

第6章 脱つなぐだけ！高性能アナログ回路基板作り 基本技術10

1 μV の高精度計測回路, 10 Gbps 高速伝送線, 1 kV 高圧電源に学ぶ

6-1

数 μV の微小信号が正しく伝わる計測用プリント基板設計

基本中の基本…配線抵抗をコントロールせよ

振動や光などの微小なエネルギーを収集したり, IoT電子工作を始めたりするときには, センサが利用されます。電圧/温度/明るさ/圧力/脳波などのセンサから μV または μA オーダの微小信号を正確に伝達するには, 高精度にアナログ量を検出する必要があります。

0~5Vの電圧をA-D変換するとき, 12ビットのA-Dコンバータでは1.2mV, 24ビットでは0.3 μV の分解能で計測できます。分解能が高くなるほど, プロの計測エンジニアは信号ラインの描き方にも気を配ります。

本稿では, 精密温度計やシャント抵抗などを利用した計測アンプを例に, アナログ回路基板作りの基本中の基本である配線抵抗の低減方法を紹介します。

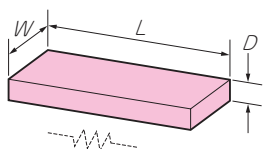
銅はくのプリント・パターンの抵抗は0 Ω ではありません。低いながらも抵抗成分を持ちます。配線の長さだけでなく, 温度などの周囲環境によっても抵抗の値は変化します。配線抵抗は, ゲイン誤差を低減するための重要なファクタの1つです。

今はインターネットさえあれば, 高精度なデバイスを部品ネット通販サイトから入手できます。プロの計測エンジニアの基板設計テクニックをマスターして, 自宅の基板電子工作ライフをさらにパワーアップしましょう。

〈編集部〉

- 線幅0.25 mm, 長さ10 cm, 周囲温度25 $^{\circ}\text{C}$ ならプリント・パターンの配線抵抗は180 m Ω

配線パターンは, 図1に示すように銅の体積抵抗率



$$R_r = \rho_0(1 + \alpha t) \frac{L}{WD} [\Omega]$$

ただし,

D : 銅はくの厚み(1オンス・カップでは $D = 38 \mu\text{m} = 38 \times 10^{-6} \text{m}$),

ρ_0 : 銅の0 $^{\circ}\text{C}$ における体積抵抗率($1.55 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$),

α : 体積抵抗率の温度係数($\alpha = 4.4 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$)

t : プリント・パターン自体の温度(摂氏)

図1 プリント・パターンの配線抵抗の計算

$W = 0.25 \text{ mm} = 25 \times 10^{-6} \text{ m}$, $L = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$, $t = 25^{\circ}\text{C}$ であれば, 25 $^{\circ}\text{C}$ における配線抵抗 R_{25} は0.18 Ω

で決まる抵抗成分を持ちます。線幅 W が0.25 mmで10 cmのプリント・パターンを描くと, その配線抵抗 R_W は周囲温度25 $^{\circ}\text{C}$ のときに180 m Ω です。この配線抵抗を比較的低インピーダンスな振動解析用のライン・バッファ(入力を $R_T = 600 \Omega$ で終端)にあてはめると, R_W と R_T による分圧効果により0.03%のゲイン誤差になります(図2)。

大きなデータ収集システムは, 複数の回路を組み合わせて使います。現場では回路ごとのゲイン誤差を調整しません。

この部分だけで0.03%の誤差が発生すると, システム・トータル0.1%以上の精度の達成は難しくなります。図1で示したように体積抵抗率は温度でも変化します。

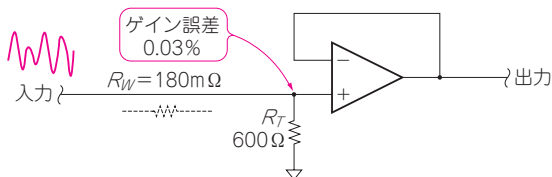
計装アンプに入力する +側と-側の配線長を等しくする

配線抵抗の影響を最も受ける代表的な測定器は, 測温抵抗体(RTD: Resistance Temperature Detectorとも呼ぶ)であるPt100を利用した精密温度計です。抵抗値は0 $^{\circ}\text{C}$ において100 Ω , 100 $^{\circ}\text{C}$ では138.51 Ω とJIS規格で定められています。図3に示すように電流を流してこの抵抗値を測れば, 温度を特定できます。

ここではPt100を使って, 0~100 $^{\circ}\text{C}$ の温度を0.1 $^{\circ}\text{C}$ の分解能で測定するケースを考えてみましょう。

Pt100の0~100 $^{\circ}\text{C}$ における抵抗値の変化は38.51 Ω なので, 0.1 $^{\circ}\text{C}$ 当たりの変化量は38.51 m Ω (信号成分)です。これを図3で示した配線抵抗の例(誤差成分) W_A と $W_B = 137 \text{ m}\Omega$ の例(片側, 両側ならば合計274 m Ω)と比べれば, 誤差成分>信号成分となり, 誤差分の方が大きくなっています。

抵抗性信号源では励起電流(ここでは I_1 と I_2)を流し, その両端電圧を信号として扱います(R/V 変換)。図3における抵抗群「 $R_{WB} + R_B$ 」と「Pt100 + R_{WA} 」の両端電圧は, 同図に示した式によりその差分だけが計装



$$\begin{aligned} \text{ゲイン誤差 } G_e &= 1 - \left(\frac{R_T}{R_W + R_T} \right) \times 100 [\%] \\ &= 1 - \left(\frac{600}{0.18 + 600} \right) \times 100 \approx 0.03\% \end{aligned}$$

図2 プリント・パターンの配線抵抗によってゲイン誤差が発生する

配線抵抗 $R_W = 180 \text{ m}\Omega$ と終端抵抗 $R_T = 600 \Omega$ により分圧回路が形成される。この分圧回路によるゲイン誤差を G_e とすると, この部分だけで0.03%の誤差が発生する。振動解析(オーディオ帯域)用のライン・レシーバの例

【セミナー案内】 組込みLinuxマルチコア時代のタスク間通信「超」入門
—— プロセス/スレッドの仕組みからデータ通信/データ共有の実践テクニックまで
【講師】 海老原 祐太郎 氏, 12/1(土) 25,000円(税込み) <https://seminar.cqpub.co.jp/>