

2-3 標準電圧電流発生器の校正

藤井勝巳 酒井孝次郎 杉山 功 瀬端好一 西山 巖

NICTで行っている校正サービスのうち、テスターやマルチメータを校正するために用いる標準電圧電流発生器の校正について解説する。標準電圧電流発生器は、任意の直流電圧・直流電流・交流電圧・交流電流を、精密に発生させることが可能な装置であるがゆえに、高周波用測定器類の校正とは異なる注意を払って校正のための測定作業を行う必要がある。本稿では、校正手順や校正の不確かさの見積り方について解説する。

1 まえがき

標準電圧電流発生器とは、テスターやマルチメータと呼ばれる電圧電流計を校正するために、任意の直流及び交流の電圧・電流を精密に発生することが可能な信号源である。交流の電圧・電流の周波数としては、商用電源周波数である 50 Hz, 60 Hz の他、飛行機(旅客機)等で使用されている 400 Hz が含まれている。

電波法では、無線設備の試験を行う場合には、較正された電圧電流計を用いることが定められており、NICTでは高周波電力計や高周波減衰器、アンテナなど無線周波数帯の機器の較正サービスとともに、電圧電流計や標準電圧電流発生器といった直流・低周波帯の機器の較正サービスも、無線用設備を試験するための機器のひとつとして行っている。

また、2006 年からは、標準電圧電流発生器について JCSS 登録事業者として、ISO/IEC17025 規格を満たした校正サービスを提供している。

本稿では、実際の校正手順を示しながら、直流・低周波帯の電圧・電流の校正について述べ、校正結果に付随する不確かさの見積り方について述べる。

2 定義

標準電圧電流発生器の電圧・電流の校正とは、図 1 (a) に示す標準電圧電流発生器で設定した電圧値、電流値に対し、図 1 (b) に示す出力端子対における開放電圧、短絡電流を求めることである。実際には、図 2 に示すように、デジタル式のマルチメータを接続して測定することで校正を行う。

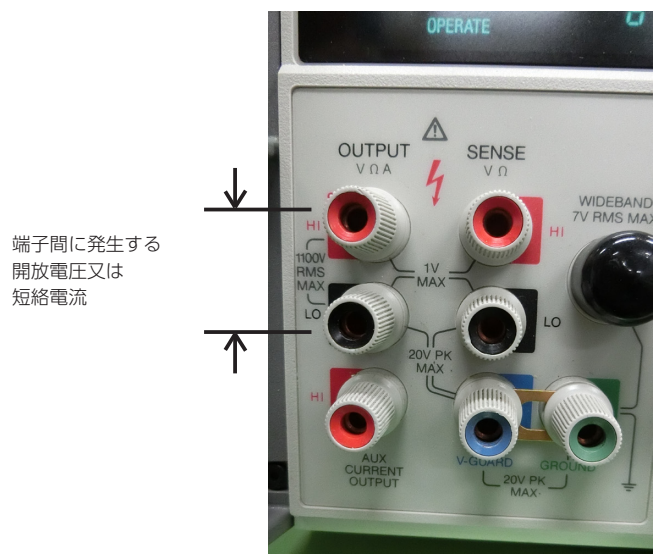
3 校正方法

標準電圧電流発生器の校正は、図 2 に示すように、

NICT が維持・管理している常用参照標準器(以下、標準器)からの出力と、校正対象の標準電圧電流発生器(以下、被校正器)からの出力を、デジタル・マルチメータ(以下、DMM)で測定し比較する置換法により行う [1]。比較に用いる DMM は、標準電圧電流発



(a)



(b)

端子間に発生する
開放電圧又は
短絡電流

図 1 標準電圧電流発生器及び校正基準面

2 校正技術の研究開発

生器が発生する電圧電流の差を知ることができるだけの精度と、その差の範囲内においてリニアリティを必要とする。また、電圧測定端子は十分に大きな内部抵抗を有すること、電流測定端子は十分に小さな内部抵抗を有することが要求される。また、標準電圧電流発生器とDMMを繋ぐケーブルは材質や長さに注意を要する。これらの影響は、あとで述べるように、校正結果の不確かさの要因として評価される。



図2 標準電圧電流発生器の校正
(上段) マルチメータ: Fluke 8508A、(中段) 増幅器: Fluke 5725A
(下段) 標準電圧電流発生器: FLUKE 5720A

具体的な手順は次のとおりである。手順の概略を図3に示す。

- (1) 被校正器をDMMに接続し、被校正器の指示値を、校正したい値 V_{NOMINAL} に設定して出力したときのDMMに表示される値 V_{DUT} を読む。
- (2) 標準器をDMMに接続し、標準器の指示値を、校正したい値 V_{NOMINAL} に設定して出力したときのDMMに表示される値 V_{STD} を読む。
- (3) 次式を用いて、被校正器の指示値 V_{NOMINAL} における校正值 C_{DUT} を決定する。(式の導出は付録を参照)

$$C_{\text{DUT}} = +C_{\text{STD}} - V_{\text{STD}} + V_{\text{DUT}} \quad (1)$$

ここで、 C_{STD} は、標準器を上位の校正機関で校正して得た、指示値 V_{NOMINAL} における校正值である。

実際の校正作業では、DMMによる複数回の測定値を、DMMに接続したパソコンで読み取り、平均値と実験標準偏差を記録する。

また、標準器の校正值 C_{STD} は、上位校正機関で校正された値を用いるが、NICTでは、図4に示すトレーサビリティ体系によって、国家標準とのトレーサビリティを確保している。

