


Measurements International
Membership of Our Scales, Accuracy of Our Resistance™

抵抗 1μΩ から 1TΩ での校正と比率精度の検証
Calibration and Ratio Accuracy Verification from 1μΩ to 1TΩ
Duane Brown

Measurements International, Prescott, Ontario, Canada

概要:


1μΩ から 1TΩ の間の抵抗計測の技術を二つ説明します。併せて直流電流コンパレータ (DCC) 技術に関連する不確かさと新技術 AccuBridge™ (ADCC) を 1μΩ から 100kΩ の範囲で説明します。10kΩ 以上は、ハイパー電圧分圧器 (BVD) の原理が使います。活用範囲は 10kΩ ~ 1TΩ までです。

更に、ADCC と BVD の計測での比率検証の方法を、トレーサビリティ確保して説明します。

MI が提案する ADCC と BVD の比率検証の方法は、すべての抵抗比で、補正値を設定する必要がなく、インターチェンジ技術で実施できます。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada


Measurements International
Membership of Our Scales, Accuracy of Our Resistance™


最初に

2009年 以前 - 抵抗比の計測は次の二つの方法が活用されていました:

- 1) 2個、あるいはそれ以上の抵抗器を直列に接続して計測電流を流し、抵抗器に発生する電圧を計測し電圧比を求める。
- 2) 一組の抵抗器に既知の値の電流比で計測電流を流し、抵抗器に発生する電圧値を同じにする。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada


Measurements International
Membership of Our Scales, Accuracy of Our Resistance™

最初の技術説明

この技術の適応には、既存のポテンショメータを活用するか、あるいは DVM を活用して発生電圧を計測します。

- 1) 計測精度を確保するには相応の計測装置を準備する必要があります。それで一次標準研等の限定した条件で有用になっています。
- 2) 安定した電圧源が必要で、連続して計測を行います。電圧計測での線形性、レンジが変化した時の計測性能が重要になります。


www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada


Measurements International
Membership of Our Scales, Accuracy of Our Resistance™

二番目の技術

二番目の技術例は直流電流コンパレータ (DCC) ブリッジの活用です。



$$\begin{aligned}
 Ix \cdot R_1 + Ix \cdot R_2 &= Ix \cdot R_3 + Ix \cdot R_4 \\
 \frac{I_x}{I_s} &= \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \\
 \frac{I_x}{I_s} &= \frac{R_1}{R_3} + \frac{R_2}{R_4} \\
 \frac{I_x}{I_s} R_3 &= \frac{R_1}{R_3} R_3 + \frac{R_2}{R_4} R_3 \\
 \frac{I_x}{I_s} R_3 &= R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_4}
 \end{aligned}$$

Master-Resistance Rx と Slave-Resistance Rs の関係を求めます。抵抗値は 1μΩ から 10kΩ まで計測可能です。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

DCC ノイズの最低値

ノイズの最低値は 0 アンペア時の検出器での、電流ノイズの値で決まります。

$$0.2 \times 10^{-6} \text{ AT} / \text{Is} \times \text{Ns}$$

$$0.25 \text{ uat or } 0.25 \text{ ppm}$$

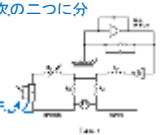
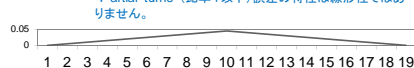
フィードバック回路で変調周波数が機能している部分からの直接の、電流ノイズを作り、マスター電流源とスレーブ電流源の間で反転している回路での電流ミスマッチがヒステリシス誤差を発生させます。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

