

NTC サーミスタの一般技術情報

1. NTC サーミスタとは

NTC(Negative Temperature Coefficient)サーミスタとは、温度上昇とともに抵抗値が急激に下がる熱的に敏感な抵抗体 Thermally Sensitive Resistor です。マンガン、ニッケル、コバルト、鉄、銅などの金属酸化物を主原料とする主にスピネル構造の多結晶の半導体セラミックスです。

一般に金属は温度上昇とともに金属原子の振動が激しくなり、自由電子の移動が妨げられるので抵抗値は上昇します。一方、緻密な組成制御で半導体化した NTC サーミスタは自由電子と正孔によるポッピング伝導が温度上昇とともに活発になり抵抗値が低下します。NTC サーミスタの導電性は一般的にバンド理論で説明されています。

2. 特性

NTC サーミスタの抵抗変化は、周辺雰囲気温度の変化と自己発熱によって引き起こされます。

サーミスタに電流が流れると、ジュール熱により自己発熱が起こります。自己発熱の影響が十分に小さく無視できる場合の特性は“無負荷特性”と呼ばれます。

2.1. 無負荷 NTC サーミスタ

2.1.1. 抵抗温度特性

NTC サーミスタの抵抗値と絶対温度の関係は、使用温度範囲近傍で式 1 のような指数関数で近似されます。

$$R_1 = R_2 \cdot \exp(B(1/T_1 - 1/T_2)) \quad (\text{式 1})$$

R_1	温度 T_1 (K)における NTC 抵抗値(Ω)
R_2	基準温度 T_2 (K)における NTC 抵抗値(Ω)
B	B 定数 NTC サーミスタの材料定数

ただし、実際は、使用温度範囲において実測による抵抗/温度の関係(R/T 表)として与えられます。

2.1.2. B 定数

B 定数は NTC 材料によって決まり、R/T カーブの傾きとして表されます。B 定数は式 1 から次のように表わされます。

$$B = (\ln R_1 - \ln R_2) / (1/T_1 - 1/T_2) \quad (\text{式 2})$$

式 1 が近似式であることから B 定数は“定数”とは言え、実際は温度範囲により若干変動します。そのため、25℃と 85℃で算出した B 定数を $B_{25/85}$ ように温度範囲を明示して表します。

一般的な NTC 材料の B 定数は 3000K から 5000K の範囲です。図 1 に B 定数の R/T 特性依存性を示します。

B 定数の選定はアプリケーションごとに固有で、公称抵抗値を選択するときに、他の制約とともに十分に考慮する必要があります。すべての B 定数がすべての NTC サーミスタの形状やタイプに適用できるということはありません。

2.1.3. 温度係数

抵抗値の温度係数は温度変化による抵抗値の相対変化で定義されます。

$$\alpha = 1/R \cdot dR/dT \quad (\text{式 3})$$

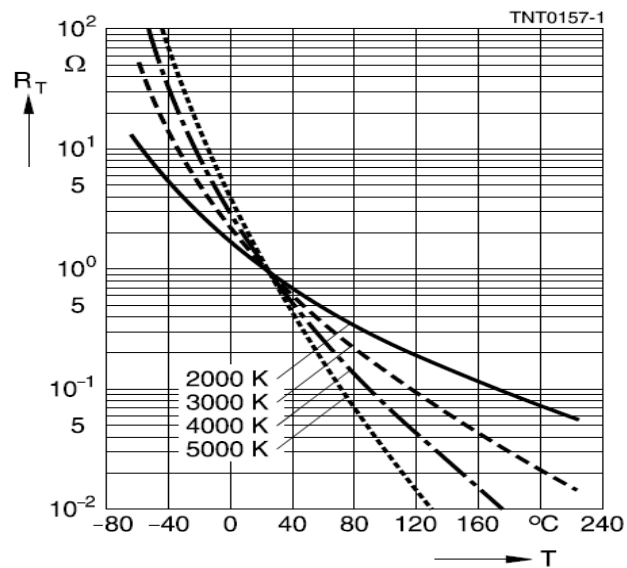


図 1. 温度-抵抗値特性(パラメータ: B 定数)