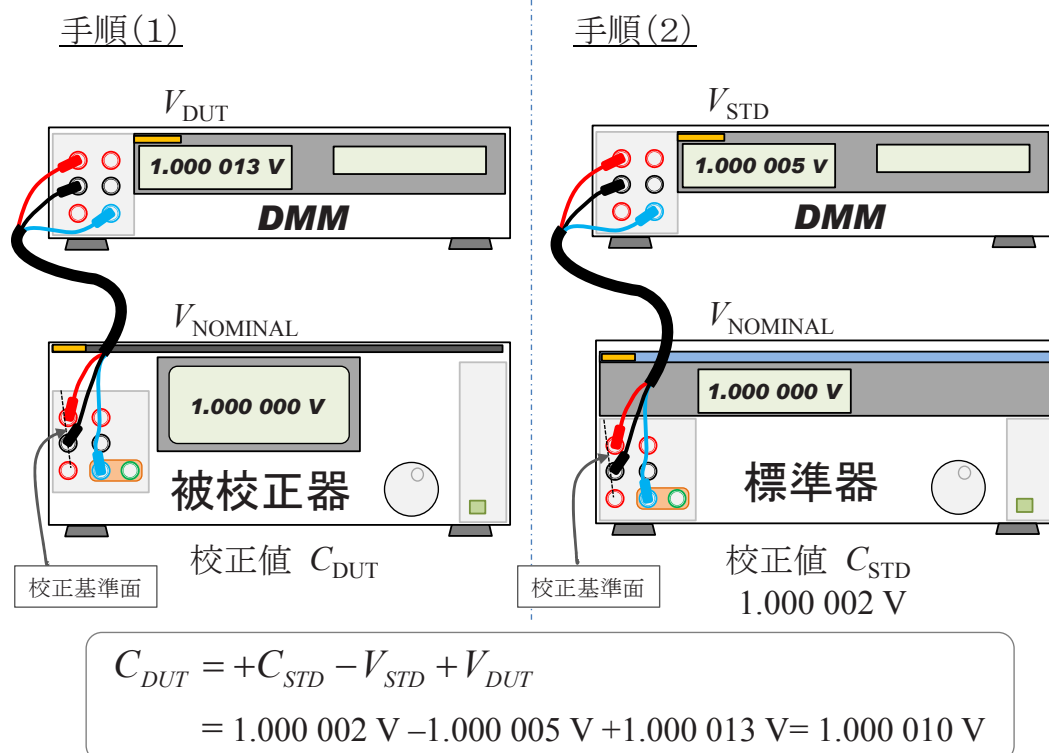


図3 校正手順

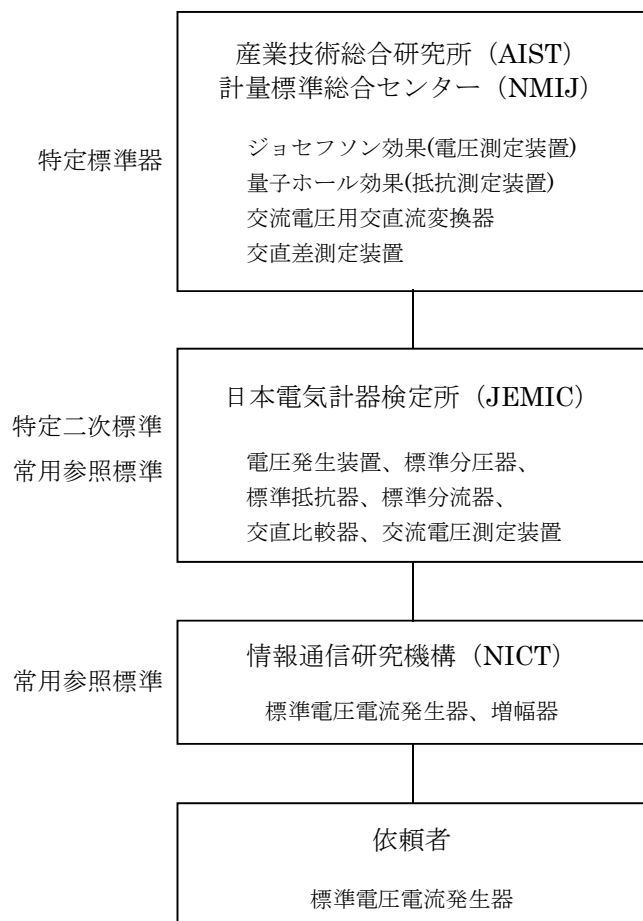


図4 トレーサビリティ体系図

表1 NICTにおける校正範囲

項目	周波数	電圧値、電流値
直流電圧	DC	1 V, 10 V, 100 V
直流電流	DC	10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A
交流電圧	50 Hz, 60 Hz, 400 Hz	10 V, 100 V
交流電流	50 Hz, 60 Hz	100 mA, 1 A, 10 A