DCC 誤差の発生解析

- DCCの精度に影響を与える誤差要因には次の二つに分けることができます。
 1. ゲイン誤差
 2. ヒステリシス誤差
- ゲインの誤差は
 1. 磁束から電圧値への変換(ピーク検出器)で現れて、
 - 感度 = 100 uat = 100 mV
 - 信号の変調周波数成分
 - 2 to 3 uat (0.2 to 0.3 ppm)
 - 線形性能 = フルスケールの0.01 ppm (10:1 Ratio)
 2. 誤差は the partial turns (比率1以下)の特性に従っています。
 - Partial turns (比率1以下) 誤差の特性は線形性ではありません。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

ヒステリシス誤差

- DCCシールド内での電流変化により発生する残存磁束により生まれます。
- 磁束の漏れ、検出器コアの周りにある電磁シールドから発生しています。
- ヒステリシス誤差は線形特性はありません。
- ヒステリシス誤差は計測値が大きくなると、標準偏差、不確かさの値も大きくなる傾向があります。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

DCC 比率検証

1:1の比率で、この技術の検証はインターチェンジ技術を活用して行います。

$$r_e = (R_a - \frac{1}{R_b}) / 2$$


R_a と R_b は各々、正方向、逆方向の比率計測値を表しています。

ここでは、コアの巻き数は同じ、計測電流も同じです。
($N_x = N_s$ and $I_x = I_s$)

さらに、この DCC 技術が有効な比率は1:1から10:1の間だけでした。何年もの間、DCCの課題でした。

www.mintl.com


© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada


Measurements International
Membership of Our Scientists, Accuracy of Our Results™

DCC 10:1 比率計測

- 以前は、インターチェンジ技術は精度確認のため活用することはできませんでした。
- 10:1の比率計測を1:10に逆転させると、電流巻線(AT)の感度は1/100に引き下がります。
 - 10:1 Ratio = 40 aT
 - 1:10 Ratio = 0.4 aT
 - この1:10のインターチェンジエラーは、10:1の計測から0.5~1ppm増加します。
- DCCの比率校正はCCCか、あるいは校正済みの標準抵抗で比率を計測することで、DCCの出力(比率)が規格内であることを検証していました。

www.mintl.com
© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada


Measurements International
Membership of Our Scientists, Accuracy of Our Results™

1:1以上のDCC 比率確認の方法

次の方法で確認することができます:

- 1) CCC
 - 費用と時間の考慮が必要です。
- 2) 絶対精度を保証した標準抵抗器
 - 抵抗比が大きくなるに従い、不確かさも大きく
- 3) ハイモン標準抵抗
 - 不確かさも大きく、消費電力も課題


www.mintl.com
© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada


Measurements International
Membership of Our Scientists, Accuracy of Our Results™

直流電流コンパレータ(DCC) 不確かさ

- 電流ノイズ (I_n) = $0.05 \times 10^{-6} \text{ AT} / I_s \times N_s$ (slave turns)
 - 例えば $I_x = 1 \text{ mA}$
 電流ノイズ $I_n = 0.05 \times 10^{-6} / 10^{-3} \times 800 \text{ turns}$
 = 0.0625 ppm
- 比率誤差:
 - 比率誤差は、当該ブリッジの比率とブリッジを校正するために使用する計測器の出力差です。
 - 比率誤差 = $CCC_{\text{RATIO}} - DCC_{\text{RATIO}}$
 - 比率誤差の不確かさ $UNC =$
 - $RSS (CCC_{\text{UNC}}^2 + DCC_{\text{UNC}}^2 + DCC_{\text{DRIFT}}^2 + \text{Partialum}_{\text{UNC}}^2)$

www.mintl.com
© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada


Measurements International
Membership of Our Scientists, Accuracy of Our Results™

DCC 不確かさに要因検討

- マスター電流源の 0.01% 誤差 = 計測比率の0.01 ppm 誤差
- スレーブ電圧源の 0.01% 誤差 = 計測比率の0.01 ppm 誤差
- ナノボルト、電圧検出器の 0.01% 誤差 = 計測比率の0.01 ppm 誤差
- DCCのバーチャルターン(比率1以下の計測回路)の不確かさ (software algorithm)

www.mintl.com
© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Metrology in Car Service, Accuracy in Car Diagnosis™

