



通流時における最終温度上昇量 $\Delta T_{final}$ は定格リップル電流通流時の最終温度までの温度上昇量 $\Delta T_{rated}$ を用いて

$$\Delta T_{final} = R_{ESR} R_{th} (X \cdot I_{rated})^2 = X^2 \Delta T_{rated} \dots \dots \dots (1)$$

となる。(1)式より、 $X$  倍の電流を流した場合、最終温度上昇量は定格の $X^2$ 倍となる。 $X$  倍の電流通流時に $\Delta t$ 秒後の過渡温度上昇量 $\Delta T_{\Delta t}$ は、熱時定数 $\tau$ と $\Delta T_{rated}$ を用いて

$$\Delta T_{\Delta t} = X^2 \Delta T_{rated} \{1 - \exp(-\Delta t / \tau)\} \dots \dots \dots (2)$$

となる。(2)式を $X$ について変形すると(3)式となる。

$$X = \sqrt{\left\{1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right)\right\}^{-1} \frac{\Delta T_{\Delta t}}{\Delta T_{rated}}} \dots \dots \dots (3)$$

このとき、 $\Delta T_{\Delta t}$ を最大許容温度 $T_{max}$ と周囲温度 $T_{ambient}$ の差より許容過渡温度上昇量 $\Delta T_{tolerance}$ として設定すると、動作時間 $\Delta t$ における短時間電流定格 $I_{sh}$ は $X \cdot I_{rated}$ として求まる。

### 3. 電解コンデンサ温度測定実験

〈3・1〉 実験構成 図2に、実験による温度特性取得構成を示す。電解コンデンサ(日本ケミコン: ECSH401LGN123MFH0N)の温度測定点は図2(a)に示す3箇所とし、T型熱電対により測定した。電源には可変電圧源として直流再生電源を使用し、電解コンデンサとの直列接続とした。電解コンデンサと電源間は60sqのKIVケーブルを圧着端子にて結線した。周囲温度は恒温槽を使用し60°Cで一定にした。

〈3・2〉 測定結果 図3にリップル電流 $I_C = 2I_{rated}$ 時の温度変化を示す。各測定点を比較すると、マイナスタブは素子と比べて熱時定数が小さく、また高温となっていることがわかる。素子の温度上昇では素子中央部の温度が側面部に比べて高温であることが確認できる。そのため、短時間電流定格は素子中央温度上昇量をもとに決定する。

図4に $X=1, 2, 2.5$ とした時の素子中央温度変化の測定結果と算定結果を示す。ここで、 $t$ 秒後における温度 $T$ は(2)式より(4)式と表せる。

$$T(t) = X^2 \Delta T_{rated} \left\{1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right\} + T_{ambient} \dots \dots \dots (4)$$

(4)式中の $\Delta T_{rated}$ および熱時定数 $\tau$ は未知数であるため、定格リップル電流通流時の実験結果に対して(4)をフィッティングして同定する。算定結果には同定したパラメータである $\Delta T_{rated} = 10.1$  Kと $\tau = 3384$  secを用いた。リップル電流2.5p.u.時の結果より、動作可能時間 $\Delta t$ は、測定結果より2508秒、算定結果より2587秒と誤差3%で算定できている。誤差要因として、電解コンデンサの陽極酸化皮膜の損失が温度依存性を有しており、高温ほど損失が大きくなることが考えられる。他の要因として、熱抵抗の温度特性や実験条件の誤差によるものが挙げられる。以上より、発熱試験からパラメータを同定することで過渡温度変化の推定が可能であることがわかる。また、本実験での電流リップルは50 Hz系統への単相電力出力を想定し100 Hzとしたが、実際の電力変換器で生じるスイッチング周波数成分など複数の周波数成分含まれている場合でも、各周波数成分の(1)式について和を取

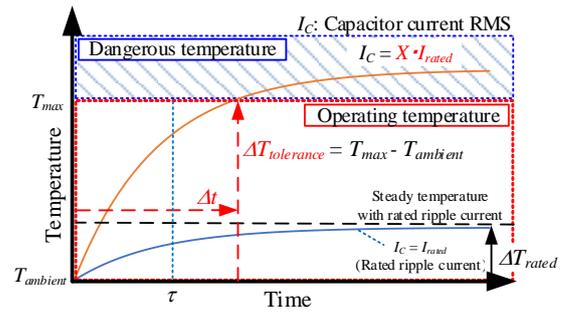
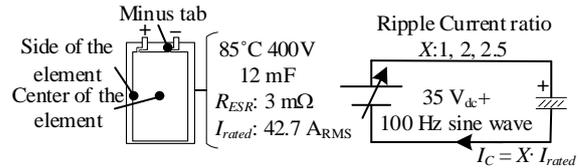


Fig. 1. Conceptual diagram of short-time rated current.



(a) Temperature measurement point. (b) Circuit configuration. Fig. 2. Experimental configuration to measure capacitor temperature.

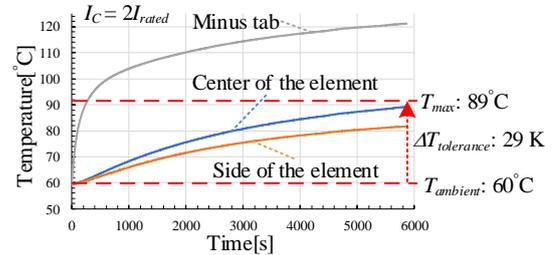


Fig. 3. Capacitor temperature rise characteristics.

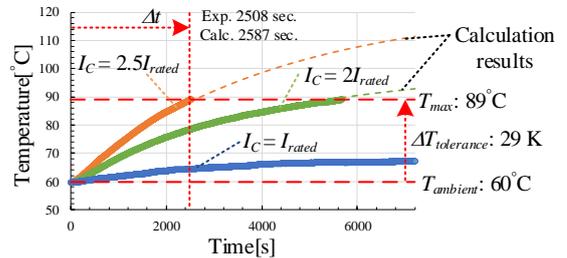


Fig. 4. Temperature comparison between calculated value and measured value.

めることで同様に推定できる。ただし、ESRには周波数依存性があるため換算係数を乗じる必要がある。

〈3・3〉 短時間電流定格設計 妥当性が確かめられたので、例として動作時間10分における短時間電流定格を計算する。計算には図4での算定結果に用いたパラメータと同じ値を使用した。(3)式中の各パラメータに値を代入すると、

$$X = \sqrt{\left\{1 - \exp\left(-\frac{600}{3384}\right)\right\}^{-1} \frac{29}{10.1}} \approx 4.48 \dots \dots \dots (5)$$

となる。よって、10分動作時には定格の約4.48倍の電流を流せると推測できる。ただし、最終的には周囲温度条件の変化や負荷条件の変化などを鑑みてマージンを設定し、許容電流と許容温度を決定する必要がある。

### 文 献

(1) 安田雅芳・芳賀仁:「アクティブパワーデカップリング回路を利用した単相UPSの出力電圧制御法」, 電気学会論文誌D, Vol. 141, No. 10, pp. 844-845 (2021)