

微小電流測定用演算増幅器の オフセット電流測定

吉 村 厚・川 口 俊 郎

(1997年 9月24日受理)

§1. まえがき

微小電流測定では、測定可能な電流の限界は、これに使用される計測用増幅器の入力オフセット電流に左右される。より小さいオフセット電流の増幅器を使用すれば、より微少な電流が測定出来る。つまり使用される増幅器により微小電流測定の性能はほぼ決まるといっても過言ではない。

歴史的には、この増幅器の入力段に使用される素子は、エレクトロメータ管といわれる真空管が主流であった。トランジスタが出現して大半の電子回路素子がトランジスタに取ってかわられたが、トランジスタは原理的に入力バイアス電流が大きいので、入力段には真空管が使用されていた。その後バラクタチョパ方式のオレペーションナルアンプが開発され、数フェムトアンペア ($1\text{fA}=10^{-15}\text{A}$) の入力オフセット電流が、トランジスタのみを使用して可能になった。

これらのバラクタチョップ型オペレショナルアンプには、米国テラダインフィルブリック社の170201型、アナログデバイセス社の311J, 310K 及びバーブラウン社の3430 J等が発売されたが、現在では、すべて製造中止となっている。日本のCR-BOX社のLX431Cのみが製造されているのみである。その後電界効果トランジスタ (FET) が出現したが、これはトランジスタと異なり入力インピーダンスが高く、バイアス電流が小さい半導体素子である。これによりエレクトロメータ管が、FET に置き換えられたハイブリッドICが作られるようになった。そしてモノシリツクオペレショナルオペアンプが出現するとFETとこのオペレショナルアンプを組合せた方式のものが主流になった。日本のアイコー社の4M7529型は現在でも発売されている。

技術の進歩は目ざましく、現在ではワンチップICの中にFET及びトランジスタを組合せた微小電流測定用モノシリツクオペレショナルアンプが主流となっている。米国アナログデバイセス社AD515LH, バーブラウン社OPA128LM, 及び日本の

NEC vii PC252A 等がある。これら微小電流測定用オペレーショナルアンプはいずれも高価である。今度米国ナショナルセミコンダクタ社より高性能であり、かつ安価(数100円)のモノシリックオペレーショナルアンプが発売された。LMC6001型で、そのうち AI 型は、入力電流が代表値で25フェムトアンペアである。この IC を使用して微小電流測定器を開発するため、この IC のオフセット電流を測定し、IC を選別する装置を試作したので報告する。

§ 2 . 測定方法と測定回路

まず測定方法について述べる。図 1 に測定の原理を示す。理想的なオペレーショナルアンプの入力電流はゼロである。しかし実際には、各差動入力に直流バイアス電流 I_{B1} 、 I_{B2} が、図 1 に示すように流れる。これらの電流によって、入力端子に接続された抵抗によって電圧降下を生じ、この不平衡により出力電圧が生じる。この出力電圧をゼロにするための 2 つの直流バイアス電流の差を入力換算オフセット電流という。ここで、オフセット電圧を V_{os} 、オフセット電流を I_{os} 、入力端子に外付した抵抗を R_s とすれば、 I_{os} は

$$I_{os} = I_{B2} - I_{B1} \dots\dots\dots(1)$$

であり、オフセット電圧は

$$V_{os} = \pm R_s I_{os} \dots\dots\dots(2)$$

で示される。

オフセット電流の測定は、 S_1 と S_2 を閉じ V_o をゼロとなるようオフセット調整をおこなった後、 S_1 と S_2 を開にする。このときの V_o を電圧計で測定する。この値からオフセット電流は下記の式で表される。

$$I_{os} = \frac{V_o}{R_s} \dots\dots\dots(3)$$

実際の測定回路を図 2 に示す。測定は S_1 、 S_2 を閉じ、 V_o がゼロになるようオフセットを調整する。その後 S_1 、 S_2 を開きデジタルを電圧計の値から求める。回路は非常に簡単であるが、微小電流を測定するため使用する部品は十分注意しなければならない。まず使用した部品について述べる。LMC6001AI はデュアルインライン 8 ピンの IC である。被測定素子は取りかえねばならないので IC ソケットが必要となる。しかし