ヒステリシス誤差

- DCCシールド内での電流変化により発生する磁束が残ります。
- 磁束の漏れるのは検出器コアの周りにある電磁シールドからです。
- ヒステリシス誤差には線形特性はありません。
- ヒステリシス誤差は、ピークディテクトの不安定出力で、DCC巻数の不安定値として現れ、電圧検出器の直流オフセットに影響を与えます。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Metrology in Car Service, Accuracy in Car Diagnosis™

DCC 計測不確かさ ワークシート

Measurements International Ltd.
Standard Calibration Laboratory Quality System
Uncertainty Budget Worksheet for 10 Ohm

Technician: [Redacted] In test system: 10
Reference Bridge L/N: 0825 Reference Bridge Error 1% (ppm): -0.012
23944
UT L/N: 1011101 Reference Resistor: 1.0000415 0.011
5.5.0006

Step and Test	Ratio	Deviation from nominal (ppm)	Max UNC (ppm)	STD DEV (ppm)	STD of Test	Total
1) DCC 14.00	10.00001273	41.168	0.109	0.007		
2) DCC 14.01	10.00001274	41.174	0.107			
3) DCC 14.02	10.00001271	41.175	0.105			
4) DCC 14.03	10.00001277	41.171	0.107			
5) DCC 14.04	10.00001275	41.175	0.113			
6) DCC 14.05	10.00001272	41.173	0.107			
Avg ratio: 10.00001273				0.007147	0.0012	0.0099

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Metrology in Car Service, Accuracy in Car Diagnosis™

合成不確かさ 2s

不確かさ 要因 (Reference)	タイプ	Dist	不確かさ (標準偏差)	合成不確かさ
1 6010C Uncertainty (Cal Report)	B	n	0.012	0.006
2 Bridge Error (Cal Report)	B	u	0.005	0.014
3 Long Term Drift (1 year) of bridge ratios	B	n	0.100	0.050
4 Worksheet uncertainty	A	n	0.0289	0.006
Uncertainty due to partial turns dependence of reference 6010C bridge	B	u	0.050	0.0289
拡張不確かさ	k=2		合成不確かさ	0.06

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Metrology in Car Service, Accuracy in Car Diagnosis™

AccuBridge™ または ADCC 技術の原理

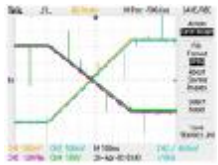
Figure 2
AccuBridge™ Block Diagram

- 1) 2009年に開発したAccuBridge™は2個のデジタル電流源にはリニアランプ回路を組み込んだマスター、スレーブ電流源として機能しています。この回路はCCCと類似している。
- 2) マスター、スレーブの両電流源は計測毎に校正する。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

AccuBridge™ Tracking Current Sources which addresses the uncertainty due to hysteresis



As measured at the output of the current sources and after the windings, again similar to the CCC
The ramping current sources both demagnetize the core upon current reversal and removes the effect or changes in the residual flux upon current reversals (soft switching)

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

AccuBridge™ 電流コンバーテータ

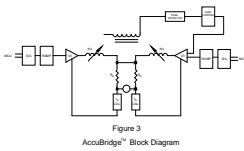


Figure 3
AccuBridge™ Block Diagram

- バイポーラ巻の直流電流コンバーテータ (1,2,4,8 etc)
 - マスター側 N_x巻、スレーブ側 N_s巻は両方とも可変。
 - 新開発の感度を増加させたピーク(磁束)検出器は計測結果を更に安定化させ、ゲインを増加させました。(100 uat = 200 mV)。
 - ピーク検出器での変調周波数成分は、安定した計測を実現するためノイズ成分になるため、除去します。
 - 全てのコア巻線はお互いの間で自己校正していることから、ブリッジの計測誤差は小さくなります。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

