

# スイッチメインフレーム SW1001/SW1002, マルチプレクサモジュール SW9001/SW9002

佐藤 達也\*1

## 要 旨

電池のインピーダンス測定において、複数チャンネルをスイッチ(マルチプレクサ)で切り替えて測定する場合にチャンネルごとに異なる誤差が生じる問題があった。配線構造を検討し、誤差が小さいスイッチを開発した。ここに製品の特長、構成、および特性について解説する。

## 1. はじめに

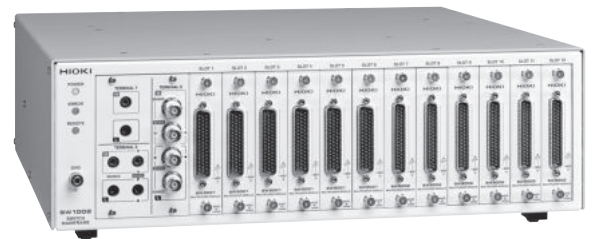
近年、スマートフォン、ノートPC、HEV/EVなどを中心として電池の需要が増加を続けている。電池生産の検査工程においては、交流インピーダンス法で内部抵抗を測定するのが一般的である。生産性を考慮して複数個の電池をスイッチ(マルチプレクサ)で切り替えて測定する場合も多い。その際、スイッチの渦電流などの影響によって測定値に大きな誤差が生じる場合がある。今回、測定器メーカーの技術を活かして、接続する測定器との組み合わせ確度を保証できるスイッチメインフレーム SW1001/SW1002とマルチプレクサモジュール SW9001/SW9002を開発した。



SW1001の外觀



SW9001/SW9002



SW1002の外觀

## 2. 概要

電池の測定において、交流インピーダンス法により内部抵抗を測定する場合がある。この場合、プローブの配線経路においてインピーダンス計測の配慮がされていないと、測定誤差が生じる。特に多チャンネルのスイッチにおいては、各チャンネルの測定経路が分岐するために誤差が生じやすく、チャンネルごとに誤差が異なった測定結果になる場合がある。

SW1001/SW1002では、基板上での各測定信号に誤差が生じないように配慮してパターンを設計し、対応する測定器に対して組み合わせ確度を保証している。測定するチャンネル数および使用する測定器(結線方式)に応じて以下の製品を提供している。

- スwitchメインフレーム(モジュールを格納し、制御する)
  - SW1001 2線式最大66チャンネル(3スロット)
  - SW1002 2線式最大264チャンネル(12スロット)
- マルチプレクサモジュール
  - SW9001 2線式(22チャンネル), 4線式(11チャンネル)
  - SW9002 2線式(6チャンネル), 4端子対(6チャンネル)

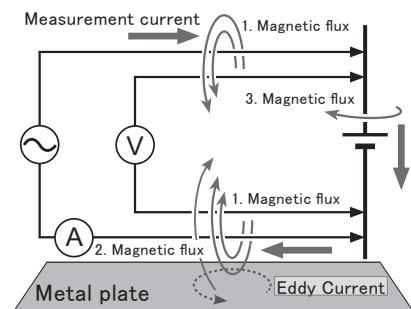


図1 渦電流によるオフセット

## 3. 機能・特長

- (1) インピーダンス測定器との組み合わせ確度保証
- 交流信号を電池に印加し、電池のインピーダンスによって生じる信号を検出して内部抵抗を測定するが、以下の原理でオフセットが生じる(図1)。
1. 印加する交流信号により磁束が発生する。
  2. その磁束が、プローブ周囲の金属に渦電流を発生し、さらに渦電流が磁束を発生する。
  3. その磁束が検出ループ内を通過することで、オフセットが生じる。

\*1 技術部 技術2課

ここで、チャンネルにより測定信号の経路が異なるため、オフセット量も異なり、チャンネル同士の間には誤差が発生する。これらの問題を解決するため、スイッチ内部の交流信号の配線経路パターンにおいてHighとLowとを互いに対向させて配置することにより、磁束を打ち消し、オフセットを低減している(図2)。

