

学生実験用直流測定器較正作業の省力化

藁科 崇*, 高橋 光生*, 早川 義彦*, 矢崎 和幸*, 青木 猛**, 桑田 正行*

Laborsaving in the Calibration Work of DC Meters for the Student Laboratory

Takashi WARASHINA*, Mitsuo TAKAHASHI*, Yoshihiko HAYAKAWA*,
Kazuyuki YAZAKI*, Takeshi AOKI**, Masayuki KUWADA*

Abstract

We developed the automated calibration system for the DC meters, and by this system, the laborsaving was achieved in a maintenance work for equipment in the student laboratory.

This automated calibration system is applied to calibration for 40 sets of PC controlled data acquisition systems. These data acquisition systems already had been developed and introduced by us as alternative equipment of outdated DC meters. These development and introduction were parts of the plan to modernize the student experiment subjects. On the other hand, a possibility that the burden of our maintenance work would increase was apprehended by retirement of engineers. In order to solve this problem, when we developed the DC measuring instrument which is a subsystem of the data acquisition system, we added the protection feature from an excessive input and the prevention feature from aged deterioration, and aimed at decreasing the workload for the restoration from the accident under experiment. In addition, reduction of the calibration workload was aimed at by working the automated calibration system reported in this paper. As a result, the time for maintenance of the DC meter function of the data acquisition system needed as of 2012 was turned into about 50% of the time which needed as of 2008 (The outdated DC meters were used till 2008, and those were calibrated manually).

This paper reports the outline of the automated calibration system, and the situation where calibration work time is saved.

Keywords : Student Laboratory, Laborsaving, Maintenance, Automated, Calibration, DC meter

1. はじめに

学生実験では多くの設備・器具が使用されており、それぞれ適切な保守を必要としている。これらの保守は主に学術技師の業務であるが、担当職員の定年退職等により保守業務の効率的な遂行の工夫が必要とされている。

一方、学生実験内容とその実験設備の近代化も要求されている。その一環として、電子回路実験用設備の一つに従来使用してきた可動コイル式パネルメータの代替設備として、直流測定器（直流専用のデータアクイジションシステム DAQexUEC09、以下 DCM と記す）45 台を

学内で開発・製造し、平成21年度前期より導入している^[1]。この DCM は無故障化と調整部のソフトウェア化によって、保守作業の省力化を可能とするものである。DCM は主に旧電子工学科（E 科）および現先端工学基礎課程（K 課程）のアナログ回路実験用^{[2][3]}として40セットを稼働させている。DCM の較正作業は自動較正プログラムの適用によって従来の作業時間に比較し50%以下とすることができているが、さらに大幅な作業時間の短縮をめざしている。

DCM の開発と導入および自動較正システムは、学生実験設備保守作業省力化の一環として一定の成果を得て

Received on September 12, 2012.