AccuBridge™ または ADCC 技術の原理

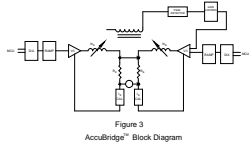


Figure 3
AccuBridge™ Block Diagram

- 電流源の設定分解能、精度を実現する為、フィードバックは小さくしています。
- 増加したゲインと低電流ノイズのDCCを組み合わせ、ブリッジの能力をアップさせました。
 - ADCC (アドバンスドDCC) の線形特性は0.001ppmに達している。
cont

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

**ADCC リアルターンの校正
線形性 < 0.001 ppm**

#1:	0.00026	+/- 0.00178 ppm
#2:	0.00070	+/- 0.00652 ppm
#3:	0.00022	+/- 0.00106 ppm
#4:	0.00056	+/- 0.00389 ppm
#5:	0.00077	+/- 0.00111 ppm
#6:	-0.00025	+/- 0.00105 ppm
#7:	-0.00012	+/- 0.00180 ppm
#8:	-0.00035	+/- 0.00179 ppm
#9:	-0.00002	+/- 0.00123 ppm
#10:	0.00092	+/- 0.00139 ppm
#11:	-0.00152	+/- 0.00171 ppm
#12:	0.00143	+/- 0.00052 ppm
#13:	-0.00024	+/- 0.00101 ppm
#14:	0.00120	+/- 0.00131 ppm

Table 1
Real Turns Comparison

校正は最も重要なターンの比較から開始します。
校正結果(数値)はメモリに記録し、比率の読み値に加算します。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Member of Car Service, Accuracy at Car Dealers™

ADCC Partial Turn's

新開発のパーシャルターン回路 ブロック図

$$I = \frac{V}{R_{30} + R_1} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Unloading circuit to unload the winding resistance from the fractional turn resistor

Unload the contact resistance changes of the relays

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Member of Car Service, Accuracy at Car Dealers™

ADCC パーシャルターンの校正

- 1 RT vs 1/128 PTs : -0.00134 +/- 0.00324 ppm
- 1: Cal Turn
- 1: -0.0004 ± 0.0019 ppm
- 2: -0.0002 ± 0.0013 ppm
- 4: 0.0001 ± 0.0013 ppm
- 8: 0.0001 ± 0.0013 ppm
- 16: -0.0009 ± 0.0019 ppm
- 32: 0.0005 ± 0.0017 ppm
- 64: -0.0005 ± 0.0015 ppm
- 128: -0.0003 ± 0.0015 ppm
- Where #8 puts a separate 128 weighted turn against the full partial turns plus the Cal turn
- 校正結果は内部メモリに記録し、比率計測に加えませす。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Member of Car Service, Accuracy at Car Dealers™

ADCC スレープターンの校正

- #1: -0.0003 ± 0.0019 ppm
- #2: -0.0004 ± 0.0013 ppm
- #3: 0.0002 ± 0.0013 ppm
- #4: 0.0003 ± 0.0014 ppm
- ここで、スレープ巻数はマスター巻に対して校正しています。
- 校正結果はメモリに記録し、比率計測に加えませす。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Member of Car Service, Accuracy at Car Dealers™

ADCC 電圧検出器の校正

- DCCの三番目に大きい不確かさの要因は**電圧検出器**です。
 - このゲインは計測する抵抗値、計測電流の値で変化します。
- 電圧検出器は
 - DCCパーシャルターンの最低ターン値の値に対し、校正してませす。

Figure 3
AccuBridge™ Block Diagram

電圧検出器

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

ADCCでの比率の検証

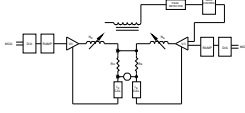


Figure 3
AccuBridge™ Block Diagram

- ADCCでは、マスターの巻き数 (Nx)、スレーブの巻き数 (Ns) 共に一定ではありません。
- 10:1 Ratio aT = 25.6,
- 1:10 Ratio aT = 25.6
 - SN比で10以上に改善しています。
 - 電圧検出器から変調周波数成分の信号を除去します。
 - 線形特性を 0.01 から0.001に改善しました。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