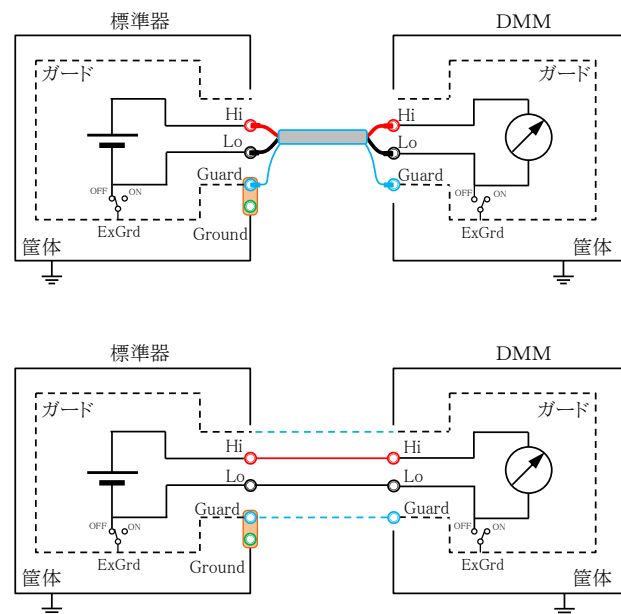


図5 遮蔽と接地

4 校正結果

4.1 標準器及びDMM

JCSS登録事業者として校正を行っている電圧、電流を表1に示す。標準器にはFLUKE社製マルチファンクション校正器5720Aを使用しているが、表1に掲げる校正範囲のうち、直流電流10A、交流電流10Aについては、専用の増幅器FLUKE社製5725Aを用いて電流を発生させる。これらは、年に1回、日本電気計器検定所(JEMIC)にて校正を行い、校正値 C_{STD} を得ている。一方、標準器及び被校正器の出力を比較するために使用するDMMとしては、FLUKE社製リファレンス・マルチメータ8508Aを使用している(図2)。

4.2 接続方法

標準電圧電流発生器とDMMを接続する際には、安定した測定を可能にするために、測定端子の片方を接地する。図1(b)に示すように、標準器5720Aには出力端子(Hi, Lo)の他に、ガード端子及びグラウンド端子が備わっている。また、DMM8508Aには入力端子の他にガード端子が備わっている。標準電圧電

流発生器とDMMの間は、2本の導線が網線でシールドされたリード線で接続され、網線部は、両者のガード端子に接続される。すなわち、標準電圧電流発生器及びDMMは、図5に点線で示したガードと呼ばれる金属遮蔽された中で測定が行われる[2][3]。

このとき、Lo端子とガード端子の間を導通させることで、安定した測定を実現するが、標準器及びDMMには、[Ex Grd] (External Guard) と書かれたボタンが用意されており、本体内部で、Lo端子とガードの導通をON/OFFできるようになっている。このボタンをONにすると、Lo端子とガードとの間が切断される。OFFのときにはLo端子がガードと導通する。さらに、標準器には、図6に示すように外部のガード端子とグラウンド端子を導通させるショートプレート(短絡板)が用意されている。グラウンド端子は筐体と導通している。ショートプレートは取外しが可能である。

ここで、ガードは、図7(a)に示すように、標準器とDMMのどちらか1点でLo端子と接続しなければならない。いわゆる「1点アース」と呼ばれる方法であるが、もし、図7(b)に示すように、標準器側とDMM側の両方で、ガードとLo端子を導通させると、

2 較正技術の研究開発

不要な電流が Guard を経由して流れてしまうため、正しい測定が行えなくなる。

なお、接地を標準電圧電流発生器側で行うか、DMM 側で行うかは、被校正器に依存する。参考として、図 8 (a) はガード端子を持たない標準電圧電流発生器を校正する場合、図 8 (b) はガード端子を持たない DMM やテスターを校正する場合に用いる配線図である。さらに、増幅器を用いる場合には、増幅器に

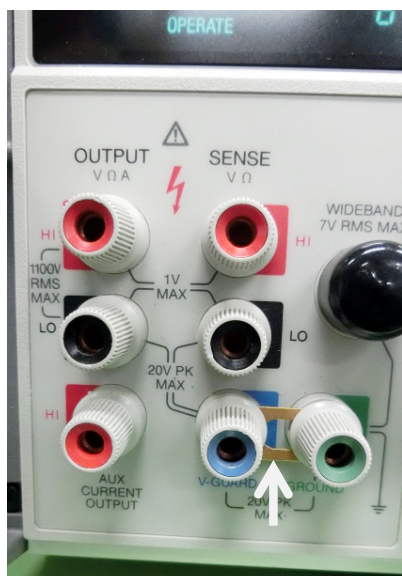
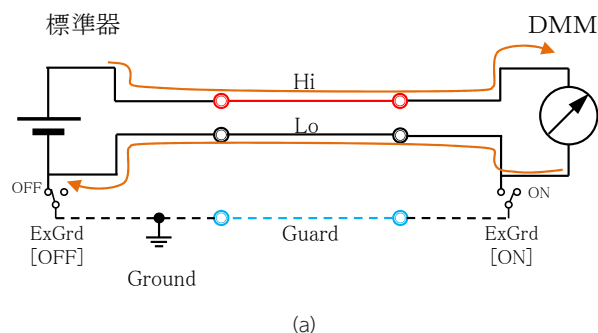
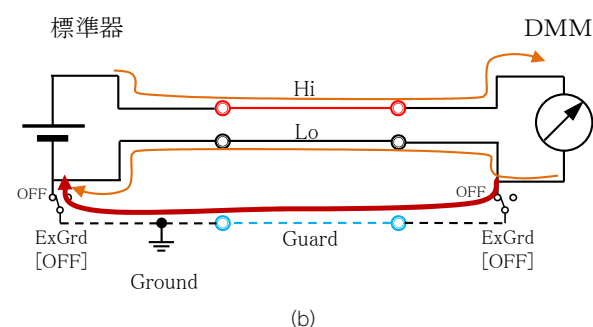


