

極短時間定格動作する連系インバータの冷却体の体積低減

◎西川 滉大, 日下 佳祐, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

家電用コンプレッサや小容量の無停電電源装置など、極短時間定格動作を行う電力変換器では瞬間的に大きな損失が発生する。このとき、スイッチング素子のジャンクション温度は冷却体の熱容量により緩やかに上昇する⁽¹⁾。そのため、従来の定常状態を基準とした冷却体の設計では体積が過剰に大きくなる問題がある。

本論文では、冷却体の体積低減を目的として熱容量による過渡的な温度上昇に着目した薄い直方体のフィンレス構造の冷却体を提案する。

2. 従来の冷却体体積計算手法

従来の冷却体体積は、定常時に許容する温度上昇 $\Delta T_{Allowed_rise}$ と冷却体の熱抵抗 $R_{th_fin-air}$ より、Cooling System Performance Index (CSPI)⁽²⁾を用いて計算できる。CSPIは定常時の冷却体性能指標であり、(1)式より与えられる。

$$CSPI = \frac{1}{R_{th_fin-air} \cdot Vol} \dots\dots\dots (1)$$

ここで定格時の損失 P_{Loss} を基準に設計される熱抵抗は(2)式となる。

$$R_{th_fin-air} = \frac{\Delta T_{Allowed_rise}}{P_{Loss}} \dots\dots\dots (2)$$

(1)式より、従来の冷却体体積 Vol は、実現する CSPI と(2)式で求まる熱抵抗により求められる。

3. フィンレス構造による冷却体体積計算手法

冷却体には熱伝導率の高い材料が使用され、また外気への熱伝達率は熱伝導率に比べて小さいことから、短時間かつ小体積では冷却体内での熱の拡散と外気への放熱による影響を無いと仮定して設計することができる。定格動作時に損失 P_{Loss} が発生する変換器を時間 $t_{Operation}$ だけ動作させる場合、冷却体の温度上昇を許容値 $\Delta T_{Allowed_rise}$ に抑えるために必要な冷却体熱容量 $C_{Heatsink}$ は(3)式で与えられる。

$$C_{Heatsink} = \frac{P_{Loss} \cdot t_{Operation}}{\Delta T_{Allowed_rise}} \dots\dots\dots (3)$$

求めた熱容量から、冷却体体積 Vol は冷却体材料の比熱 c と密度 ρ より(4)式で求められる。

$$Vol = \frac{C_{Heatsink}}{c \cdot \rho} \dots\dots\dots (4)$$

ここでは冷却体形状をスイッチング素子のヒートスプレッド断面積 A_{Device} と高さ L_{Height} による直方体とすることで、冷却体形状は高さ L_{Height} のみの変数で決定することができる。このとき高さ L_{Height} は冷却体体積より(5)式で求められる。

$$L_{Height} = \frac{Vol}{A_{Device}} \dots\dots\dots (5)$$

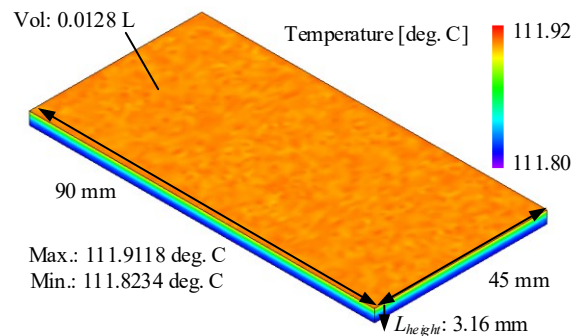
4. 設計例

表 1 に 5-kVA インバータの損失解析結果をもとにした冷却体の設計条件を示す。冷却体材料にはアルミニウムを選定し、物性値は温度に対し一定とした。

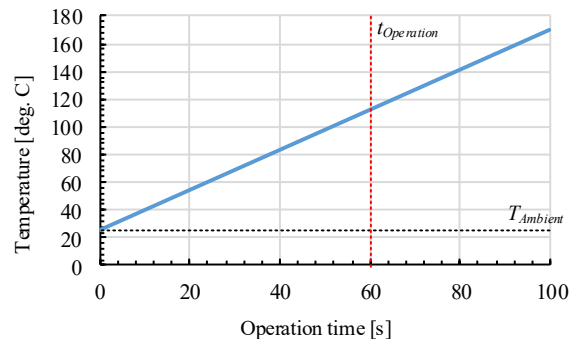
図 1 に設計した冷却体の有限要素法による動作時間 60 s での温度解析結果を示す。このとき、発生損失による熱流束は流入面に対して一定とした。提案手法により設計した冷却体体積は 0.0128 L である。従来設計が提案法と同様の自然空冷を使い CSPI = 3 程度を実現している場合、表 1 の条件での冷却体体積は 0.173 L であり、提案手法により冷却体体積は従来より 1/13.5 に低減することができる。図

Table 1. Heat sink design condition.

Switching device loss [W]	P_{Loss}	46
Operation time [s]	$t_{Operation}$	60
Case-fin heat resistance [K/W]	$R_{th_fin-air}$	0.05
Allowed temperature [deg. C]	$T_{Allowed}$	125
Allowed heat sink temperature [deg. C]	$T_{Allowed_heatsink}$	113.77
Ambient temperature [deg. C]	$T_{Ambient}$	25
Allowed temperature rise [K]	$\Delta T_{Allowed_rise}$	88.77
Switching device heat spreader area [m ²]	A_{Device}	0.00405
Aluminum heat capacitance [K/J·kg]	$c_{Aluminum}$	900
Aluminum density [kg/m ³]	$\rho_{Aluminum}$	2700
Aluminum thermal conductivity [W/m·K]	$\lambda_{Aluminum}$	230



(a) Temperature distribution at 60 s operation.



(b) Average temperature rise.

Fig. 1. Analysis result with designed heat sink.

1(a)の結果より、冷却体の最大温度は表 1 の冷却体許容温度 113.77 deg. C を満足していることが確認できる。一方で提案手法は短時間での温度上昇を許容する設計のため、図 1(b)の結果より、条件以上の動作時間では冷却体温度が許容温度を超過していることが確認できる。図 1(a)中に示す通り、実際の冷却体内では温度勾配 $\Delta T_{Gradient}$ が生じ、その大きさは熱伝導率 λ より(6)式で表される。

$$\Delta T_{Gradient} = \frac{P_{Loss} \cdot L_{Height}}{\lambda \cdot A_{Device}} \dots\dots\dots (6)$$

そのため、高さ L_{Height} が大きくなる条件では温度勾配を考慮した適切なディレーティングが必要になる。加えて、動作時間の条件設定においてもディレーティングが必要となる。

参考文献

- 1.U. Drogenik et al.:電学論 D, Vol.126, No.7, p.841–851(2006)
- 2.U. Drogenik, et al.: PCIM Europe 2005, p.608–619 (2005)