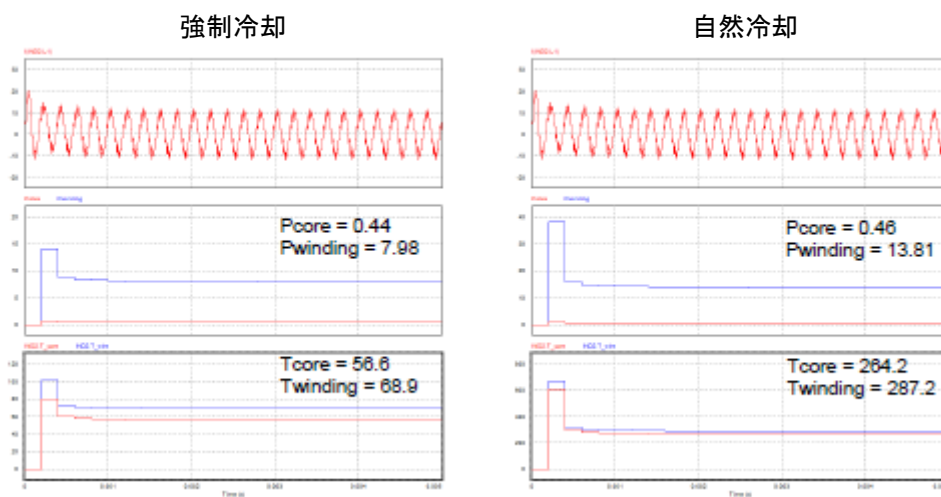


図 15 強制冷却(左)と自然冷却(右)の結果

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: <https://www.myway.co.jp>

Eメール: sales@myway.co.jp