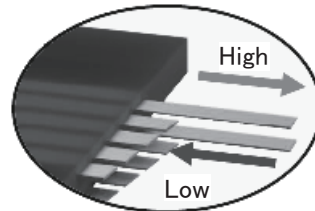


図2 磁束打ち消し

また、検出信号側の配線経路においてループが存在するとそこを通り抜ける磁束によりオフセットが生じるため、ループ面積が極力小さくなるように配線した。さらに、測定電流の配線と検出信号の配線とを分離して配置することで、いっそう渦電流の影響を低減した(図3)。

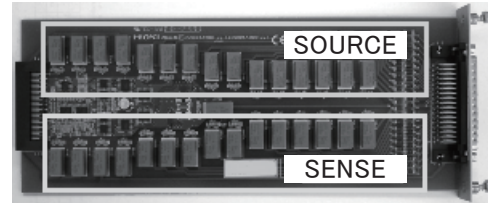


図3 センスソース分離

これにより、測定値への影響を小さくでき、測定器との組み合わせ確度の保証を可能とした。

## (2) 経路抵抗の低減

電池用のインピーダンス測定器では、配線の経路抵抗が数Ω以下と低い値が要求される場合がある。プリント基板の配線パターンを広くし、銅箔の厚さを増やすことで低い経路抵抗を実現している。

## (3) ヒューズによる電池短絡保護

チャンネルの切り替えには、測定誤差を低減するために機械式のリレーを使用している。機械式リレーは、部品の故障、接点の溶着などにより複数のチャンネルが同時にクローズしてしまうおそれもある。電池パック上で直列に接続している各電池セルを測定しているときに複数のチャンネルが同時にクローズすると、直列接続の電池を短絡して危険である。

そこで、各チャンネルの入力にヒューズを入れることで電池を短絡から保護している。

## (4) 2台の測定器への対応

電池の測定では、インピーダンス、電池電圧、または電極とケースとの間の電位(絶縁)を測定することができる。スイッチメインフレームには2台の測定器を接続でき、それらを切り替えて各チャンネルの電池を測定できる。

## (5) 測定器にそのまま接続できる端子構成

スイッチメインフレームには測定器への接続用として以下の端子がある。測定器の端子と同一形状のため分かりやすく、簡単に接続できる。

- ・ TERMINAL 1: 2線式バナナ端子(2端子)
- ・ TERMINAL 2: 4線式バナナ端子(4端子)
- ・ TERMINAL 3: 4端子対BNC端子

## 4. 構成

### 4.1 スwitchメインフレーム SW1001/SW1002

#### (1) 概要

図4にシステム全体のブロック図を示す。スイッチはスイッチメインフレームとマルチプレクサモジュール(以下、モジュール)とで構成される。スイッチメインフレームは内部に4系統のアナログバスを持ち、モジュールからの測定信号を測定器の端子(TERMINAL 1~3)に接続する。この切り替えを通信インターフェイスを通してコンピューター(PC)からコマンドで制御する。

モジュールは、多チャンネルの信号をリレーで切り替えてスイッチメインフレームのアナログバスに接続する。アナログバスに接続する部分のリレーで、2線式、4線式、または4端子対の結線方式を切り替えることができる。

#### (2) アナログバス(図5)

・ 2線式、4線式、および4端子対を可能とするバス構造  
SW1001/SW1002には次のような製品を接続できるため、内部バスはこれらの配線構造のすべてに対応している。

- ・ 2線式  
直流電圧計 DM7275/DM7276
- ・ 4線式  
バッテリーハイテスタ BT3562/BT3563/3561
- ・ 4端子対法  
バッテリーインピーダンスメータ BT4560  
ケミカルインピーダンスアナライザ IM3590

また、電流用バス(SOURCE/RETURN)と電圧用バス(SENSE)とを互いに分離して測定電流の検出信号への影響を減らし、かつ、8層基板を使用してバスラインの抵抗を小さくしている。

