

第9章 微弱光測定に欠かせない



fA ~ pA オーダ 微小電流測定アンプの設計

田口 海詩
Uta Taguchi

微小電流測定回路と トランスインピーダンス・アンプ

● 微小電流測定回路のあらまし

電子回路に流れる電流を精度良く測定する場合、図1に示す2つの回路方式がよく利用されます。

(a)に示す「シャント抵抗電流測定方式」は抵抗 R_S に電流を流し、その電圧降下を差動アンプで測定する方式です。mA以上の比較的大きな電流測定を行う場合に使用されます。

(b)の「トランスインピーダンス・アンプ(Transimpedance Amplifier)以下TIAと表記」回路は、OPアンプを用いて、帰還抵抗 R_f に測定電流が流れる回路を構成し、電流を測定する方式です。帰還抵抗 R_f には比較的高抵抗を用いることが可能なため、 μA オーダ以下の微小電流測定を行うときに使用します。今回のターゲットとする微小電流測定には、(b)のTIA回路方式が適しますので、TIA回路について動作原理や応用例を説明します。

● トランスインピーダンス・アンプの動作原理

図1(b)に示すTIA回路は、OPアンプの+端子をGNDに接続し、出力電圧を帰還抵抗 R_f で-端子に負帰還させる回路構成となっています。OPアンプの-端子、+端子はハイ・インピーダンスで電流がほとんど流れないので、TIA回路の入力から流れ込む電流 I_S は、帰還抵抗 R_f を通してOPアンプの出力側に流れます。そして最後にはOPアンプの出力端子より内部に流れ込みます。そのためTIA回路に入力した電流 I_S は、そのまま帰還抵抗 R_f にも流れることとなります。OPアンプの-端子はバーチャル・ショートにより

0Vとして動作するので、OPアンプの出力端子には式(1)に示す電圧 V_{out} が発生することになります。

$$V_{out} = -R_f \cdot I_S \dots \dots \dots (1)$$

式(1)で示す通り、入力電流 I_S がTIA回路によって $-R_f$ 倍され、出力電圧 V_o に変換されたことがわかります。つまり、トランスインピーダンス・アンプ(TIA)とは、**入力電流を抵抗(インピーダンス)倍の出力電圧に変換(トランス)する増幅器(アンプ)**ということを意味しています。TIA回路は帰還抵抗 R_f に $\text{M}\Omega$ 以上の高抵抗を選択することにより、 μA 以下の電流も精度良く測定できますが、回路を設計通りに動作させるためには、使用するOPアンプの選定など注意する点が多くつあります。

● TIAに用いるOPアンプ選定の注意点

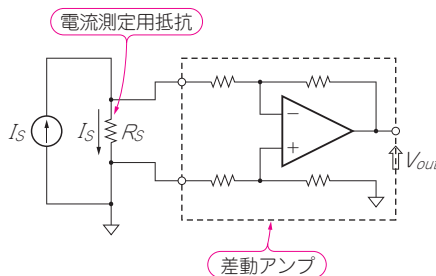
はじめにTIA回路を用いて μA オーダの微小電流測定回路に適したOPアンプ選定が必要です。TIA回路に入力する電流 I_S がゼロ(0A)のとき、出力電圧は0Vとなるのが理想ですが、出力端子には式(2)に示すオフセット電圧と呼ばれている誤差電圧が発生しています。

$$V_{offset} = V_{OS} + R_f \cdot I_b \dots \dots \dots (2)$$

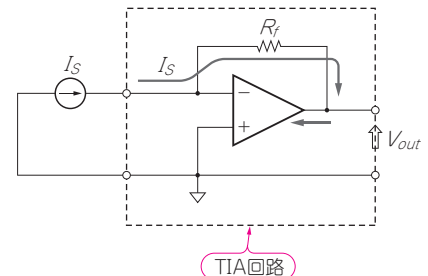
式(2)の項に示されている V_{OS} は「入力オフセット電圧」と呼び、OPアンプ内で発生するオフセット電圧を、入力端子のみで発生する電圧と置き換えて(入力換算)表した値です。通常のOPアンプでは1mV程度ですが、OP-07などのトリミングされた高精度OPアンプになれば数十 μV と小さい値となります。

I_b は「入力バイアス電流」と呼び、OPアンプの+端子、-端子に流れている微小な電流です。入力バイアス電流は主にOPアンプ差動入力部分に使用される

図1 電流測定回路
電流検出抵抗を用いて電流を測定する方法の代表としてシャント抵抗電流測定方式とトランスインピーダンス・アンプ方式の2種類がよく使われている。測定する電流値で使い分ける



(a) シャント抵抗電流測定方式



(b) トランスインピーダンス・アンプ(TIA回路)方式