* 電気通信大学実験実習支援センター

** 電気通信大学ものづくりセンター

いる。本稿では、開発した自動較正システムとそのシステムを用いた保守作業の省力化について報告する。

2. 較正システム

2.1 電子回路実験設備

(1) 構成

電子回路実験設備の外観を図1に示す。

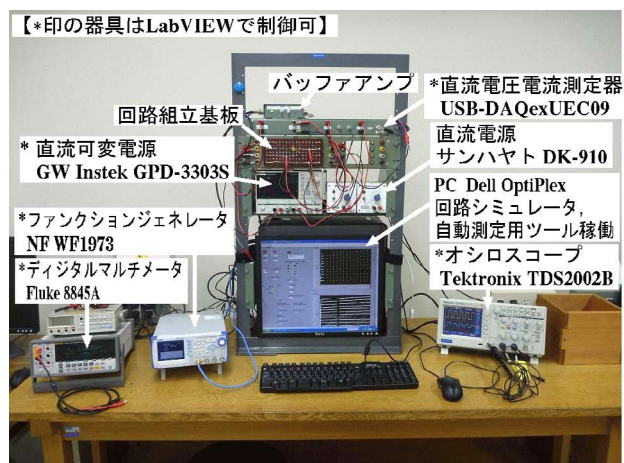


図1 電子回路実験設備

電子回路実験設備の各実験台上には、JIS規格(旧JIS C 6010-1969)の標準ラックを中心に、ファンクションジェネレータ、デジタルマルチメータ、オシロスコープ、Windows PC等が配置されている。標準ラックはDCM、実験用直流電源、実験回路組立基板設置用パネル、PCディスプレイを搭載している。PCは教材の提示やデータ処理サービス等の提供とともに、機器の操作について簡素化された仮想操作パネルを提供する。仮想操作パネルおよび自動較正のためのプログラムは学部サイトライセンスのLabVIEW^[4]を使用して開発された。

(2) DCM^[1]

較正時の調整を自動化するために、調整はすべてソフトウェアが負うものとして設計・製造されており、較正作業の省力化を担う主要な要素である。ハードウェアからトリマ抵抗器などの調整部品を一切なくし、測定レンジ切り替えのためにソリッドステートリレー(フォトモスリレー)を使用するなど、接触構造部分の経年劣化の影響を排除している。また、無故障化のためにダイオードクランプ回路による電流バイパス保護が施されており、電子回路実験装置に備えられた実験用電源装置の最大電流3Aでは故障を生じ得ない。導入したDCMは各実験台の40台と開発・予備設備5台の計45台であり、これらについて、標準電圧・電流発生器(以下SVGと記す)を持ち回って較正作業を行っている。平成24年度前期現在、電子回路実験設備では学内較正の対象器は45台のDCMだけである。

2.2 較正システムの構造と操作

(1) 機器と制御プログラムによるシステム構成

較正作業時の機器と制御プログラムの構成を図2に示す。較正作業時は、各実験台にSVGを持ち回り、その実験台のDCMに標準値を与える。各実験台での保守作業で、PC上の保守作業用プログラムDCMMとその制御下のSVG、DCMが保守用システムを構成する。補正係数は各DCM専用の補正係数ファイルCCFに格納する。CCF中の値はDCMの測定制御プログラムDCMC(DCMMとは独立)の起動時に読み込まれ補正計算に使用される。DCM内の測定回路には調整箇所がないので、ハードウェアに故障のない限り保守用プログラムによるCCF内容の更新だけで指示値を調整できる。

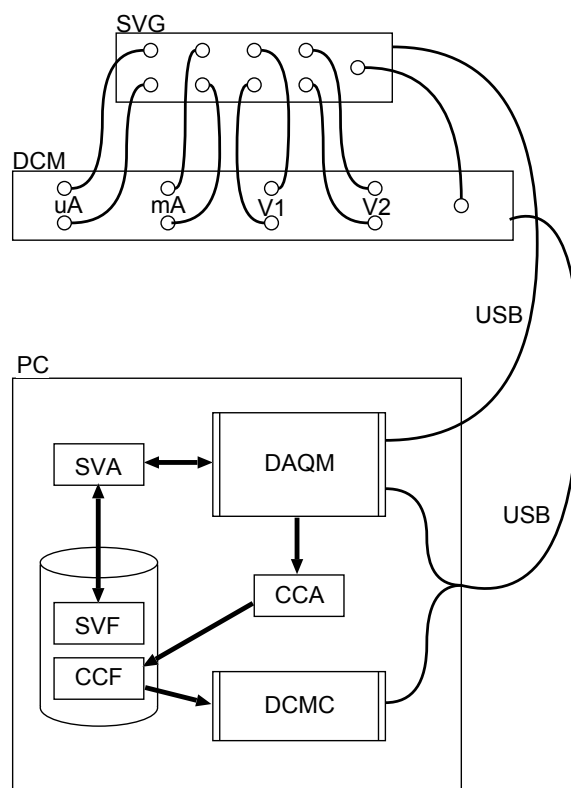


図2 較正システムの構成

(2) 操作

DCMの備えるすべての測定入力端子の各レンジについて、以下A~Fの処理を適用する。

- A: 測定点のリスト設定
- B: 値取り
- C: 補正係数の算出
- D: 補正係数ファイルの更新
- E: 評価
- F: 記録

それぞれの処理は、測定点のリスト設定内容に従い複数の測定入力端子とレンジでの複数の測定点について、まとめて自動で行うこともできるが、我々は処理結果に

ついで警告表示等を確認しながら逐次手動によりA～Fの処理を行っている。それぞれの処理はPCディスプレイに表示される仮想操作パネル面上の対応するボタンによって起動できる。仮想操作パネル面を図3に示す。