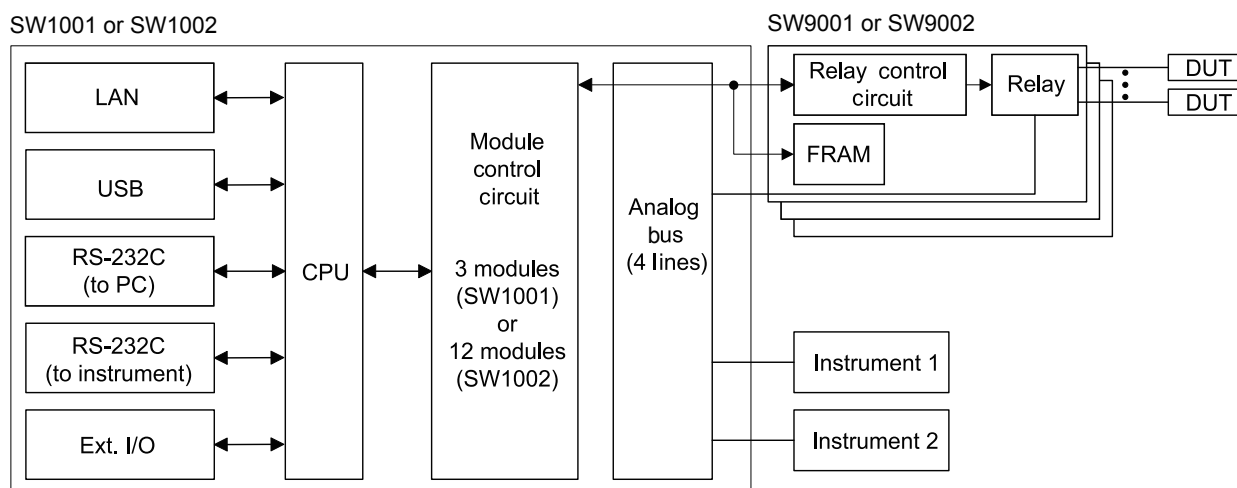


図4 ブロック図 (システム全体)

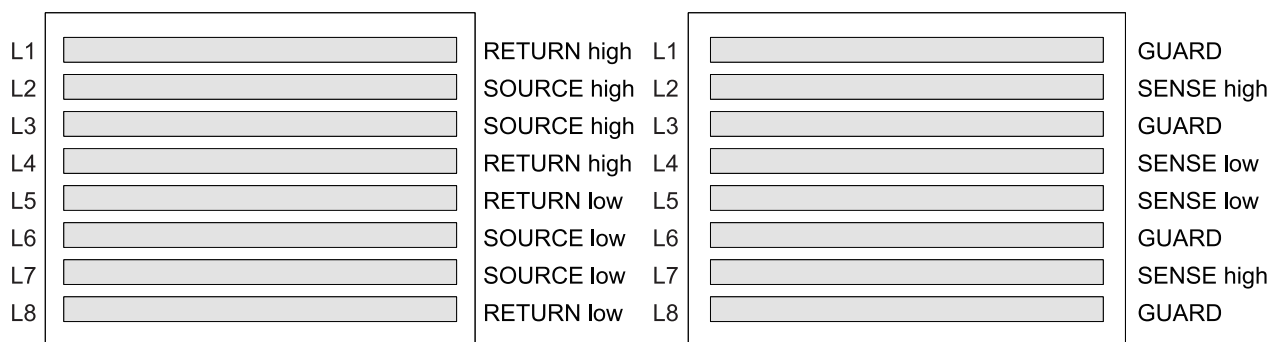


図5 アナログバスの基板内配置

- アナログとデジタルとを分離する端子配置

測定器および被測定物とのアナログ配線を正面パネルに配置し、制御系の配線を背面パネルに配置することで、アナログ信号とCPUデジタル回路とを分離する構造とした。そのため、アナログ信号がデジタル配線の影響を受けない。

### (3) 制御回路

- SW1001/SW1002の共通設計

図4にモジュールを含めたシステム全体のブロック図を示す。

SW1001とSW1002との違いをモジュール個別の回路だけをまとめることにより、CPU周辺回路と制御回路を基板単位で共通にした。ファームウェアも2機種で同じものを使用できるため、制御方法をまったく同じにすることができた。

