

自動式接地抵抗計

遠 藤 彰*

Akira Endo

Automatic Earthtester

Synopsis

The new developed earthtester is easy to handle. Earthing resistance is directly indicated by pushing the measuring switch. Any other operation such as handling of generator handle, adjusting of potentiometer dial is not necessary. The earthtester is operating on current-measuring method. Owing to the use of unique compensating circuit, the resistance of auxiliary earthes is practically without influence on reading. Necessary alternating voltage is generated in the transistorized DC-AC inverter.

Specifications are as follows.

Type: direct indicating type

Rating: 0~100 Ω , 0~1,000 Ω (2 ranges)

Accuracy: $\pm 5\%$ of indicated value $\pm 50 \text{ m}\Omega/0\sim 100 \Omega$ range

$\pm 5\%$ of indicated value $\pm 500 \text{ m}\Omega/0\sim 1,000 \Omega$ range

Source: 8 \times 1.5 V dry cells

Dimensions, weight: 110 \times 200 \times 110 mm, 1.7 kg (including a carrying case)

I. ま え が き

接地工事は電力線路、避雷器、鉄塔、しゃ断器、変圧器の外箱、通信装置など各所にほどこされる。接地装置の接地抵抗は事故時の人畜に対する安全性を保証するため常に小さく保たれていなければならない。接地抵抗は常に一定のものではなく土壌の乾燥、接地板の腐食などによって抵抗値が増大する。したがって接地装置の施設時に測定するばかりでなく定期的に時々試験する必要がある。

今回開発した接地抵抗計（形AE）は電池を内蔵し、指示計により接地抵抗を直読する方式のもので発電機のハンドルをまわしたり、電位差計のダイヤルを操作したりすることが不要で所定の接続をし、電源スイッチを押すだけで直ちに電気設備技術基準に定められる1種～3

種のあらゆる範囲の接地抵抗値を読取ることができる。第1図に本器の外観を示す。

II. 特 長

本器は次のような特長を有している。

1. 取扱いが簡単

電池を内蔵し、指示計による直読方式なので電源スイッチを押すだけで接地抵抗値を直読できる。

2. 特性が良い

独特な回路により補助電極抵抗の影響、外部電圧の影響、電池電圧の影響が小さい。

3. 動作状態のチェックが容易

補助電極の抵抗が正確に測定できる範囲内にあるかどうかをチェックボタンを押すことによって容易に確認できる。また電池電圧のチェックもできる。

4. 広い測定範囲

電気設備技術基準に定められるあらゆる範囲の接地抵抗値が測定できる。

5. 振動衝撃に強い

指示計には当社独特のスパンバンド支持式を採用しているので振動衝撃に強く長期間安定して使用できる。

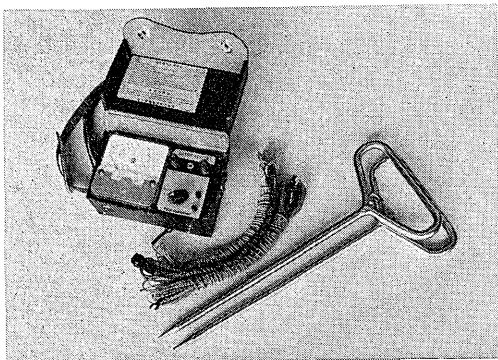
6. 二極方式でも測定できる

低抵抗の補助電極（たとえば水道管など）の得られる場合には補助接地棒を使用せず二極方式で測定できる。

7. 小形軽量

本体の重量はわずか1.5 kgである。

8. 電池の寿命は長く交換も容易



第1図 自動式接地抵抗計外観図

Fig.1. Outer view of Automatic Earth tester

* 東京工場

消費電流が小さいので長期間使用できる。使用電池は市販の単三乾電池なので交換も容易。

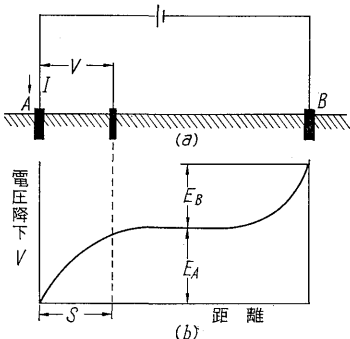
III. 測定法

1. 接地抵抗について

1) 接地抵抗の定義

二つの電極 A, B を第2図(a)のように地面に埋め、この電極間に電圧を加え、電流 I を流して $A-B$ 直線上の各点の A 点からの電圧降下を測ると第2図(b)のような曲線となる。電極 A の近くで大きな電圧降下を生じ、やがて電極 A からの距離が大きくなるにしたがって電圧降下はほとんど増さなくなりほぼ一定となる。しかし電極 B に近づくにつれて再び電圧降下は増加する。電極から測った電圧降下が、電極からの距離を変えてもほとんど増さなくなったときの電圧降下を、流入した全電流で割った値をその電極の接地抵抗と定義している。すなわち第1図の AB 両電極の接地抵抗 R_A, R_B は次のようになる。