図 6 ショートプレート

ガード端子が用意されていないことから、図 8 (c) に示すように、増幅器と DMM の間を 2 本のリード線で接続することが、取扱説明書 [3] には推奨されているが、2 本のリード線と機器が作るループの間を、外部から到来した磁界が鎖交することで、測定結果に悪

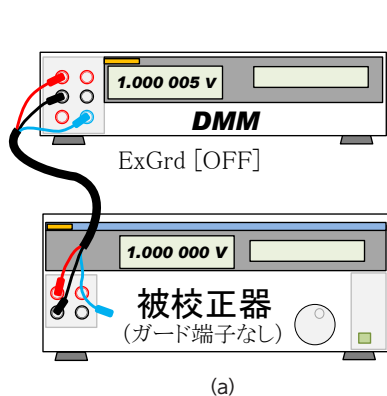


(a)



(b)

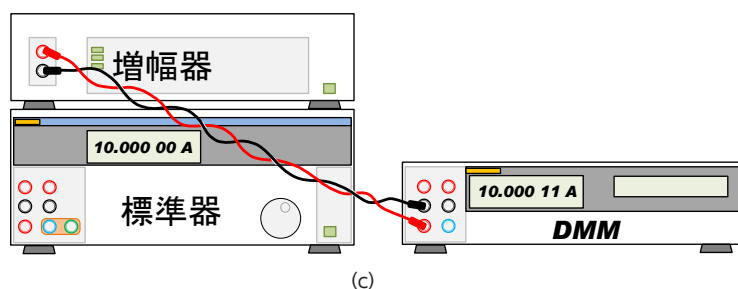
図 7 不適切な電流経路の発生



(a)



(b)



(c)

図 8 External Guard の設定の例

(a) ガード端子がない発生器を校正する場合、(b) ガード端子がない DMM を校正する場合、(c) 増幅器を使用する場合

影響を与えないように2本のリード線は撚って使用することが推奨されている。以上のように、被校正器に応じて、接地方法を考えて測定を行う。

4.3 測定前の通電の必要性

安定した測定を実現するために、測定を開始する前に、DMMに電圧又は電流を加えることの必要性につ

いて検討を行った。図9の2つのグラフは、標準器とDMMを接続して、直流電圧100 V又は直流電流1 Aを印加した結果である。測定は、100回の測定を1セットとして、次のセットとの間に1分間の休憩時間を入れながら10セットの測定を行った。グラフの縦軸は、10セット目の測定結果を基準としたときの、1～9セットの測定値のずれ(単位はppm)である。

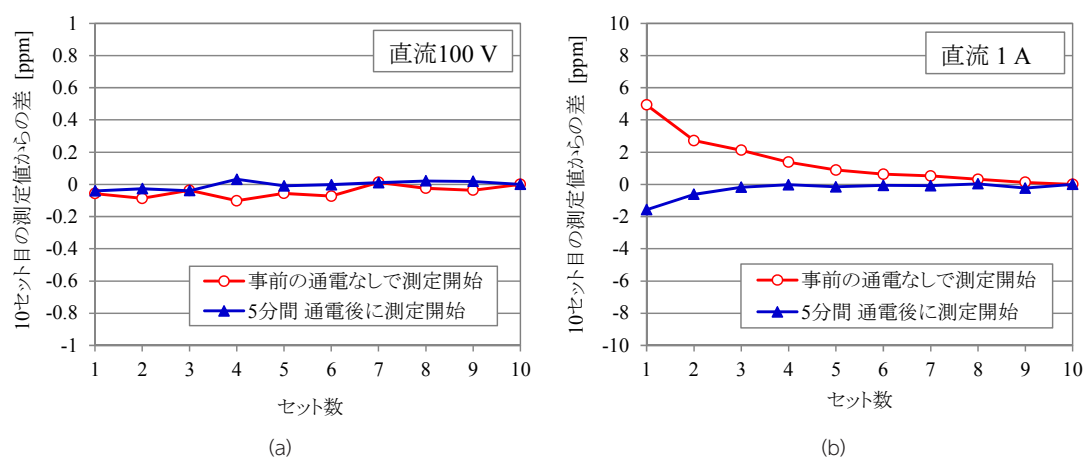


図9 測定値が安定するまでの測定セット数
(標準器とDMMの組み合わせ)