- チャンネルの排他制御

電池計測においてはマルチプレクサを使ったシステムを構成する場合、複数のチャンネルが一瞬でも同

時にクローズすると、電池が短絡するおそれがある。そのため、チャンネル設定、開閉の順番、タイミングなどに注意が必要である。

汎用的なマルチプレクサは自由度が高い反面、安全に注意しながらシステムを構築しなければならない。

SW1001/SW1002では複数のチャンネルが同時にクローズにならない制御(Break before make)をしているため、安全、かつ、簡単に電池を計測できるようになった。

### (4) ソフトウェア

- 共通フレームワーク

SW1001/SW1002はμITRON系のリアルタイムOSを使用しており、その上に他製品でも共通で使用できるフレームワークを作成して搭載している。

設定、通信、およびシステム内通信はフレームワークとして作成しており、そこにSW1001/SW1002の制御部分を実装してある。

- 通信インターフェイスの同時受付

SW1001/SW1002では、LAN、USB、およびRS-232Cの複数のインターフェイスから制御できる。複数のインターフェイスを搭載した従来の多くの製品では、あらかじめ使用するインターフェイスを設定する必要がある。

SW1001/SW1002では、1回に1つだけの制御コマンドを実行するため、複数のインターフェイスが競合することはない。よって、複数のインターフェイスを切り替える必要がなく、どのインターフェイスが有効かを意識しないで制御できる。

- 通信転送

SW1001/SW1002は本体のほかに測定器を必要とするため、PC、シーケンサなどユーザー側で複数の機器と通信制御をする必要がある。複数の機器との通信は複雑になりがちである。

そこで、SW1001/SW1002に測定器と通信するためのRS-232Cポートを用意し、測定器をPCと接続しなくてもSW1001/SW1002経由でコマンドや測定データを転送する機能を搭載した。また、測定器への測定コマンドはSW1001/SW1002のリレーの接点がクローズになった後に転送されるため、ユーザーがリレーの接点がクローズするまでの時間を考慮する必要がない。

この機能により、制御側はSW1001/SW1002の1台だけで通信すればよく、ユーザーの負担を大きく減らしている。

### (5) 機構 (図6)

モジュール挿入口と測定器接続端子を正面に設けたことで、基本的な操作は正面で行うことができる。動作も正面のLEDで確認でき、操作性と視認性を両立した。また、モジュールの固定ねじはSW1001/SW1002から取り外す際に専用の工具が必要なく、取っ手が不要であり紛失を防ぐことができる脱落しないものを採用した。こちらもユーザーの操作性をよくしている。

## 4.2 マルチプレクサモジュール SW9001

### (1) 概要

SW9001は2線式22チャンネル、4線式11チャンネルの切り替えができるモジュールである。2線電圧測定用のDM7276での多チャンネル測定や、4線式のBT3562/3561との組み合わせに最適である。