$$R_A = \frac{E_a}{I}, \quad R_B = \frac{E_b}{I}$$



第2図
2個の接地電極間の
電圧降下
Fig. 2.
Voltage drop
between two earth
bars

2) 電極間の距離

2個の電極間の距離をあまり近づけると、電圧降下が一定となる部分がなくなり R_A と R_B を分離することができなくなる。したがって両電極の間は相当の距離を持たせる必要がある。この距離は小さい接地板とか、細い鉄管の場合でも 20m くらいは必要である。大きい電極の場合にはさらに広い間隔が必要である。

3) 電源

上記の説明には電源は直流で示したが、実際には大地に水分があるため直流で測定したのでは電極部の分極作用のため接地抵抗を大きく測ることになるので交流で測定しなければならない。20% 以上で分極作用の影響はなくなりほぼ 2,500% くらいまで一定である。本器の測定周波数は 2kc としてある。

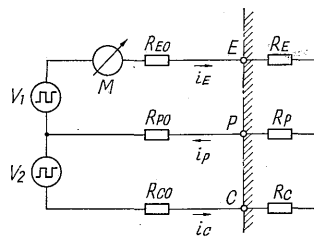
2) 接地抵抗の大きさ

電気設備技術基準によれば接地されるものの種類によ

って接地抵抗の大きさがきめられており 1種, 2種, 3種に分類されている。第1種接地工事の接地抵抗は 10Ω 以下, 3種接地工事は 100Ω 以下, 第2種接地工事は変圧器の高圧側または特別高圧側の電路の一線地絡電流のアンペア数で 150 を除した値に等しいオーム数以下と定められている。

2. 測定原理

前項で明らかなように、接地抵抗計は電流を流すために打込んだ補助接地棒の抵抗と、測定電極の抵抗を分離して測定電極の抵抗のみを測定しなければならない。



第3図 動作原理
Fig. 3. Principle of
operation

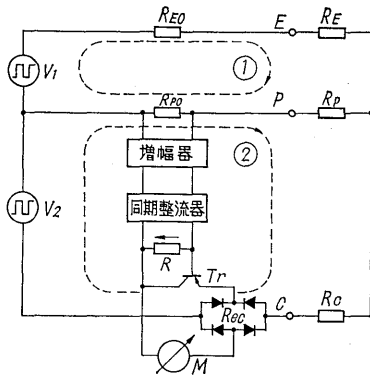
本器は測定接地板と一つの補助電極間に定電圧源を印加しそれに流入する電流を測定する原理によっている。第3図は測定原理の説明図である。 V_1, V_2 は同一周波数同一位相の交流定電圧源, E は測定接地板, P, C は補助電極, R_E, R_P, R_C は測定接地板, 補助電極 P, C の接地抵抗, R_{E0}, R_{P0}, R_{C0} は各電極の直列抵抗, i_E, i_P, i_C は各電極に流れる電流 M は i_E を測定する電流計を示す。この回路において

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_{E0} + R_E}{R_{C0} + R_C} \quad \dots\dots\dots(1)$$

の関係が成立する場合には $i_P = 0$ となり

$$i_E = \frac{V_1}{R_{E0} + R_E} \quad \dots\dots\dots(2)$$

となる。したがって補助電極の抵抗 R_C が変化した場合には R_{C0} が変化し、常に式(1)の関係が成立するように、いいかえれば $i_P = 0$ となるように自動的に補償すれば、 V_1 は一定であるから式(2)により i_E の値から R_E の値を知ることができる。すなわちあらかじめ R_E の値によって目盛った電流計の指示から抵抗値を直読することができる。本器においては次に述べるように i_P が零になるように、 i_P による R_{P0} の電圧降下に増幅し、この出力によって R_{C0} の抵抗値を変化させ R_C が変化しても自動的に式(1)が満足されるようにしている。式(1)が成立する場合には $i_E = i_C$ となるから、電流計 M は i_E を測定する回路に入れても、 i_C を測定する回路に入れても原理的には同じである。本器においては電流計の抵抗値の変化や整流器の電圧降下の影響をさけるため i_C の電流を測



