

絶縁抵抗試験器 ST5520

佐藤 雄亮^{*1}

要 旨

絶縁抵抗試験器 ST5520 は最速試験時間 50 ms, コンタクトチェック機能, 試験電圧任意設定を実現した絶縁抵抗試験器である。当社従来製品である絶縁抵抗試験器 3154 の後継機種として「あらゆる絶縁抵抗を素早く測定」を商品コンセプトに開発した。ここに特長と構成について解説する。

1. はじめに

絶縁抵抗試験は、被試験物に直流電圧を印加し、被試験物の絶縁性能を抵抗値で評価する。被試験物は、コネクタ、リレー、トランスなどの部品や次世代型エネルギー分野のリチウムイオン電池などさまざまな、これらの安全性を評価する。また、これらは低コスト化が課題となっており、絶縁抵抗試験もタクトタイムの要求が非常に高いうえに試験の品質も重要視される。絶縁抵抗試験器 ST5520 は高速試験と品質の高い試験の要求に応えるべく開発した。

2. 概要・設計コンセプト

多くのユーザを訪問する中で、ユーザが求める試験時間とは試験器で設定する時間だけでなく、試験電圧が安全なレベルまで降圧されるまでの時間も含めることがわかった。時間概要を図 1 に示す。ST5520 は最速試験時間 50 ms と、設定時間以外にかかる充電時間や放電時間も短縮することを追求した。

絶縁抵抗試験は被試験物に直流電圧を印加するが、静電容量を含む場合は設定電圧に昇圧するまでに充電時間がかかる。さらに試験後は、試験電圧を降圧するために放電時間が必要である。ST5520 では充電時間とともに放電時間も短縮することでユーザが速さを実感できる仕様を追求した。次に機能・特長とともに解説する。



ST5520 の外観

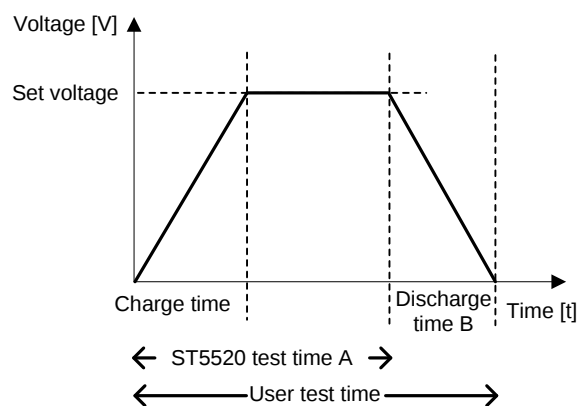


図 1 時間概要

3. 機能・特長

3.1 素早く測定

以下に素早く測定するために実現した機能を説明する。

(1) 最速試験時間 50 ms

ST5520 の最大の特長は最速試験時間 50 ms である。測定スピード FAST 設定時の最速サンプリング 30 ms で実現した。(図 1-A)