ADCC 比率 1:1の検証

計測条件:	DC Test	ADCデータ				インターチェンジ
	収束数	正方向比率	標準偏差	逆方向比率	標準偏差	1%-
1:1 @50mA	8/3	1.000017340	0.0035	0.999982698	0.0028	0.0191
1:1 @100mA	8/3	1.000017183	0.0023	0.999982847	0.0016	0.0147
1:1 @150mA	8/3	1.000017131	0.0024	0.999982910	0.0023	0.0202
10:1 @10mA	8/3	0.999967933	0.0060	1.001033140	0.0043	0.0039
100:100 @3mA	8/3	0.99996517	0.0197	1.000003485	0.0060	0.0027

- 1) 1Ω から 100Ωまでの計測で、正方向、逆方向のインターチェンジエラーを評価
- 2) 抵抗器での消費電力を <10 mW に設定
- 3) 標準偏差の計算は25データサンプルから計算

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

ADCC 比率1:1の検証

比率	10/8	1.001067241	0.0230	0.998933896	0.0351	-0.0004
1k:1k @0.1mA		1.001067231	0.0049	0.998933912	0.0049	0.0028
1k:1k @2mA		1.001067228	0.0026	0.998933894	0.0018	-0.0078
1k:1k @3mA		1.001067250	0.0020	0.998933896	0.0030	-0.0012
1k:1k @4mA		1.001067256	0.0060	0.998933846	0.0013	0.0021
1k:1k @5mA		1.001067320	0.0017	0.998933814	0.0032	-0.0018
10k:10k @0.1mA	12/6	0.999571559	0.0115	1.000428681	0.0130	0.0282
10k:10k @0.5mA	12/6	0.999571573	0.0014	1.000428663	0.0018	0.0260

- 1) 1kΩ から 10kΩまでの計測で、正方向、逆方向のインターチェンジエラーを評価
- 2) 抵抗器での消費電力を <10 mW に設定
- 3) 標準偏差の計算は1A/Dの読み値、25データサンプルから計算

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

比率 10:1の検証

抵抗比	正方向	標準偏差	逆方向	標準偏差	偏差	規格判定値
10Ω:1Ω	10.0003298	1.10E-02	0.9999670	1.30E-02	-2.1E-08	0.02
25Ω:10Ω	2.5027810	1.20E-02	0.3995553	2.00E-03	5.0E-09	0.02
100Ω:10Ω	9.9992249	8.00E-03	0.1000075	1.00E-02	2.7E-09	0.02
100Ω:25Ω	3.9954555	5.00E-03	0.25028434	2.60E-03	-1.7E-08	0.02
1000Ω:100Ω	10.0109121	6.00E-03	0.99989099	3.30E-02	-1.8E-08	0.02
10kΩ:1000Ω	9.9988335	2.00E-02	0.10001166	5.41E-02	-1.6E-08	0.02
100kΩ:10kΩ	9.9901778	4.20E-02	0.10009829	2.55E-01	-1.2E-07	0.1

- 1) インターチェンジ計測は10:1の比率以外の他の比率計測でも可能です。
 1. 両抵抗の計測条件で、同じ電流(巻き数)になるようにしてください。
 2. 両抵抗の計測条件で、同じ消費電力になるようにしてください。