表2 校正結果の例
被校正器: FLUKE 5700A

校正項目			標準器の校正值 C_{STD} ①	標準器の測定値 V_{STD} ②	被校正器の測定値 V_{DUT} ③	校正結果 C_{DUT} ① - ② + ③
直流電圧	1 V	—	1.000 000 3 V	1.000 002 6 V	1.000 002 3 V	1.000 000 0 V
	10 V	—	10.000 000 V	10.000 015 V	10.000 020 V	10.000 005 V
	100 V	—	99.999 91 V	100.000 02 V	100.000 14 V	100.000 03 V
直流電流	10 mA	—	9.999 97 mA	10.000 01 mA	9.999 99 mA	9.999 95 mA
	100 mA	—	100.000 3 mA	100.001 4 mA	100.001 0 mA	99.999 9 mA
	1 A	—	1.000 010 A	1.000 070 A	1.000 067 A	1.000 007 A
	10 A	—	10.001 49 A	10.001 75 A	10.001 65 A	10.001 39 A
交流電圧	10 V	50 Hz	10.000 07 V	9.999 30 V	9.999 33 V	10.000 10 V
		60 Hz	10.000 04 V	9.999 45 V	9.999 46 V	10.000 05 V
		400 Hz	10.000 00 V	9.999 76 V	9.999 77 V	10.000 01 V
	100 V	50 Hz	99.999 2 V	99.992 3 V	99.995 0 V	100.001 9 V
		60 Hz	99.999 6 V	99.993 6 V	99.996 3 V	100.002 3 V
		400 Hz	99.999 4 V	99.996 8 V	99.999 5 V	100.002 1 V
交流電流	100 mA	50 Hz	100.005 mA	99.989 mA	99.989 mA	100.005 mA
		60 Hz	100.006 mA	99.992 mA	99.992 mA	100.006 mA
	1 A	50 Hz	1.000 07 A	0.999 87 A	0.999 88 A	1.000 08 A
		60 Hz	1.000 08 A	0.999 91 A	0.99991 A	1.000 08 A
	10 A	50 Hz	10.002 5 A	10.000 3 A	10.0003 A	10.002 5 A
		60 Hz	10.002 6 A	10.000 6 A	10.0006 A	10.002 6 A

図中、○印に赤線で示しているのは、室温(23℃±2℃)に馴染ませた状態から、1セット目の測定を開始した場合、▲印に青線で示しているのは、1セット目の測定を開始する前に、標準器とDMMを動作させ、電圧又は電流を印加して5分間経過してから10セット測定した場合を示している。

図9(b)において、○印に赤線のグラフを見ると、一定値に収束するまで、複数セットの測定が必要であり、▲印に青線のグラフをみると、5分間、電流を印加し続けたことで、収束が早まっていることが分かる。一方、図9(a)に示す電圧測定の場合は、十分収束していることが分かった。これらの結果から、電流測定において、一定値に収束するまでに、時間が掛かる理由は、電流測定時に、DMM内部の抵抗が温度上昇することで抵抗値が変化することが原因と思われる。大きな電流を測定するときには、DMM内部の抵抗からの発熱量も多くなるので、特に注意を要する。

4.4 校正結果

被校正器として、FLUKE社製マルチファンクション校正器5700Aを校正した結果を示す。5700Aは、標準器と同様、ガード端子及びグラウンド端子を有するが、校正実施条件として、申請者から依頼があった場合を想定し、両者の間にショートプレートを接続した状態での校正を行った。

この場合、被校正器及び標準器でLo端子とガード端子とを接続するため、DMM側のガードとグラウンドの間は切断しなければならない。そのため、DMMの[Ex Grd]ボタンをONにして測定を実施した。校正結果を表2に示す。校正結果の桁数は、次に述べる不確かさに依存して、直流電圧7桁、直流電流6桁、交流電圧6桁、交流電流5桁である。増幅器を使用する直流・交流10Aの電流の場合には桁数は、増幅器からの出力の不確かさが大きいので、DMMに表示されたとしても最終結果の桁数は少なくなる。

5 不確かさ

校正結果に付随する不確かさは、信頼の水準約95%を持つと推定される拡張不確かさで表される。その値の大きさは、以下に述べる複数の要因によって生じる不確かさを、次式を用いて合成することにより推定できる[1][4]。

$$u(C_{DUT}) = \sqrt{u(C_{STD})^2 + u(V_{STD})^2 + u(V_{DUT})^2 + s^2} \quad (2)$$

ここで、

$u(C_{DUT})$: 被校正器の不確かさ

$u(C_{STD})$: 標準器の不確かさ

$u(V_{STD})$: 標準器の指示値を $V_{NOMINAL}$ に合わせて電圧又は電流を出力したときに、DMMに表示される測定値の不確かさ

$u(V_{DUT})$: 被校正器の指示値を $V_{NOMINAL}$ に合わせて電圧又は電流を出力したときに、DMMに表示される測定値の不確かさ

s : 校正結果のばらつき

である。以下、それぞれの項目について説明する。

5.1 $u(C_{STD})$: 標準器の不確かさ

5.1.1 上位校正機関における校正の不確かさ

図4に示すように、NICTが維持管理している標準器は、日本電気計器検定所(JEMIC)によって校正されており、JEMICによって発行された校正証明書に記載された校正値と不確かさを基準としてNICTでの校正が行われる。

校正証明書に書かれた不確かさの値は、包含係数を $k=2$ として求めた信頼の水準約95%の拡張不確かさであることが校正証明書に記載されていることから、校正証明書に書かれている不確かさの値を、包含係数 $k=2$ で割って標準不確かさとする。