*1 技術部 技術3課

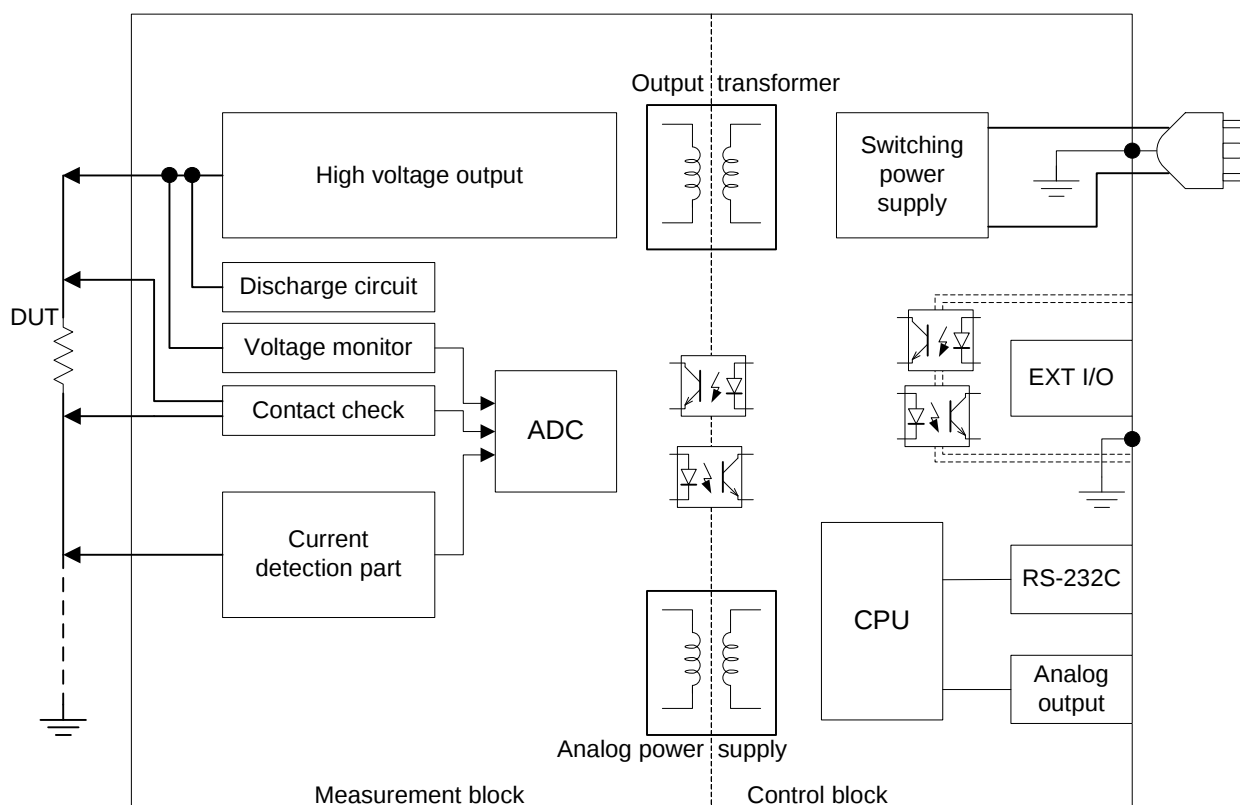


図2 ブロック図

(2) 高速自動放電機能

被試験物に電荷が残っていると感電や被試験物の故障につながる可能性がある。ST5520 では従来製品である絶縁抵抗試験器 3154 の放電方式を改良し、放電時間の大幅な時間短縮を実現した。(図 1-B)

3.2 試験品質の向上

(1) コンタクトチェック機能

絶縁抵抗試験では、接触不良や測定ケーブルの断線があると抵抗値は大きくなる。これが原因となり、不良品を良品と誤判定する可能性がある。ST5520 はこのような誤判定を防ぐため、コンタクトチェック機能を搭載した。この機能は試験開始から判定結果を出すまでの間、接触不良や断線を常に 100 ms ごと監視している。そのため、接触不良や断線を検出するとコンタクトエラーとして、試験を中止する。

(2) 短絡チェック機能

被試験物によっては、金属くずなどによって軽微なショート状態が生成されることがあり、このような状態をマイクロショートと呼ぶ。マイクロショートは高電圧をかけると断線し、ショート状態が解消され、試験

では良品と判断される場合がある。これを避けるため、試験電圧よりも低い電圧(2 V~5 V)でマイクロショート状態を確認する短絡チェック機能を搭載した。

(3) 試験電圧任意設定(25 V~1000 V)

現在はリチウム電池などの絶縁抵抗試験では具体的な試験電圧が規格で定められておらず、ユーザが任意に試験電圧を定めている。そのため、ユーザが自由に設定できる仕様とした。

4. ハードウェア構成

図2 に全体のブロック図を示す。ユーザインタフェースをつかさどる制御部と、絶縁された計測部、EXT I/O 部から成る。

4.1 発生部

出力電圧は 25 V~1000 V まで分解能 1 V で任意に設定できる。また、出力電流はすべての電圧範囲で最大 2 mA 流すことができる。

容量性負荷の場合、出力電圧にオーバーシュートが発生することがある。オーバーシュートが発生すると設定電圧よりも高い電圧が被試験物に印加されるため、被試験物を壊してしまう可能性がある。そこで