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

ADCC ワークシート

104498

野測日時	正方向比率 (%)	Date and Time	逆方向比率 (%)	5P- RSN	STD Feed	STD Rev	STD of Interchange	Ratio Unc	
3/3/2010 14:04	10.0002900	0.0099	3.330061418	0.0099	-1.4E-08				
3/3/2010 14:11	10.0002900	0.0099	3.330061411	0.0099	-1.4E-08				
3/3/2010 14:22	10.0002900	0.0099	3.330061422	0.0099	-1.4E-08				
3/3/2010 14:31	10.0002900	0.0074	3.330061431	0.0074	-1.4E-08				
3/3/2010 14:40	10.0002900	0.0121	3.330061440	0.0121	-1.4E-08				
3/3/2010 14:50	10.0002900	0.0075	3.330061450	0.0075	-1.4E-08				
正方向比率 平均	10.0002900		逆方向比率 平均	0.0099678	-1.1E-08	0.0000	0.0000	0	0.0126

www.minti.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

不確かさ解析

Identified Measurement	Value	Distribution	Order	Adjuster	Value	Component	Value	Std. Dev.
Short Term Repeatability of Bridge	0.01	Normal	1	1	0.01	0.01	0.001	0.001
Bridge Repeatability	0.004	Rectangular	120	1.700	0.001	0.004	0.00007	0.00007
Bridge Linearity	0.004	Rectangular	120	1.700	0.001	0.004	0.00007	0.00007
Temperature Effects (at 2 degC)	0.007	Rectangular	120	1.700	0.004	0.004	0.00007	0.00007
Interchange Error	0.010	Rectangular	120	1.700	0.010	0.010	0.00007	0.00007

www.minti.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

抵抗値 とトレーサビリティ

- 抵抗値は以下の手順で計測すると、向上した不確かさで求めることができます。
 - 抵抗値 = ((Normal + 1/Reverse)/2) x Rs
ここで RsはQHRを使って求めます。通常の不確かさ= 0.01ppm あるいはそれ以下であることを期待しています。
- インターチェンジ技術を活用します。
計測範囲 1Ω から 10,000Ω

www.minti.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

校正不確かさを小さくする代用校正技術

1kΩを10kΩ(標準)で校正する。この10kΩ標準はQHRで値付けする。

10kΩ の校正:
抵抗測定置換法 (10kΩ:1kΩ:10kΩ)
10kΩ は標準抵抗を使用します。
ブリッジ単体の誤差を除去できます。
インターチェンジ操作は不要です。

1kΩ の校正:
インターチェンジ技術 (10kΩ:1kΩ と 1kΩ:10kΩ)の活用
10kΩ は標準抵抗を使用します。

www.minti.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Metrology is Our Science, Accuracy is Our Business™

1uΩ から 100mΩまで(レンジエクステンダ)の活用

レンジエクステンダ

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Metrology is Our Science, Accuracy is Our Business™

6011 比率校正

- 1) 0.1 W @ 150 mA を計測、1W の標準抵抗、ブリッジ6010
- 2) 10 W @ 5 mA を計測、1 W の標準抵抗、ブリッジ6010
- 3) 0.1 W @ 250 mA を計測、1 W の標準抵抗、計測器 6010/6011/6100
ステップ3)とステップ1)を比較する。(比率10を校正する。)
- 4) 0.1 W @ 1.1 A を計測、1 W の標準抵抗、計測器 6010/6011/6100
- 5) 0.1 W @ 1.1 A を計測、10 W の標準抵抗、計測器 6010/6011/6100
この差は6011の比率1000の誤差になる。
- 6) 0.01 W @ 1.1 A を計測、1 W の標準抵抗、計測器 6010/6011/6100
- 7) 0.01 W @ 1.1 A を計測、10 W の標準抵抗、計測器 6010/6011/6100
この差は6011の比率10000の誤差になる。

3/16/2017 Metrology is our Science, Accuracy is our Business www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Metrology is Our Science, Accuracy is Our Business™

抵抗値10kΩ to 1TΩ での 校正と比率トレーサビリティ

- バイナリーボルテージディバイダ(BVD)では、0.01ppmオーダの短期間の安定性をもった電圧源をBVDに接続し、直列に接続した抵抗の一組との間で並列にDVMを挿入し、マスター・スレーブ刊の関係を作っています。