### (2) 切り替え回路

切り替え回路にはリレーを使用している。

電池の検査を想定したモジュールのため、リレーの

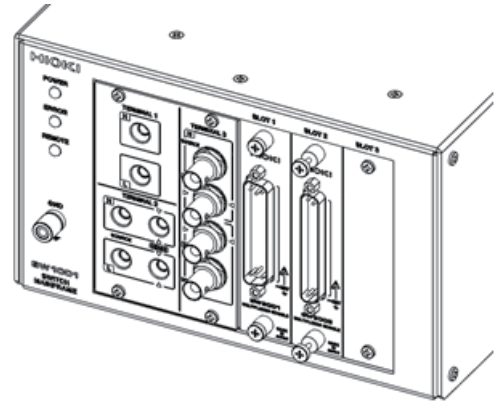


図6 SW1001の正面の接続端子と固定ねじ

溶着や開閉の遅れは、検査している電池の端子間を短絡してしまうおそれがある。これを防止するため、各チャンネルにはヒューズを内蔵している。

内部リレーの切り替えにより、2線式では4線式の2倍の22チャンネルを測定できる。

## 4.3 マルチプレクサモジュール SW9002

### (1) 概要

SW9002は、2線式6チャンネルと4端子対6チャンネルとを切り替えることができるモジュールである。

4端子対方式のBT4560、IM3590や2線電圧測定用のDM7276との組み合わせに最適である。

### (2) 切り替え回路

切り替え回路にはリレーを使用している。

4端子対構造とするため、電流側にはソースラインを切り替えるためのリレーのほかにリターンラインを切り替えるためのリレーを設けている。

電流による磁束を打ち消すため、ソースラインとリターンラインとを近接させて対向することにより、電流の向きを互いに逆にした。

## 5. 特性

### 5.1 マルチプレクサモジュール SW9001の特性

#### (1) BT3562との組み合わせ特性

図7にBT3562との組み合わせ特性例を示す。

0 mΩ抵抗を、スイッチを経由せずBT3562で直接測定した場合と、スイッチを経由した場合とで、測定値の差は0.001 mΩ以下である。

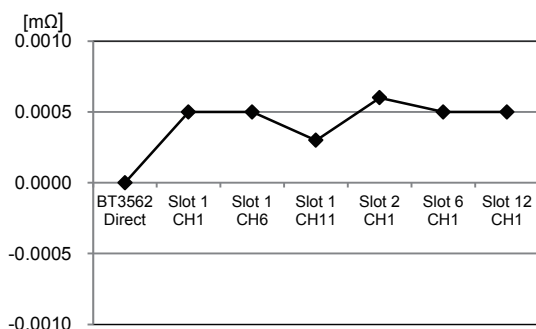


図7 BT3562との組み合わせ特性例

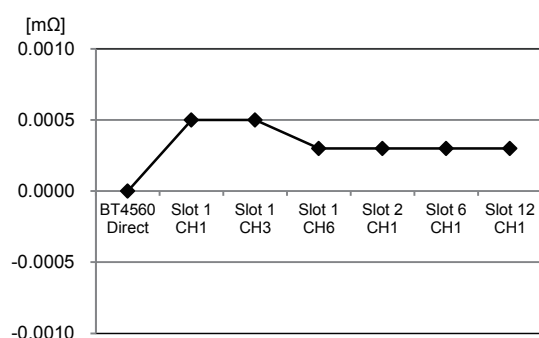


図8 BT4560との組み合わせ特性例 (R)

## 5.2 マルチプレクサモジュール SW9002の特性

### (1) BT4560との組み合わせ特性

図8, 図9にBT4560との組み合わせ特性例(測定周波数1000 Hz)を示す。

0 mΩ抵抗を、スイッチを経由せずBT4560で直接測定した場合と、スイッチを経由した場合とで、測定値(R)の差は0.001 mΩ以下である。なお、Rは等価直列抵抗、Xはリアクタンスの測定値である。

### (2) IM3590との組み合わせ特性

図10, 図11にIM3590との組み合わせ特性例(10 kΩ測定値, IM3590単体での測定値との差)を示す。今回開発したスイッチはバッテリーテストとの組み合わせを主な用途としており、配線経路の抵抗を小さくするためにパターン幅が大きく、信号線間や対接地間の容量も大きい。そのため、周波数が10 kHz、インピーダンスが10 kΩ以上の領域では、誤差が大きくなっている。

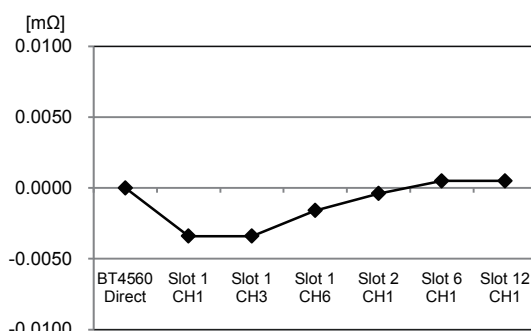


図9 BT4560との組み合わせ特性例 (X)