ST5520 ではオーバーシュートを抑えた設計とした。例として 0.1 μF の容量性負荷に 1 kV を発生させたときの出力電圧波形を図 3 に示す。

次に抵抗負荷の場合、1 ms～25 ms(25 V～1000 V)と短いため、試験時間を短縮できる。

無負荷時の出力電圧リップル波形を図 4、図 5 に示す。出力電圧リップルは従来製品に対して振幅は 1/2 に、周波数は約 27 倍になっている。出力電圧リップルはノイズ源として電流測定に影響を与えるが、出力電圧リップルの周波数が高くなったことで、ノイズを取り除くための電流検出部フィルタを小型化することができた。

4.2 放電回路部

従来製品は放電抵抗 12 M Ω の定抵抗放電であった。容量性負荷の場合、放電時間は放電抵抗と負荷容量の時定数で決まる。そのため負荷容量値が大きいと放電時間が長くなっていた。

そこで、ST5520 では約 10 mA の定電流放電にし、放電時間を短縮させた。

放電にかかる時間はおよそ式(1)、式(2)から求まる。

従来製品：

$$t = C \cdot R \cdot \ln\left(\frac{V_0}{V_1}\right) \dots\dots\dots (1)$$

ST5520：

$$t = \frac{C \cdot (V_0 - V_1)}{I} \dots\dots\dots (2)$$

C：負荷容量 R：放電抵抗 V_0 ：充電電圧
 V_1 ：放電後電圧 I：放電電流

例として、0.1 μF の容量性負荷に 100 V が充電されていて、1 V まで放電するには、12 M Ω の定抵抗放電は約 5.5 s かかるのに対し、定電流放電は 0.99 ms で放電が可能となる。

放電時間を短縮することで試験時間を短縮できる。

0.3 μF の容量性負荷において 1000 V 充電させたときの放電波形を図 6 に示す。25 ms 程度の速さで放電できていることが確認できる。

4.3 電流検出部

電流検出部では最小 50 nA と微小な電流を検出するため、電源などのノイズの影響を受けないようフィルタの定数を決定している。

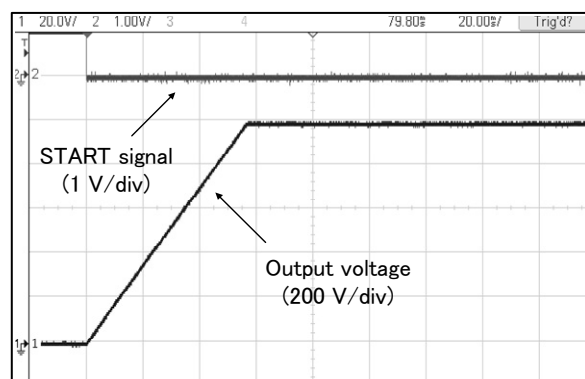


図 3 出力電圧波形 (横軸: 20 ms/div)

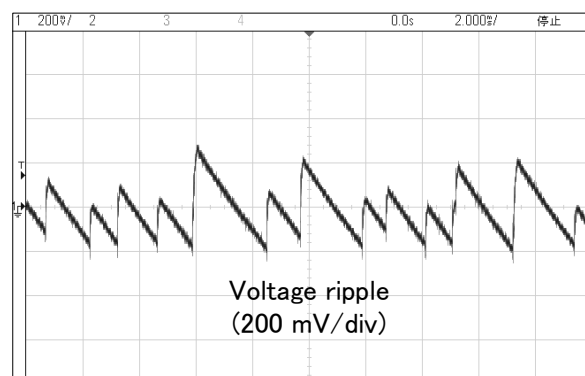


図 4 従来製品 リプル波形 (横軸: 2 ms/div)

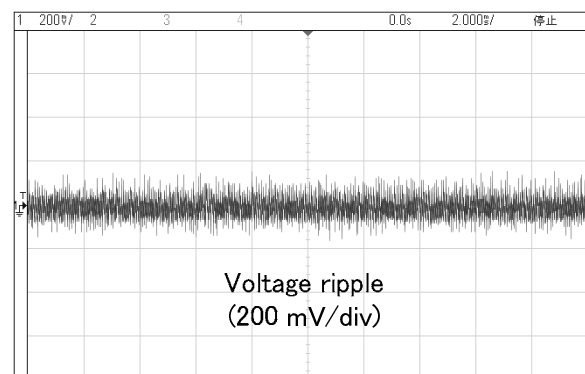


図 5 ST5520 リプル波形 (横軸: 2 ms/div)