2.1.4. 公差

抵抗値公差

NTC サーミスタの抵抗値公差は温度 1 点で規格されます。通常 25°C です。お客様のご要求により他の温度で規格することも可能です。

一般的に、抵抗値公差は次の式で示されます。

$$\Delta R_1 = | \partial R(T) / \partial R_2 | \cdot \Delta R_2 + | \partial R(T) / \partial B | \cdot \Delta B + | \partial R(T) / \partial T | \cdot \Delta T \quad (\text{式 4})$$

式 4 で第 3 項を無視すれば、次のように簡素化できます。

$$| \Delta R_1 / R_1 | = | \Delta R_2 / R_2 | + | \Delta R_B / R_1 | \quad (\text{式 5})$$

ここで ΔR_B は B 定数の広がり起因する抵抗値公差を意味します。つまり、ある温度における抵抗値公差は、基準抵抗値の公差と B 定数の変化の 2 つに起因します。図 2 に基準抵抗値公差による抵抗値公差の変化を示します。抵抗値は基準抵抗値公差と同様にシフトします。図 3 は、B 定数公差による抵抗値公差の変化を示します。B 定数公差の大きい方が抵抗値公差の傾きが大きいことを示します。

抵抗値公差の選定は、ご使用の全温度範囲で目標の精度に収まるように十分に考慮する必要があります。

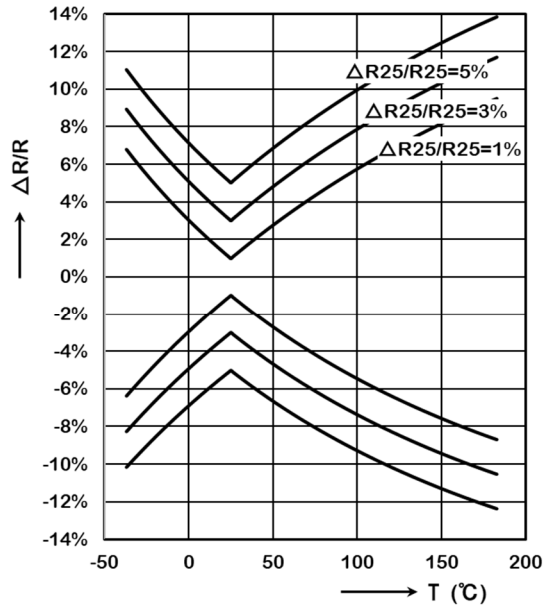


図 2. 基準抵抗値公差による抵抗値公差の変化 (R25=10kΩ, B 定数=3400K, B 定数公差 ΔB/B : 2%)

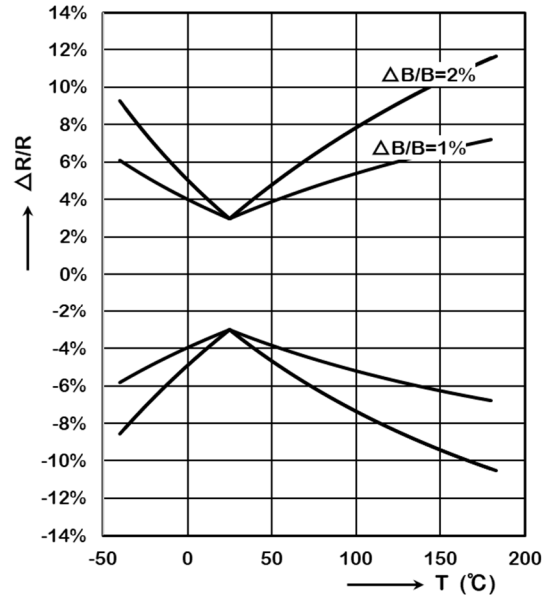


図 3. B 定数公差による抵抗値公差の変化 (R25=10kΩ, B 定数=3400K, 基準抵抗値公差 ΔR25/R25 : 3%)