5.1.2 標準器の性能

標準器の校正は1年に1回行うが、1年間経過する間に特性が変化する可能性がある。その経時変化の程度は、取扱説明書に不確かさとして記載されており、故障しない限りにおいては、出力の経年変化は、その不確かさの範囲内に収まる、言い換えれば、故障していても、出力は、その不確かさの範囲内で変動する可能性があることが示されている。標準器であるFLUKE 5720Aの拡張仕様書には、1年間における不確かさが、信頼の水準99%の値として掲載されているので、包含係数 $k=2.576$ で割った値を標準不確かさとする。

5.2 $u(V_{STD})$: 標準器の測定結果の不確かさ

標準器をDMMに接続して測定を行ったとき、得られた値 V_{STD} は次の要因による不確かさを有すると考えられる。

5.2.1 DMMの性能

標準器や被校正器から出力される電圧・電流を測定するDMMの性能に関する不確かさとしては、測定器としての安定度、線形性などが、校正結果に影響を与えることが予想される。しかしながら、標準器と被校正器を置換して測定する時間が短いために、DMMが十分に安定であると見なせることや、指示値 $V_{NOMINAL}$ 付近において標準器と被校正器からの出力の

わずかな差は、DMM の線形性が十分保たれている範囲内での測定であることから、DMM の性能に起因する不確かさは 0 とする。なお、測定時間中の測定値の変動は後で述べる「ばらつき」に含まれる。

5.2.2 DMM の表示桁落ち

DMM に表示された最小桁の次の桁の値は、知ることができないため不確かであると考ええる。いま、測定結果が 0.98 V と表示されている場合を考えると、図 10 に示すように、0.975 ~ 0.985 V の範囲 ($0.98 \text{ V} \pm 0.005 \text{ V}$) の値を測定した場合には、すべて、0.98 V と表示される。つまり、小数点以下 3 桁目の値は不確かで、真の測定値はどこにでも存在し得るため、確率密度分布は、一様分布であると考え、標準不確かさを求める。上記の例の場合には、標準不確かさは $0.0029 \text{ V} (= 0.005 / \sqrt{3} \text{ V})$ となる。

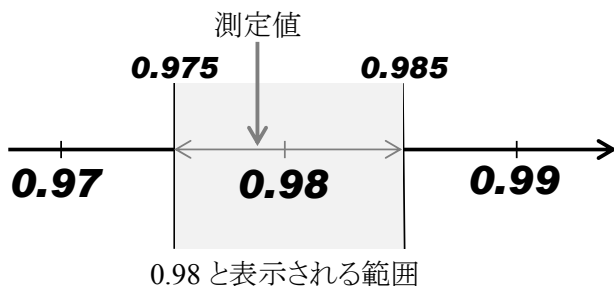


図 10 表示桁落ちの不確かさ

5.2.3 熱起電力による影響 (直流電圧測定時のみ)

標準電圧電流発生器と DMM はケーブルを使って接続を行うが、金属が異なる端子が接続されたとき、4 つの端子の間に温度差があると、ゼーバック効果により熱起電力が生じることが分かっている [5]。この現象は、直流電流や交流電圧、交流電流の測定の場合には問題とならないが、直流電圧を校正する場合に問題となる。とくに、1 V 以下の小さい直流電圧を測定する場合には無視できなくなる。

直流電圧について測定を行うときには、周囲の温度に気を配るだけでなく、標準電圧電流発生器や DMM にリード線が接続された状態で、端子温度を測定し、その差が $\pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 未満であることを確認してから測定を行っている。標準不確かさの大きさは、標準器及びテストリードの接点の素材はテルル銅であり、製品仕様書 [6] から熱起電力係数が $1.3 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 以下であることが分かっている。いま、温度差が $\pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内であることを確認してから測定したとすれば、 $\pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ を限度とした一様分布、すなわち、 $0.866 \text{ }^{\circ}\text{C} (= 1.5 / \sqrt{3} \text{ }^{\circ}\text{C})$ が温度の標準不確かさであり、熱起電力係数を用いて起電力に換算すると、 $1.13 \mu\text{V} (0.866 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 1.3 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C})$

を得る。すなわち、端子電圧の差が $\pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内の状態では測定するとき、起電力に起因する標準不確かさは $1.13 \mu\text{V}$ である。

被校正器と DMM を接続した場合にも同様に考えることができるが、被校正器の端子の金属と、その金属の熱起電力係数を調べる必要がある。

5.2.4 バードン電圧による影響 (電流測定時のみ)

電流測定の際、DMM の入力インピーダンスは、理想的には 0Ω であることが望まれるが、実際には、わずかな入力インピーダンスが存在し、DMM の + 端子と - 端子との間で電圧降下が生じる。この電圧降下が原因となって、標準器や被校正器が被る影響は、バードン電圧 (Burden Voltage : 負荷電圧) と呼ばれており、不確かさの要因となる。バードン電圧は、使用する DMM の性能 (入力インピーダンス) に依存して発生するが、バードン電圧が与える影響は、標準電圧電流発生器の性能に依存している。すなわち、大きなバードン電圧が発生したとしても、校正結果への影響が大きくなる場合も小さくなる場合もある。その程度は取扱説明書に掲載されており、その数値を使って得られた値を上限とした一様分布を確率分布として与えることで、標準不確かさを見積もる。現在使用している標準器と DMM の組合せでは、バードン電圧の影響は無視できることが分かっている。