第4図 制御回路原理図
Fig. 4. Principle of regulating circuit

定する回路に入れてある。ここに電流計をそう入すれば電流計の抵抗の変化などは R_C が変化したことと同一であり指示にはまったく影響しない。

第4図に補助電極 R_C の抵抗が変化した場合にも正しい指示をさせるための自動補償回路を示す。図において同期整流器は V_1, V_2 と同一周波数同一位相の電圧によって制御される。ループ②の電流がループ①の電流より大きい場合、 R_{P0} に生じた電圧降下が増幅整流されて抵抗 R に矢印方向の電圧降下を生ずるように回路を構成する。増幅器の増幅度を A とすると、この抵抗 R にはほぼ $A \cdot R_{P0} \cdot i_P$ に等しい電圧が生じている。トランジスタのエミッタベースはほぼ同電位であるからこの電圧 $A \cdot R_{P0} \cdot i_P$ が補助電極 C に直列に接続されたトランジスタ T_r の電圧降下となっている。したがってこの電圧降下を流れる電流で割ったものが第2図に示した R_{C0} に相当する。ある R_E の値に対して式(1)が満足されていたし、なんらかの原因で R_C が増加したとするとループ②の電流が減少し、増幅器の出力電流は減少する。したがって抵抗 R の電圧降下もさがって R_{C0} が減少したように作用し電流をもとの値にもどす。

R_C が次項に記す測定可能範囲内にある場合には増幅器の増幅度を A とすると i_E, i_C の値は

$$V_1 = (R_{E0} + R_E)i_E + (R_{P0} + R_P)i_P$$

$$V_2 = -(R_{P0} + R_P)i_P + R_C i_C - R_{P0} \cdot A \cdot i_P$$

$$i_E - i_P = i_C$$

から得られ

$$i_E = \frac{V_1}{R_{E0} + R_E} \left[1 + \frac{1}{A+1} \cdot \frac{R_P + R_P}{R_{P0}} \cdot \left\{ \frac{V_2}{V_1} - \frac{R_C}{R_{E0} + R_E} \right\} \right] \dots\dots\dots(3)$$

$$i_C = \frac{V_1}{R_{E0} + R_E} \left[1 + \frac{1}{A+1} \cdot \frac{R_{P0} + R_P + R_{E0} + R_E}{R_{P0}} \cdot \left\{ \frac{V_2}{V_1} - \frac{R_C}{R_{E0} + R_E} \right\} \right] \dots\dots\dots(4)$$

となる。増幅器の増幅度 A が充分大きければ

$$i_E \doteq i_C \doteq \frac{V_1}{R_{E0} + R_E}$$

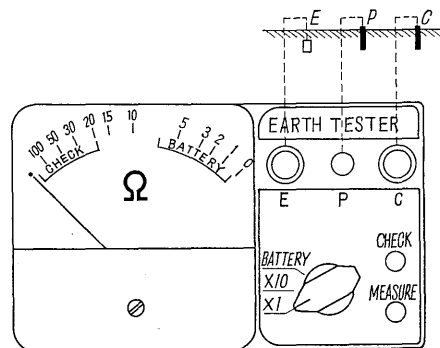
となり R_C, R_P に無関係に一定の値を与える。式(4)の第2項が補助電極抵抗が変化した場合の原理上の指示誤差を示す。

3. 補助電極抵抗の限界値

測定接地板に流れる電流が R_C に無関係に一定となるのは式(1)が満足される場合である。前記した補償法においては R_{C0} は負にはなり得ないから $R_C > (R_{E0} + R_E) \frac{V_2}{V_1}$ となった場合にはもはや式(1)は満足できず指示は一定とならない。したがって本方式によって正しく接地抵抗を測定するためには、補助接地棒の抵抗 R_C は $R_C < (R_{E0} + R_E) \frac{V_2}{V_1}$ でなければならない。 R_C がこれより大きくなると指示はほぼ R_C に逆比例して減少する。

IV. 構造および使用方法

本器は $0 \sim 100 \Omega, 0 \sim 1,000 \Omega$ の2レンジを有しているがレンジ選択スイッチ、指示計、押しボタンスイッチ、端子などは第5図のように使いやすさ、見やすさを考慮して配置してある。指示計カバーは透明アクリル樹脂製でスケール面は明るく見やすい。電池の交換は底部の蓋を開いて行なう。使用時の電池の電圧をチェックするために切換スイッチに BATTERY レンジを設けている。