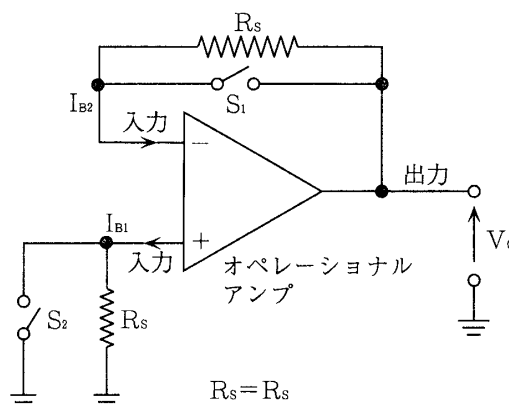


図 1 オフセット電流 I_{os} 測定の原理

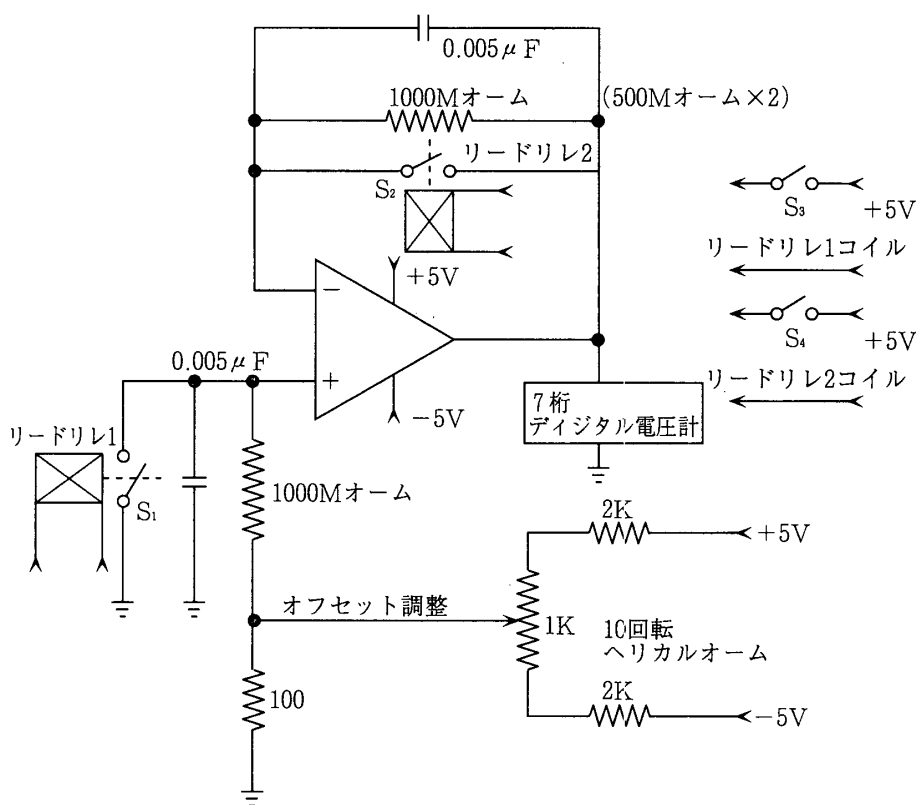


図2 オフセット電流測定回路

テフロンで作られたデュアルインラインのソケットは、外国でも市販されていないので、自作した。まず6mm厚のテフロン板に1.3mmφの穴をあけ、ICソケットの丸ピンをさう入した。この場合穴の位置決定には、サンハヤト社の高精度ICゲージSTP-920を使用した。高抵抗は多摩電気工業社のGS-1/2型500Mオームを2ケ直列に使用した。(GS-1/2型は1/2Wで小型であるが最高値が500Mオームまで、である。)またリードリレーは沖田製作所のTRY1045S14を使用した。このリードリレは絶縁抵抗が 10^{14} オームと大きく1000Mオームの抵抗を開閉しても、誤差を生じない。デジタル電圧計はソーラトロン社モデル7601で7桁表示で100mVレンジを使用した。最小分解能は100nVである。 R_s が1000Mオームであるため(3)式より、 $1\mu\text{V}$ が I_{os} の1fAに相当する。測定結果は V_o が $15.3\mu\text{V}$ であったので、入力オフセット電流は約15fAとなる。この被測定素子LMC6001AIは規格値25fAを満足していることがわかった。

§3. あとがき

LMC6001AIを40ケ発注したが、納期が約2ヶ月おくられている。そのため見本として1ケ入手した。そのため素子間のバラツキのデータが取れなかったのは、非常に残念であった。高抵抗を使用しているので、時定数が大きく、安定して結果が出るまで15

分位かかる。このため多量の素子を測定するには、時間がかかるので、被測定素子自身に増幅度をもたせ、高抵抗を使用しないで、測定する方式のものを試作する予定である。

参 考 文 献

ナショナルセミコンダクタ社 IC データブック (1995年版)