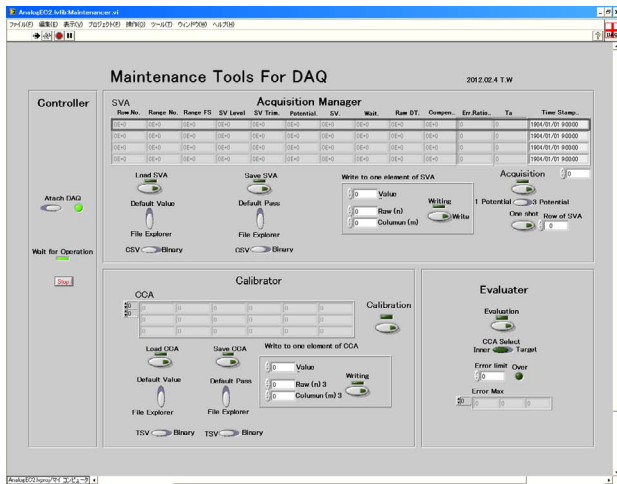


図3 PC画面上の仮想操作パネル面

仮想操作パネル上には各処理の起動ボタンとそれぞれの処理における処理内容の選択スイッチおよび処理中であることを示すランプが並んでいる。各処理は一つの作業状態配列SVA (State Variable Array) を共有し、互いに内容を更新しつつ進行する。

SVA配列の1行は一つの標準値についての値取りに対応する。列の要素は値取りのためのハードウェア制御用の値、標準値、測定値用変数、室温・タイムスタンプ用変数などがある。主な標準値と測定用変数は次の通りである。

V_s :

値取りしようとする値 (SVGから出力できる値) の名目値。以下の正負の値から一つが選択される。

1.000 μ A, 17.00 μ A, 300.0 μ A, 1.000mA, 5.000mA, 100.0mA, 0.3000V, 5.000V, 30.00V

「A: 測定点のリスト設定」により格納。

v_r :

AD変換モジュールからの直接の値。-8V ~ +8V

「B: 値取り」により格納。

v_c :

現在の補正係数を要素 v_r の値に適用して補正した値。

「C: 補正係数の算出」により格納。

(3) 補正係数 m, b の算出

DCMの制御プログラムはAD変換器の出力値 v_r に補正計算を施した値 v_m を測定値としてアプリケーションプログラムに返す。補正計算は式1によって行っているため、補正係数 m, b の算出は式2, 3で行える。

$$v_m = m v_r + b \dots\dots\dots 1$$

$$m = 2V_s / (v_{rsp} - v_{rsm}) \dots\dots\dots 2$$

$$b = V_s (v_{rsp} + v_{rsm}) / (v_{rsm} - v_{rsp}) \dots\dots\dots 3$$

v_{rsp} (正值) と v_{rsm} (負値) はSVAの二つの行 ($|V_s|$ が等しく異符号) の要素 v_r からとられた値である。それら二つの行はDCMの同一の測定入力端子の同一レンジでの異なる標準値の測定に対応する。

3. 標準電圧・電流発生器 (SVG) の学内製作

3.1 学内製作の理由

多数の測定器を校正するにあたり複数人で分担可能とするため、当初は市販校正器の導入を考えた。校正対象のDCMは旧可動コイル式計器の仕様を下回らないことを目標として製作しているが、旧可動コイル式計器 (一級) の端子には1 μ Aフルスケールと100mAフルスケールレンジの端子が含まれており、これに見合う校正のためには、1 μ Aおよび100mA電流を0.1%の確度で出力可能な標準電流発生器を備えた校正器が必要となる。しかし、これらの条件を満足する仕様の市販製品は併せ持つ他の仕様も高い高級器となり、それを作業の効率向上のために複数台導入することは学生実験用の品質の測定器を保守するためには不釣り合いな感が否めなかった。一方、必要な標準値は固定値で限られた数であり、温度変化等比較的長期の変動に対処するため短期間で自身の校正を繰り返しながら使用することを想定するなら、副標準器として学内製作することも可能と判断した。複数の副標準器の校正作業を短期間で繰り返すことが必要となるが、そのための標準器として使用することとなる実験実習支援センター備品の8桁精度Agilent 3458AはGPIBインタフェースを備えているため、この校正自体も自動化が可能である。