温度公差

式 3 により温度公差は十分小さい温度間隔で次のように算出されます。

$$\Delta T = 1/\alpha \cdot \Delta R/R \quad (式 6)$$

ただし、実際のアプリケーションでは標準 R/T 表の使用を推奨します。

2.2. NTC サーミスタへの電氣的負荷

2.2.1. 熱放散定数 δ_{th}

サーミスタに電流が流れた時、ジュール熱でサーミスタ自体が発熱します。この自己発熱は次のように表せます。

$$P_{el} = V \cdot I = \delta_{th} \cdot (T - T_A) \quad (式 7)$$

$$\delta_{th} = P_{el} / (T - T_A) = V \cdot I / (T - T_A) = R_T \cdot I^2 \quad (式 8)$$

P_{el}	供給電力
V	サーミスタに印加した電圧
I	サーミスタに流れる電流
δ_{th}	NTC サーミスタの熱放散定数
T	熱平衡に達した温度
T_A	雰囲気温度
R_T	温度 T の時のサーミスタの抵抗値

熱放散定数 δ_{th} は、mW/Kの単位で、静止状態でサーミスタ自体の温度が1K上昇する負荷を表します。高い熱放散定数のサーミスタは周囲へ熱をより多く放散します。

NTC サーミスタを用いるとき、サーミスタ自体の温度上昇による誤差がいつも起こります。これを小さくするためには供給電力を出来るだけ小さくします。しかし、サーミスタにはいろいろな抵抗値や電気特性があるため一般的な最適設計方法というものはありません。また、NTC サーミスタの熱的特性値は静止空気中の数値であることに注意してください。たとえば攪拌空気中のような他の雰囲気条件や出荷後に加工されたりすると熱的特性値は変わることがあります。

2.2.2. 電圧/電流特性

サーミスタに電力が供給されるとサーミスタの温度は急速に上昇しますがその変化は時間とともに小さくなります。しばらくすると、熱伝導または対流によって電力が消費される定常状態に到達します。

熱平衡 $dT/dt = 0$ の場合

$$V \cdot I = \delta_{th} \cdot (T - T_A) \tag{式 9}$$

オームの法則 $V = I \cdot R$ で式 9 は

$$I = \sqrt{(\delta_{th} \cdot (T - T_A) / R(T))} \tag{式 10a}$$

または

$$V = \sqrt{(\delta_{th} \cdot (T - T_A) \cdot R(T))} \tag{式 10b}$$

これは NTC サーミスタの温度依存性 $R(T)$ による電圧/電流特性のパラメトリック表記と呼ばれるものです。上記の方程式を使用して、これらの曲線をさまざまな周囲温度に対して計算できます。

一定温度で得られた電圧値を電流の関数としてプロットすることにより、NTC サーミスタの電圧/電流特性が得られます。
(図 4)

両対数スケールで一定電力、一定抵抗のカーブは直線となります。NTC サーミスタの電圧/電流特性は4つの領域があります。

- 消費電力がごくわずかな自己発熱しか生まない直線的に上昇する領域。

電圧と電流は互いに比例します。抵抗値は雰囲気温度によって決まります。この領域で NTC サーミスタは温度センサとして使われます。 $\rightarrow (dV/dI = R = \text{一定})$