また、電源周波数の影響を受けないよう周波数に同期させてサンプリングを行い、A/D コンバータで平均化処理をする。平均化処理を行うことでばらつきは約 50 dB 抑えられている。

抵抗とコンデンサが並列に接続された試料を測定した場合の繰り返し精度を表 1～表 3 に示す。±% で記された数値はコンデンサへの充電が完了してから 100 回測定した値のばらつき幅を表す。

表 1 繰り返し精度（出力電圧 25 V, 測定スピード FAST 設定時）

抵抗レンジ	2000 MΩレンジ	200 MΩレンジ	20 MΩレンジ	2 MΩレンジ
抵抗負荷	1000 MΩ	100 MΩ	10 MΩ	1 MΩ
0.001 μF	－	±0.2%	±0.2%	±0.2%
0.01 μF	－	±0.6%	±0.1%	±0.2%
0.05 μF	－	±2.6%	±0.3%	±0.2%
0.1 μF	－	±4.9%	±0.5%	±0.2%

表 2 繰り返し精度（出力電圧 100 V, 測定スピード FAST 設定時）

抵抗レンジ	2000 MΩレンジ	200 MΩレンジ	20 MΩレンジ	2 MΩレンジ
抵抗負荷	1000 MΩ	100 MΩ	10 MΩ	1 MΩ
0.001 μF	±0.2%	±0.2%	±0.2%	±0.2%
0.01 μF	±2.0%	±0.3%	±0.2%	±0.2%
0.05 μF	±6.7%	±0.7%	±0.3%	±0.2%
0.1 μF	±15.9%	±2.0%	±0.5%	±0.2%

表 3 繰り返し精度（出力電圧 500 V, 測定スピード FAST 設定時）

抵抗レンジ	4000 MΩレンジ	200 MΩレンジ	20 MΩレンジ	2 MΩレンジ
抵抗負荷	2000 MΩ	100 MΩ	10 MΩ	1 MΩ
0.001 μF	±0.2%	±0.2%	±0.2%	±0.2%
0.01 μF	±0.4%	±0.2%	±0.2%	±0.2%
0.05 μF	±2.6%	±0.3%	±0.2%	±0.2%
0.1 μF	±7.2%	±0.6%	±0.2%	±0.2%

5. コンタクトチェック機能

5.1 方式

コンタクトチェックは4 端子法を採用している. 被試験物に電圧印加側(HIGH)と電流測定側(LOW)の 2 本ずつの測定リードを当てることで接触不良を検出している. HIGH 側は印加電圧検出方式, LOW 側はフローティング電源を印加して電流を検出する方式となっている. 図 7 に原理図を示す.

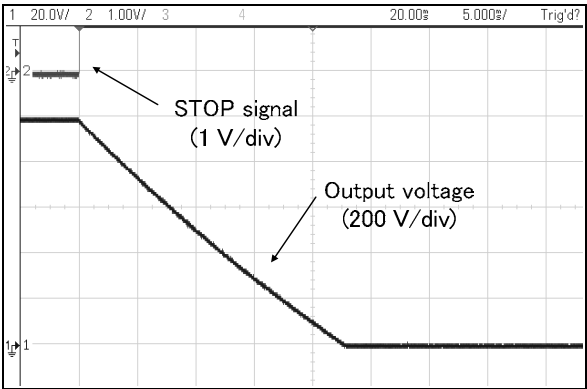


図 6 放電波形(横軸:5 ms/div)

5.2 HIGH 側の判定方法

出力電圧(V_1)とコンタクトチェック電圧計(V_2)の値はHIGH 側の接触抵抗(2 本のプローブの接触抵抗の合計)が 0Ω の場合, $V_1 = V_2$ となる(式(3)).