3.2 SVGの機能

(1) 出力値

校正対象DCMの備える測定入力端子4組に対応する4組の標準値出力端子を備える。設定可能な値を表1に示す。

(2) 出力端子電位の制御

筐体端子に対する出力端子の電位を $\pm 20V$ の範囲で設定できる。これにより共通電位の変動がDCMの測定値に及ぼす影響を試験することができる。

表1 製作した SVG の仕様

設定値*	$\pm 1\mu\text{A}$, $\pm 17\mu\text{A}$, $\pm 300\mu\text{A}$ $\pm 1\text{mA}$, $\pm 5.7\text{mA}$, $\pm 100\text{mA}$ $\pm 0.3\text{V}$, $\pm 5\text{V}$, $\pm 30\text{V}$
電位制御	筐体に対し $-20\text{V} \sim 20\text{V}$

* 出力値 = 設定値 \pm (設定値 \times 0.001)
($k=2$ [k は包含係数])

ただし、 μA レンジ負荷電圧降下 $\pm 1.7\text{V}$ 最大
mAレンジ負荷電圧降下 $\pm 1.1\text{V}$ 最大
Vレンジ負荷電流1mA最大
筐体に対する出力端子の電位は $\pm 20\text{V}$ 以内
室温 $25^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$

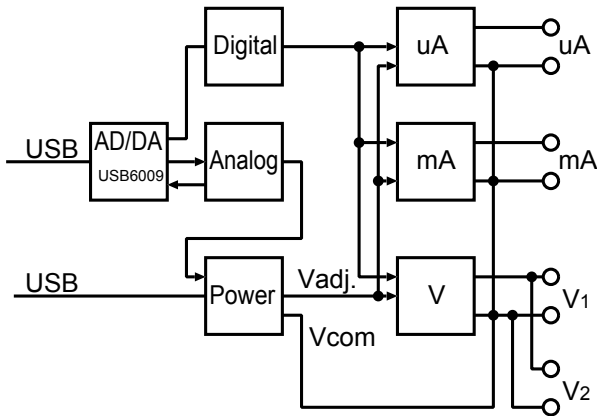


図4 SVGの回路構成

3.3 SVCの回路構造

(1) 全体の構成

回路ブロック構成を図4に示す。図中“ μA ”, “mA”, “V”は互いに独立の標準値発生/出力回路で、正負独立に持つ5.000Vの電圧標準を基準としてそれぞれ6(計18)個の異なる値を出力できる。これらの出力値は微調整値 v_{adj} により規定の精度に調整される。4者の出力端子はそれぞれの片側が共通に接続されて同電位であり、筐体端子に対するその電位 v_{com} はAnalogブロックからの制御により変化させることができる。同時に v_{adj} もPowerブロックで電位シフトされ、各標準値発生ブロックに共通に与えられる。Digitalブロックを介する測定レンジ選択信号も同じ信号が3個の標準値出力回路ブロック(“ μA ”, “mA”, “V”)に共通に接続している。全ての標準値出力回路ブロックに同じ制御信号値が与えられるためその時点での使用目的に応じたブロックのみに最適な制御値を与えて使用する。Analogブロックには温度センサがあり、その値は電圧値としてPC側で読むことができる。

(2) 標準値出力回路

$\pm 1\mu\text{A}$, $\pm 17\mu\text{A}$, $\pm 300\mu\text{A}$ を出力する回路図を図5に示す。オペアンプU1が出力する電流のR6への分流を除いた部分が標準値として“ μA ”の+端子より出力される。R7~R10は電流検出抵抗器であり、リレーU4、U5