- 抵抗値がすでに落ちだしている最大電圧までの非直線領域 $\rightarrow (R > dV/dI > 0)$

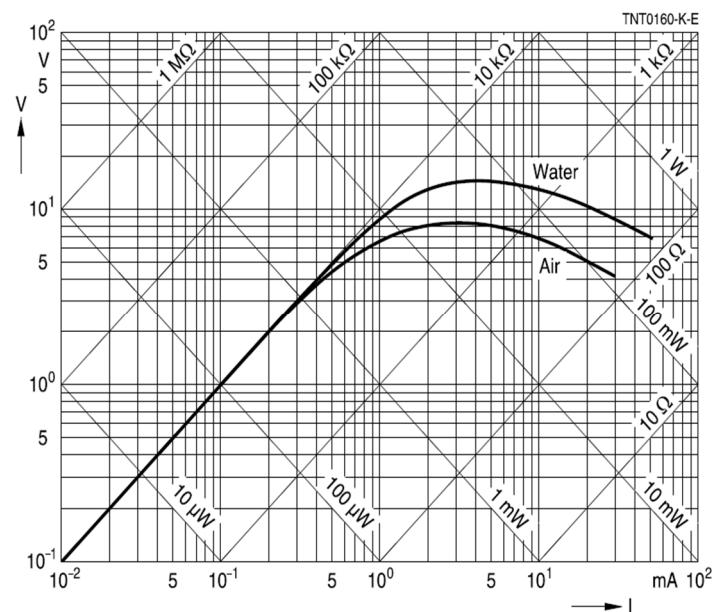


図 4. 電流-電圧特

3. 最大電圧で抵抗増加がゼロ。→ $(dV/dI = 0)$

4. 抵抗の減少が相対的に電流増加より大きい抵抗落下の領域。自己発熱効果を使う NTC サーミスタ(例えば突入電流リミッター、液面レベルセンサ)の使用領域。→ $(dV/dI < 0)$

2.2.3. 最大電力 P_{25}

P_{25} は 25℃の雰囲気温度で NTC サーミスタを扱える最大電力です。最大電力 P_{25} が NTC に供給されるとき自己発熱領域で動作します。直接的に対象としない限り、自己発熱領域は避けてください。ほとんどのアプリケーションでは、適切な回路設計により、NTC は最大電力定格内で十分に動作できます。

2.2.4. 熱時定数 τ

温度 T_1 の温度センサが温度 T_2 の環境（空气中、水中）に置かれた時、センサの時間による温度変化は指数関数で近似されます。

$$T(t) = T_2 + (T_1 - T_2) \cdot e^{-t/\tau} \quad (\text{式 11})$$

時間 $t=\tau$ の時、

$$T(\tau) = T_1 + (T_2 - T_1) \cdot (1 - 1/e) \quad (\text{図 5 参照})$$

つまり、時間 τ の時センサの温度変化は温度差 $T_2 - T_1$ の $1 - 1/e = 63.2\%$ となります。この時間 τ を熱時定数と定義しています。

熱時定数 τ は温度センサ選択時に欠かすことのできないパラメータですが、主に下記のような条件に大きく影響されます：

- デザイン （例えば、センサエレメント、センサケース内のエレメントのアッセンブリ材料、接合方法、ハウジング）
- 搭載形態 （例えば、浸漬、表面マウント）
- 晒される環境 （例えば、エアフロー、静止エア、液体）

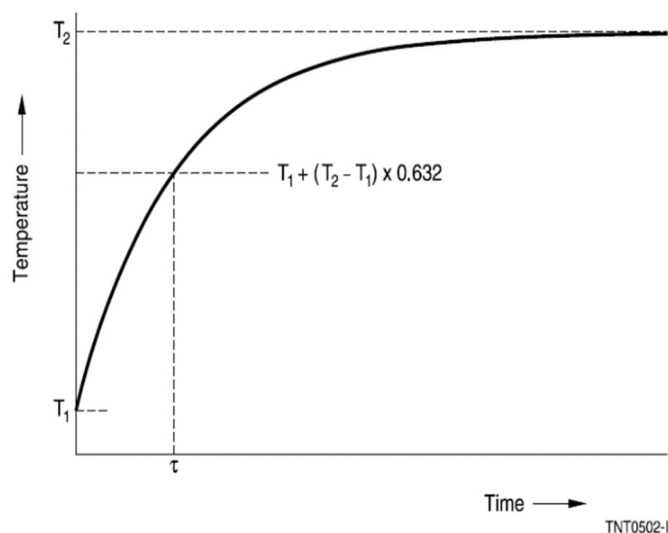


図 5. 周辺温度が T_1 から T_2 に上昇した時のセンサの温度変化（指数関数近似）