$$V_2 = V_1 = \frac{V \cdot R_s}{(0 + R_d + R_s)} \dots\dots\dots(3)$$

V:出力電圧 R_s :検出抵抗 R_d :分圧抵抗

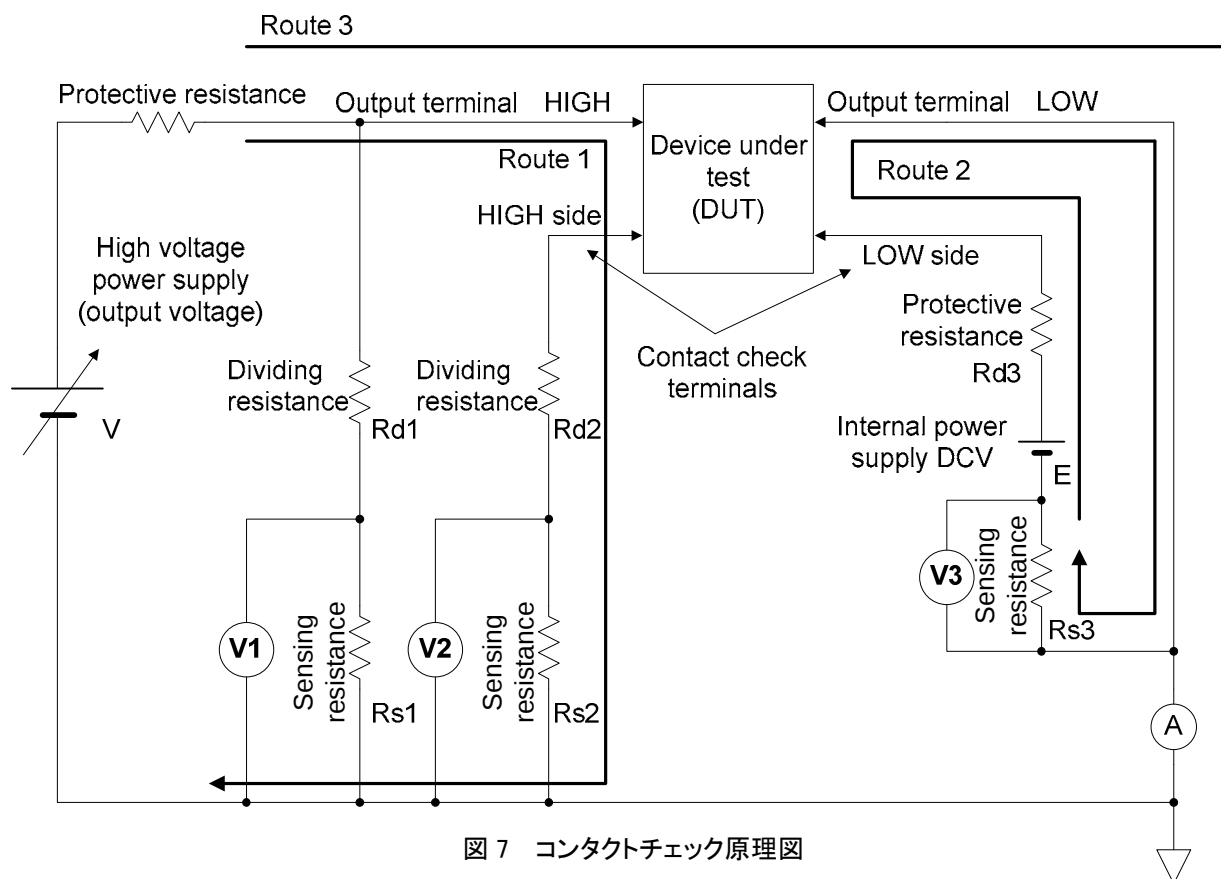


図7 コンタクトチェック原理図

HIGH側の接触抵抗が RH の場合、 $V_2 < V_1$ となる(式(5)<式(4))。

$$V_1 = \frac{V \cdot Rs1}{(0 + Rd1 + Rs1)} \quad (4)$$

$$V_2 = \frac{V \cdot Rs2}{(RH + Rd2 + Rs2)} \quad (5)$$

なお、ST5520 は V_2 の電圧が V_1 の 97 % 以下を接触不良と判定している。ただし、電流レンジが HOLD で 2 M Ω レンジ以外では Under.F 表示(測定電流の上限を超えている)の状態なら接触していると思なしている。