5.3 $u(V_{\text{DUT}})$: 被校正器の測定結果の不確かさ

被校正器を DMM に接続して測定を行ったとき、得られた値 V_{DUT} は、標準器を接続して測定した場合と同様、次の要因による不確かさを有すると考えられる。

5.3.1 DMM の性能

5.2.1 と同じ。バジェット表には、5.2.1 と合わせたものを記載する。

5.3.2 DMM の表示桁落ち

5.2.2 と同じ。

5.3.3 熱起電力による影響 (直流電圧測定時のみ)

5.2.3 と同じだが、被校正器は様々な種類があるため、端子の金属材料の熱起電力係数を調べる必要がある。

5.3.4 バードン電圧による影響 (直流電流測定時のみ)

5.2.4 と同じだが、被校正器のバードン電圧による影響を受けたときの能力について調べる必要がある。

5.4 校正結果のばらつき

校正は、100 回測定の平均値を 1 セットとして 5 セット測定することで、ばらつきによる影響が他の不確かさ要因に比べて十分小さくなるように、また、有効自由度が十分大きくなるようにしている。

2 較正技術の研究開発

表3 不確かさバジェット
直流電圧 1 V

根拠 ①	分布	除数 ②	値 ③=①÷②	感度係数 ④	寄与 ③×④	備考
【常用参照標準の不確かさ】						
1 上位校正値	3 ppm	正規 ($k=2$)	2	1.5 ppm	1 μV	1.5 μV
2 標準器の仕様	6.8 μV	正規 ($k=2.576$)	2.576	2.64 μV	1 -	2.64 μV
【比較測定に起因する不確かさ】						
3 DMMの性能	0 μV	矩形	$\sqrt{3}$	0 μV	1 -	0 μV Fast モード, 分解能7.5桁
【常用参照標準器の測定時の不確かさ】						
4 DMM桁落ち	0.05 μV	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 μV	1 -	0.029 μV 7.5桁
5 起電力	1.5 $^{\circ}\text{C}$	矩形	$\sqrt{3}$	0.866 $^{\circ}\text{C}$	1.3 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	1.13 μV 3 $^{\circ}\text{C}$ 以内(±1.5 $^{\circ}\text{C}$ 以内)
6 バードン電圧						
【DUTの測定時の不確かさ】						
7 DMM桁落ち	0.05 μV	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 μV	1 -	0.029 μV 7.5桁
8 起電力	1.5 $^{\circ}\text{C}$	矩形	$\sqrt{3}$	0.866 $^{\circ}\text{C}$	1.3 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	1.13 μV 3 $^{\circ}\text{C}$ 以内(±1.5 $^{\circ}\text{C}$ 以内)
9 バードン電圧						
【その他の要因による不確かさ】						
10 ばらつき	0.085 μV	正規	$\sqrt{10}$	0.027 μV	1 -	0.027 μV 10回測定
合成標準不確かさ					3.43 μV	有効自由度
拡張不確かさ(信頼の水準 約95%)					6.9 μV	$k=2$ として計算

表4 不確かさバジェット
直流電流 1 A

根拠 ①	分布	除数 ②	値 ③=①÷②	感度係数 ④	寄与 ③×④	備考
【常用参照標準の不確かさ】						
1 上位校正値	6 μA	正規 ($k=2$)	2	3 μA	1 -	3 μA
2 標準器の仕様	105 μA	正規 ($k=2.576$)	2.576	40.8 μA	1 -	40.8 μA
【比較測定に起因する不確かさ】						
3 DMMの性能	0 μA	矩形	$\sqrt{3}$	0 μA	1 -	0 μA Normal モード, 分解能6.5桁
【常用参照標準器の測定時の不確かさ】						
4 DMM桁落ち	0.5 μA	矩形	$\sqrt{3}$	0.289 μA	1 -	0.29 μA 6.5桁
5 起電力						
6 バードン電圧	0.3 V	矩形	$\sqrt{3}$	0.173 V		0 μA 入力インピーダンス×電流値 0.5V未満なので考慮しなくてよい
【DUTの測定時の不確かさ】						
7 DMM桁落ち	0.5 μA	矩形	$\sqrt{3}$	0.289 μA	1 -	0.29 μA 6.5桁
8 起電力						
9 バードン電圧	0.3 V	矩形	$\sqrt{3}$	0.173 V		0 μA 入力インピーダンス×電流値
【その他の要因による不確かさ】						
10 ばらつき	1.98 μA	正規	$\sqrt{10}$	0.626 μA	1 -	0.63 μA 10回測定
合成標準不確かさ					40.9 μA	有効自由度
拡張不確かさ(信頼の水準 約95%)					82 μA	$k=2$ として計算

表5 最高測定能力

校正項目			最高測定能力
直流 電圧	1 V	—	6.9 μ V
	10 V	—	46 μ V
	100 V	—	590 μ V
直流 電流	10 mA	—	0.36 μ A
	100 mA	—	4.6 μ A
	1 A	—	82 μ A
	10 A	—	3,200 μ A
交流 電圧	10 V	50 Hz, 60 Hz	0.62 mV
		400 Hz	0.58 mV
	100 V	50 Hz, 60 Hz	7.2 mV
		400 Hz	7.0 mV
交流 電流	100 mA	50 Hz, 60 Hz	16 μ A
	1 A	50 Hz, 60 Hz	300 μ A
	10 A	50 Hz, 60 Hz	4.3 mA