の開閉状態によってこの部分の合成抵抗値が変わり、基準電圧と等しい電圧降下時の電流値を得る。この基準電圧はR6の降下電圧とツェナーダイオードZ1またはZ2の電圧の和であり、この基準電圧はR6に流れる電流値を変えることによって $\pm 1\%$ の範囲で微調整することができる。この微調整電流値は調整電圧 v_{adj} によりオペアンプU2とTr1またはTr2を介して調整できる。 v_{adj} はAnalogブロックよりPowerブロック内の電位シフト回路を介して与えることができる。

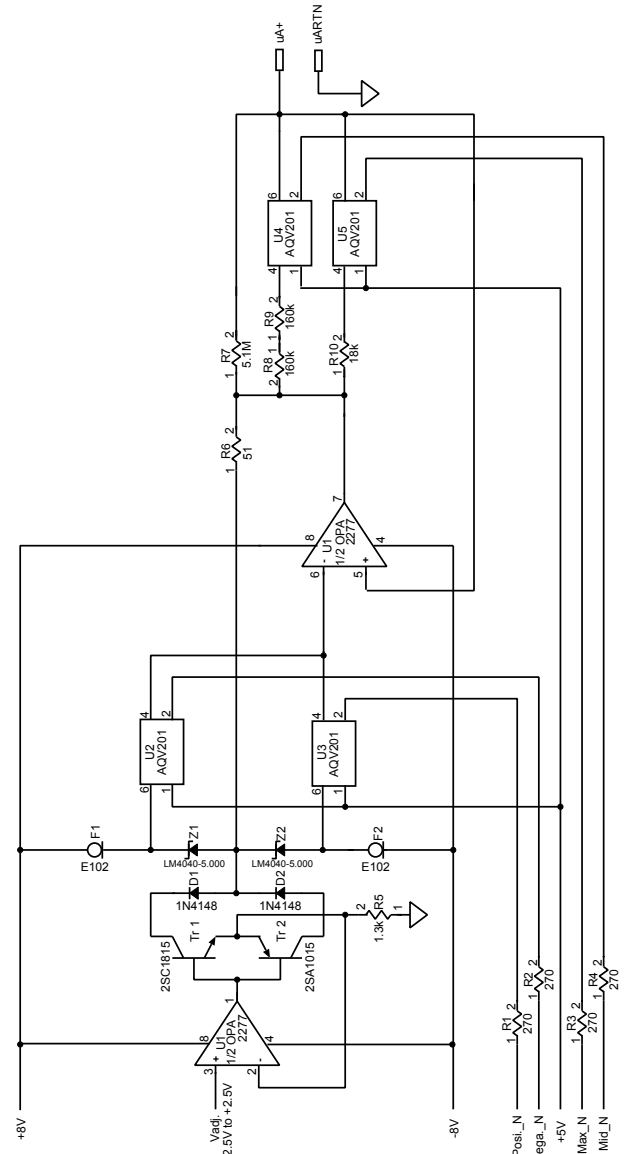


図5 SVGの“ μA ”の回路

(3) 電源回路

3個の標準値出力回路ブロックのための回路電源および電位設定電圧を供給する。また各標準値出力回路に微調整用電圧を与えるためのアンプがあり、電位の設定値分の電位シフトを行って微調整用電圧 v_{adj} を伝達している。

(4) SVG自身の較正

各標準値出力ブロックについて雰囲気温度ごとに各標準値を出力させるために必要な v_{adj} を決定する。図5の回路についての微調整値例を表2に示す。

表2 “ μA ”標準値出力回路微調整値

名目出力値 [μA]	v_{adj} [V]		
	15°C	25°C	35°C
1.000	1.310	1.290	1.175
-1.000	3.850	3.880	3.920
17	1.295	1.195	1.066
-17	3.980	4.030	4.114
300	1.990	1.873	1.717
-300	3.296	3.374	3.480