## 6. PCアプリケーションソフト

### (1) 概要

ユーザーの利便性を考慮し、簡単に複数チャンネルを測定できるPCアプリケーションソフトを合わせて開発した。

### (2) Cole-Coleプロット

BT4560などと組み合わせると、複数の電池のCole-Coleプロット特性を簡単に測定できる(図12)。

### (3) OCV測定機能

OCV (Open-Circuit Voltage)測定のロギングを行うモードも備えている(図13)。

OCVの測定値だけでなく、初期電圧値からの変動値、電圧降下率[mV/day]なども算出する機能があり、電池の自己放電特性を簡単に記録できる。

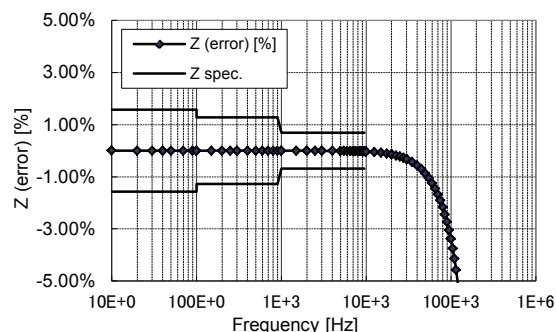


図10 IM3590との組み合わせ特性例(Z)

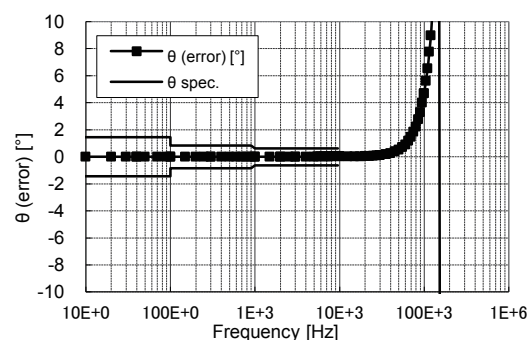


図11 IM3590との組み合わせ特性例(θ)

## 7. おわりに

SW1001/SW1002/SW9001/SW9002は、電池の研究開発、量産検査の現場において、複数の電池を簡単、かつ、正確に測定できる製品である。測定する人が、測定上の難しい面から解放されて、より本来の業務に専念できると思う。今後の電池産業の発展に貢献できることを期待している。

柳澤 明\*2, 永井 健司\*2, 小林 拓史\*2, 横澤 駿介\*3,  
山崎 浩\*4



図12 PCアプリ (Cole-Coleプロット)

CH	V [V]	V初期測定値 [V]	dV [mV]	dV [mV/day]	dV/直近1hr [mV/hr]
1	+03.782915E+00	3.782930	-0.015	-28.799	-1.201
2	+03.782915E+00	3.782932	-0.017	-32.638	-1.361
3	+03.782916E+00	3.782934	-0.018	-34.558	-1.441
4	+03.782915E+00	3.782931	-0.016	-30.718	-1.281
5	+03.782914E+00	3.782927	-0.013	-24.959	-1.041
6	+03.782915E+00	3.782930	-0.015	-28.799	-1.201
7	+03.782916E+00	3.782932	-0.016	-30.718	-1.281
8	+03.782915E+00	3.782929	-0.014	-26.879	-1.121
9	+03.782915E+00	3.782929	-0.014	-26.879	-1.121
10	+03.782915E+00	3.782930	-0.015	-28.799	-1.201
11	+03.782914E+00	3.782931	-0.017	-32.638	-1.361
12	+03.782915E+00	3.782932	-0.017	-32.638	-1.361
13	+03.782914E+00	3.782930	-0.016	-34.558	-1.441
14	+03.782914E+00	3.782930	-0.016	-30.718	-1.281
15	+03.782914E+00	3.782928	-0.014	-26.879	-1.121
16	+03.782915E+00	3.782928	-0.013	-24.959	-1.041
17	+03.782914E+00	3.782929	-0.015	-28.799	-1.201

図13 PCアプリ (OCV測定機能)

\*2 技術部 技術2課  
\*3 技術部 技術10課  
\*4 製造部 製造1課