5.3 LOW側の判定方法

LOW側の電圧計の値は LOW側の接触抵抗(2本のプローブの接触抵抗の合計)が 0 Ω の場合、式(6)となる。

$$V_3 = \frac{E \cdot Rs3}{(0 + Rd3 + Rs3)} \quad (6)$$

E : 内部電源 $Rs3$: 検出抵抗 $Rd3$: 保護抵抗

LOW側の接触抵抗が RL の場合、式(7)<式(6)となる。

$$V_3 = \frac{E \cdot Rs3}{(RL + Rd3 + Rs3)} \quad (7)$$

なお、ST5520 は式(7)から計算して RL の値を求めて約 10 k Ω 以上を接触不良と判定している。ただし 2 M Ω レンジについては被試験物に流れている電流が 0.5 mA 以上であれば接触していると思なしている。

5.4 判定結果表示と EXT.IO 出力

判定は試験中に 100 ms ごとに常時行われており、HIGH側の接触不良を検出すると ContHi, LOW側の接触不良を検出すると ContLo, HIGH側とLOW側の両方の接触不良を検出すると ContHL を表示する。また、すべての判定結果に対し、背面の EXT.IO から ERR 信号を出力して試験を中止する。

6. 短絡チェック機能

6.1 方式

試験開始後、設定電圧(25 V~1000 V)を印加する前に 2 V~4 V の低電圧を印加して被試験物に流れる電流を測定し、抵抗値を計算して約 100 k Ω 以下で短絡と判定する。短絡と判定した場合は、設定電圧を印加せず、Short を表示するとともに背面の EXT.IO から ERR 信号を出力して試験を中止する。判定に要する時間は

絶縁抵抗試験機 ST5520

0.010～1.000 s の設定が可能となっている(MANUAL モード設定).

短絡と判定した場合は高電圧を印加しないので被試験物へのダメージが少なく, 不良解析が容易に可能となる. タイミングチャートを図 8 に示す.

6.2 判定時間

一般的に被試験物は絶縁抵抗と並列に静電容量を含むため, 低電圧でも電圧印加直後は充電電流が流れる. 判定時間を適切に設定しないと充電電流を短絡電流だと誤って判定してしまう場合があるが, ST5520 は適切な判定時間を調べるために使用できる AUTO モードが用意されている. AUTO モードを使用すると, 何秒で充電が完了して約 100 kΩ 以上になったかを表示できる. AUTO モードに設定し, 何個かの被試験物で試験したときに表示された時間の最大値+αを MANUAL モードの判定時間として設定することで最短時間で判定が可能となる.

参考として, 被試験物としてコンデンサを試験した場合の判定時間を表 4 に示す.

表 4 コンデンサの短絡チェック時間(参考)

静電容量	0.01 μF	0.1 μF	1 μF
判定時間	0.020 s	0.030 s	0.040 s

7. おわりに

ST5520 は「あらゆる絶縁抵抗を素早く測定」をコンセプトに, 設定時間以外にかかる時間も含めて素早さを追求した. タクトタイムが要求される生産ラインだけでなく, 品質の高い試験の要求にも貢献できる製品になったと確信する.

牛窪 菊夫*2, 西村 宏太*2

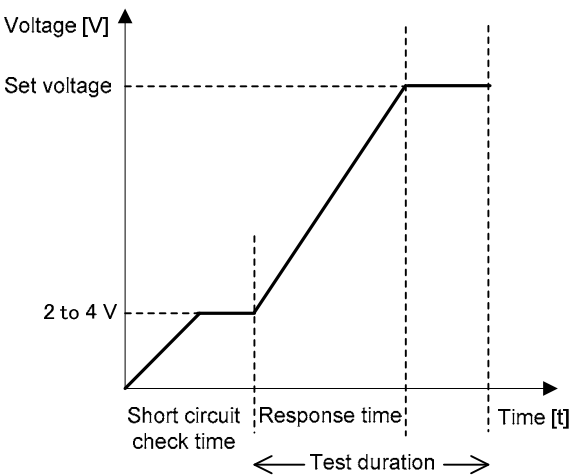


図 8 短絡チェックタイミングチャート

*2 技術部 技術3課