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta V_1 \cdot V_2}{V_1 \cdot V_2} = \frac{\Delta V_1 \cdot V_2}{V_1^2 \cdot V_2^2} = \frac{\Delta V_1}{V_1} + \frac{\Delta V_2}{V_2}$$

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Metrology is Our Science, Accuracy is Our Business™

BVD 計測結果

1.00003501	10000.38561	0.99996417	10000.02863
1.00003568	10000.38718	0.99996435	10000.03044
1.00003516	10000.38676	0.999964386	10000.03008
1.00003508	10000.38669	0.999964369	10000.03063
1.00003538	10000.38698	0.999964397	10000.03091
1.00003527	10000.38687	0.999964376	10000.03069
1.00003563	10000.38723	0.999964351	10000.03044
1.00003543	10000.38703	0.999964356	10000.03055
1.00003529	10000.38689	0.999964332	10000.03055
1.00003532	10000.38692	0.999964333	10000.03026
1.00003535	R _s	0.999964359	R _x
1.41E-02		2.1E-02	
10000.38695		10000.03052	

$$r_e = \left(R_x - \frac{1}{R_s} \right) / 2 = 0.004 \text{ ppm}$$

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

BVD の不確かさ と比率誤差

For a typical 1:1 comparison of four terminal resistors the estimated ratio uncertainty is calculated as follows and is typically = 0.02 ppm

$$\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 = \left[\frac{(0.1)^2(0.2)^2}{(1+0.0)^2} + \frac{(0.2)^2(0.1)^2}{(0.9-0.0)^2}\right]$$

Ratio Error:
where the ratio error is defined as the interchange ratio between the normal and reverse measurements of Hi/Lo

www.minti.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

ワークシート

Measurements International Ltd.
Standards Calibration Laboratory Quality System

Uncertainty Budget Worksheet for 1:100

Item	Value	Unit	Uncertainty	Unit	Contribution	Unit	Relative Contribution
Resistance	100000.00	Ω	0.00000000	Ω	0.00000000	0.00000000	0.00000000
Resistance Ratio Hi/Lo	100000.00	Ω	0.00000000	Ω	0.00000000	0.00000000	0.00000000
Resistance Ratio Lo/Hi	100000.00	Ω	0.00000000	Ω	0.00000000	0.00000000	0.00000000
Ratio	100000.00	Ω	0.00000000	Ω	0.00000000	0.00000000	0.00000000

www.minti.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

BVD 計測不確かさ

不確かさの要因	タイプ	分布	半幅	標準偏差	相対不確かさ
1. フラッグの物理的取り付け	B	u	0.010	0.008	
2. フラッグの物理的取り付け	B	u	0.005	0.004	
3. フラッグの物理的取り付け	B	u	0.010	0.008	
4. テンションチャートエラー	B	u	0.005	0.004	
5. ワークシートに要求する計算不確かさ	A	r	0.010	0.008	
6. 配線のルーティングによる不確かさ	B	u	0.010	0.008	