4. 保守作業の省力化状況

4.1 作業時間

保守作業の省力化状況を新旧保守作業時間の比較によって説明する。

作業内容毎の所要時間を表3に示す。図中「旧器」は従来の可動コイル式直流計器一式を意味する。また「新器」は代替器であり自動較正の対象としているDCMを意味する。旧器では分担作業も行われたため延べ時間を記している。

表3 新旧直流計器の保守作業別所要時間

	較正標準の準備	値取り	調整	作業時間の合計
新器	副標準2時間	15分/台		12時間/40台
旧器	30分	30分/台	30分/台	33時間/54台

学生実験の受け入れ人数に変更があったため、旧器と新規の台数は異なっている。旧器の場合54台の他に4台分以上の予備を較正して用意していた。新器においても他に5台を較正しており、教材開発用等に常時使用しているものもある。一台当りの保守作業にならせば、ほぼ作業時間を半減できている。

4.2 各作業内容

(1) 較正標準の準備

旧器の較正において較正標準としていたデジタルマルチメータ YEW2501A は約30分のウォームアップ後直接値取りの測定に使用していた。新器の較正においては較正標準としてデジタルマルチメータ Agilent3458A を使用して前述の学内製作による副標準値発生器 SVG を較正している。Agilent3458A を4時間ウォームアップしているが他の作業と平行できるため較正作業の所要

時間には入れていない。

(2) 値取りと調整

旧器は標準指示に対し $\pm 1\%$ の範囲を外れる値を示す計器だけ調整を行っていた。新器では全ての計器について値取りの結果を使用し、標準値の $\pm 0.3\%$ 以内に自動調整している。

5. 今後の課題

直流計器の保守の負担についてはその大半が較正作業にあったため、その自動化により大幅な負担減となった。平成24年度前期用較正作業では SVG 一台の体制でこれを達成したが、SVGを複数台とすれば、作業員1人の場合でも値取りと調整後の確認用値取りの平行作業が可能となり、さらに作業所要時間の短縮が可能となるはずである。このために現在二台目の SVG 製作を準備中である。また、現在のDCMは電圧測定入力ランダムノイズ低減のために測定時間間隔8秒を要しており、フィルタ部分の改良でこれを短縮することにより較正時間の短縮とともに実験時間短縮の効果も期待できる。

一方今回はDCMなどを学内で製造しているため、今後その修理作業の負担が新たに発生する可能性は存在する。基幹部品である市販のAD/DA変換モジュール自体の修理較正は外注できるがその他の回路など学内製造部分の保守は全て学内で行うことになる。

故障については、平成24年度前期終了時点で通算4学期の使用において40台中製造不良の見逃しによる1件が発見されている。従来の可動コイル計器は実験中の誤使用により年に10台ほどの分流器等の焼損による修理を要していたが、DCMでは保護機能により故障が回避できているものと考えられる。今後の推移を観察していきたい。

同じく学内製作したSVG自体の保守も新たな負担となるがSVG自身の較正も自動化が可能である。他の学生実験用測定器類も近年PC制御可能な製品への置き換えが進んでおり、これらの動作試験や較正の自動化も可能としたい。

6. おわりに

学内での機器保守力・開発力は資産であるとみなして、順次その体制の整備が計画されるべきと考える。微力ながら我々もその一端を担うことができるとすれば幸いである。

較正作業時においてSVGとDCMの接続換えを迅速に行うための接続アダプタ製作に協力していただいた、ものづくりセンターの学術技師の方々に感謝申し上げます。本稿の結びとする。

参考文献

- [1] 藁科崇：学生実験用PC制御直流測定器の開発，機器・分析技術研究会 実験・実習技術研究会 in 琉球 報告書，機器・分析技術研究会 実験・実習技術研究会in琉球 実行委員会，(2010.3.4)
- [2] 桑田正行：電子工学実験第二 実験指針，電気通信大学 電子工学科，(2011.4.11).
- [3] 桑田正行：先端工学基礎課程 専門基礎実験A・B アナログ回路実験，電気通信大学実験実習支援センター，(2012.4.1).
- [4] Robert H. Bishop (日本ナショナルインスツルメンツ株式会社監訳)：LabVIEW 2010 プログラミングガイド，アスキーメディアワークス，(2011).