5.5 最高測定能力

以上の結果をまとめた一例を表3、4に示す。表3は直流1 Vの場合、表4は直流電流1 Aの場合について数値が記載してある。

この表をみると、不確かさを大きくしている要因は、5.1.2で述べた標準器の性能であることが分かる。この不確かさ要因を小さくするには、上位校正機関での校正の周期を短くすることや、複数台の標準電圧電流発生器を用意して経時変化が小さいことを担保する方法が考えられる。

表5に示すのは、現在、JCSS登録事業者として登録している最高測定能力の一覧である[7]。5.3から分かるように、不確かさの値には、被校正器の性能が反映されるが、最高測定能力とは、JCSS登録された手順に従って校正を行ったときに得られる最小の不確かさを表している。最高測定能力を得るために、測定は10セット行った。

6 あとがき

テスターやマルチメータを校正するための基準の電圧・電流を発生させることができる標準電圧電流発生器の校正法について解説した。校正の原理から実際の手順、校正結果に付随する不確かさの要因について解説し、校正項目における最高測定能力を示した。

同軸線路ではなく、リード線を使うことから明らかなように、直流電圧・電流は、他の高周波帯の測定器類とは異なる取扱いが必要であり、測定精度も、高周波帯では数%のオーダーであるのに対し、数ppmのオーダーと2、3桁高い精度の測定が要求されてい

るため、適切な手順による校正が必要となる。

【付録】 式(1)の導出

標準電圧電流発生器の校正は、電圧又は電流を出力させたときに、標準電圧電流発生器に接続したDMMに表示される値を読むことによって実施される。標準電圧電流発生器をDMMに接続して測定するということは、DMMを、2つの標準電圧電流発生器を用いて校正し、その結果を比較しているとも言える。

まず、被校正器をDMMに接続し、被校正器の指示値を校正したい値 V_{NOMINAL} に設定して出力した合わせたときのDMMに表示される値 V_{DUT} を読む。このとき、校正値 C_{DUT} の被校正器を使ってDMMを校正したとすると、DMMの校正値 $C_{\text{DMM}}^{(1)}$ は次式で求められる。

$$C_{\text{DMM}}^{(1)} = V_{\text{NOMINAL}} + V_{\text{DUT}} - C_{\text{DUT}} \quad (\text{A.1})$$

次に、標準器をDMMに接続し、標準器の指示値を校正したい値 V_{NOMINAL} に合わせたときのDMMに表示される値 V_{STD} を読む。このとき、校正値 C_{STD} の被校正器を使ってDMMを校正したとすると、DMMの校正値 $C_{\text{DMM}}^{(2)}$ は次式で求められる。

$$C_{\text{DMM}}^{(2)} = V_{\text{NOMINAL}} + V_{\text{STD}} - C_{\text{STD}} \quad (\text{A.2})$$

このとき、DMMの校正値 $C_{\text{DMM}}^{(1)}, C_{\text{DMM}}^{(2)}$ が等しくなるとき、被校正器の標準電圧電流発生器は校正されたことになるので、式(A.1), (A.2)において、 $C_{\text{DMM}}^{(1)} = C_{\text{DMM}}^{(2)}$ でなければならない。このとき両式からは V_{NOMINAL} も消去され、本文中の式(1)が次のように得られる。

$$C_{\text{DUT}} = +C_{\text{STD}} - V_{\text{STD}} + V_{\text{DUT}} \quad (\text{A.3})$$

【参考文献】

- 1 JCSS 不確かさの見積りに関するガイド (ハンディデジタルマルチメータ直流電圧 100V), 第5版, JCG210S21-05, (独) 製品評価技術基盤機構認定センター, Aug. 2007.
- 2 Calibration: Philosophy in Practice, 2nd edition, Fluke Corporation, May 1994.
- 3 5700A/5720A Series II Multi-function Calibrator Operators Manuals, Rev.1, FLUKE, March 2008.
- 4 飯塚幸三 監修, "計測における不確かさの表現ガイド," 日本規格協会, Nov. 1996.
- 5 内窪孝太, "DMM (デジタル・マルチ・メータ) 入門講座," 電波新聞社, May 2007.
- 6 5730A-7002 Low Thermal Test Lead Set Specification Sheet, PN 4375776, FLUKE corp., Oct. 2013.
- 7 JCSS 登録事業者リスト, <http://www.nite.go.jp/iajapan/jcss/labsearch/pdf/D0172M.pdf>

2 較正技術の研究開発



藤井勝巳 (ふじい かつみ)

電磁波研究所
電磁環境研究室
研究マネージャー
博士(工学)
無線用測定器の較正、環境電磁工学



酒井孝次郎 (さかい こうじろう)

電磁波研究所
電磁環境研究室
有期研究技術員
無線用測定器の較正



杉山 功 (すぎやま つとむ)

電磁波研究所
電磁環境研究室
主任研究員
無線用測定器の較正



瀬端好一 (せばた こういち)

電磁波研究所
電磁環境研究室
主任研究員
無線用測定器の較正、測地学



西山 巖 (にしやま いわお)

電磁波研究所
電磁環境研究室
無線用測定器の較正