合計不確かさ		0.010	0.008
相対不確かさ		0.010	0.008

www.minti.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

BVD 計測

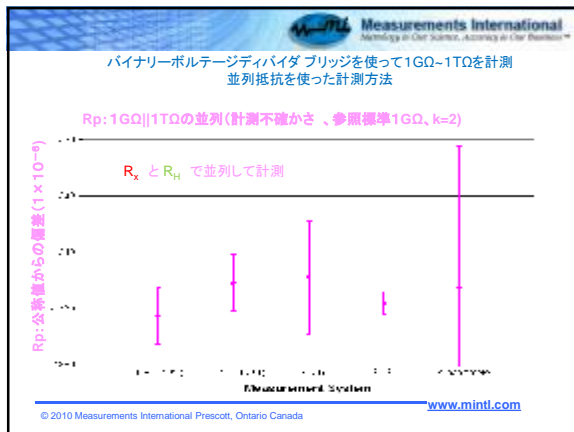
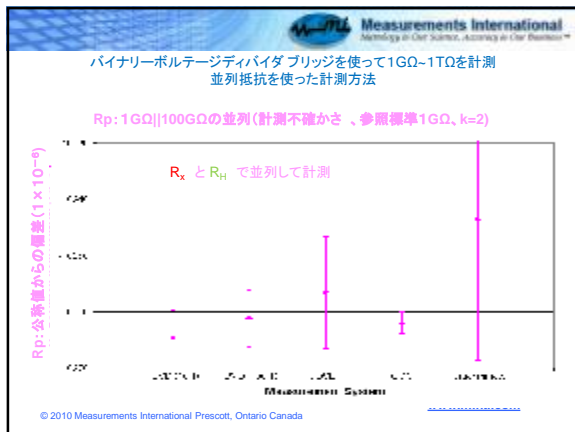
被計測抵抗: 10KΩ から 100MΩ
インターチェンジ計測の手順は
タスク1 = HI:LO
タスク2 = LO:HI
ここで 最大抵抗値 R_{max} = 100MΩ

100MΩ 以上の抵抗の場合は
例えば HI:LO = 1GΩ:100MΩ

1GΩ 以上の抵抗では
並列操作 10GΩの計測のため
HI:LO = 10GΩ/1GΩ:100MΩ
この方法では、1GΩと、100MΩの抵抗値を知っておく必要があります。

www.minti.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada



Measurements International
Membership in Our Sectors, Accuracy in Our Business™

Resistance Traceability

QHR
Whether your own
Or from an NMI calibration report
Primary Standards Required
1Ω, 10kΩ, 100MΩ (minimum of four 1Ω, two 10kΩ, two 100MΩ)
Check Standards for all other values

www.mintl.com

© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

Measurements International
Membership in Our Sectors, Accuracy in Our Business™

Conclusions

- 1) DCCの不確かさの全ては追加の補正操作を実施せず、ADCCで改善しています。
- 2) 以前のDCC技術と新しいADCC技術の間で、いくつかの改良を実施した。
 - ADCCはその比率不確かさが仕様範囲内であることを検証するため、
 - どのような比率でも、インターチェンジ技術を使用します。

$$r_p = (R_a - \frac{1}{R_b}) / 2$$

- BVDでも、その比率不確かさが仕様範囲内であることを検証するため、
 - どのような比率でも、インターチェンジ技術を使用します。

$$r_p = (R_a - \frac{1}{R_b}) / 2$$

www.mintl.com


© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

 **Measurements International**
Metrology of Our Science, Accuracy of Our Business™

まとめ

13:1とその逆数0.076との間の任意の比について、ADCCを<0.01ppmの精度まで改善することができる。

www.mintl.com
© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada

 **Measurements International**
Metrology of Our Science, Accuracy of Our Business™

References

M.P. MacMartin and N.L. Kusters, "A direct-current-comparator ratio bridge for four-terminal resistance measurements," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-15, pp. 212-220, December 1966

M.P. MacMartin and N.L. Kusters, "A direct current comparator bridge for high resistance measurements", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol IM-22, pp. 382–386, December 1973

Dean Jarret, Rand Elmquist, Marlin Kraft, NIST, NCSL 2009, A Parallel-Scaling Method from 1GΩ to 1TΩ for the Binary Resistive Divider Bridges

And special thanks

Dr. Barry Wood – INMS – Partial Turn Calibration techniques

Dr Kaneko from NMJ – testing and evaluation (NCSL Japan)

Nick Fletcher, BIPM for his input on grounding techniques and voltage detector optimization

Carlos Sanchez, NRCC on grounding techniques

www.mintl.com
© 2010 Measurements International Prescott, Ontario Canada