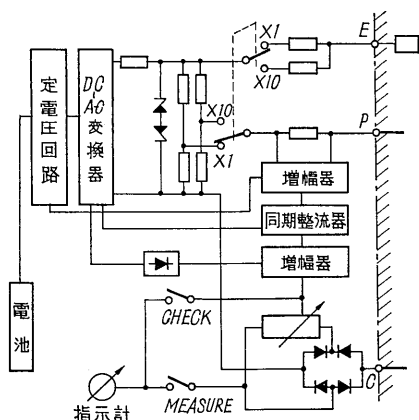


第5図 正面板配置図
Fig. 5. Design of front panel

図に点線で示したように接続をしレンジ切換スイッチを $\times 1, \times 10$ のいずれかとし、チェックボタンを押して指示が CHECK のわく内であれば次に測定用のボタンを押す。ダイヤルが $\times 1$ の場合にはその指示が測定接地板 E の接地抵抗を示す。 $\times 10$ の場合は読みを10倍する。

V. 構成

本器の回路構成を第6図に示す。



第6図 接地抵抗計回路図
Fig. 6. Circuit diagram of earthtester

1. レンジの切換

本器は 0~100Ω, 0~1,000Ω の2レンジを有する。レンジの切換は ×10 の場合に 測定電圧 V_1 , 直列抵抗 R_{E0} をともに 10 倍することによって行なっている。目盛は両レンジに共通である。

2. 電源部

電池は単三乾電池 8 個を使用している。2 石のトランジスタを使用した直列制御形の定電圧回路によって 7.5V の定電圧とし、この電圧を測定電圧発生用 DC-AC 変換器および増幅器に供給している。

3. DC-AC 変換器

電源部より供給される電圧をトランジスタコンデンサを使用した発振器により約 2kc の矩形波の交流電圧に変換し測定電圧を得ている。またこの出力は同期整流回路へも制御信号として供給されている。測定回路への出力はさらに定電圧ダイオードによって波高値を一定とし、分圧抵抗によって正確な測定電圧を得ている。測定電圧 V_1 は ×1 レンジの場合に 10mV, ×10 の場合に 100mV である。直列抵抗 R_{E0} はそれぞれ 10Ω, 100Ω であるから測定電極に供給される電流は最大 1mA である。

4. 補助電極抵抗チェック回路

III 項で記したように補助電極の抵抗がある限度以上になると正確な測定が行なえなくなる。そこで測定に先立ち正確な測定を行なえる状態にあるかどうかをチェックする必要がある。本器においては原理的に第4図の同期整流回路の出力側の抵抗に矢印方向の電流が流れていれば測定可能範囲にあるから、この電流が流れているかどうかを測ることによって測定可能か否かをチェックすることができる。所定の接続をしてからチェックボタンを押すと回路が切りかわってこの電流が指示計器に流れ

る。指針が CHECK と記したわく内であれば正しい測定が行なえる。またその指針の位置から限界値に対する余裕も知ることができる。計器の振れが大きい場合には十分な余裕を有することを示す。もし指針がこのわく内に入らない場合は、補助電極抵抗が大きすぎる場合であるから補助電極をもつと深く打込むとか、水をまくとかして抵抗を下げる必要がある。

5. 指示計

指示計の測定素子には当社独特のスパンバンド支持方式を採用しているので振動衝撃に強く摩擦がないので経年変化も少なく長期間安定した指示をする。

測定原理上流れる電流が測定抵抗に逆比例するので目盛は逆数目盛となる。測定電極に直列な抵抗 R_{E0} の値を ×1 の場合に 10Ω, ×10 の場合に 100Ω とすることによって ×1 の場合には 10Ω が、また ×10 の場合には 100Ω が中央目盛となる。第1種、第3種の接地抵抗の限界値が目盛の中央にあり良否の判定には好都合である。

6. 電圧計回路

測定接地板に電圧の生じている場合の接地電圧の測定のため、また低圧回路の電圧測定のため A-E-V 形には電圧測定レンジが付加されている。ダイオードにより全波整流し、可動コイル形計器により指示する整流形計器である。レンジは 5, 50, 250V の3レンジである。

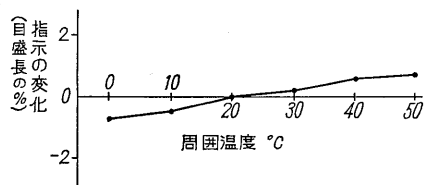
VI. 特 性

1. 電池電圧の影響

DC-AC 変換器への入力増幅器の電源などすべて安定化してあること、および測定電極に印加される測定電圧は交流に変換された後、さらに波高値を一定にしてあることなどのため、電池電圧の影響はきわめて小さく電池電圧が動作状態において 12V から 7.5V まで変化しても指示の変化は認められない。

2. 外気温度の影響

接地抵抗計は屋外で使用される場合が多いので大きな温度変化を受けることが予想される。増幅度の変化の影響は原理上小さい測定電圧の温度の影響は定電圧ダイオ



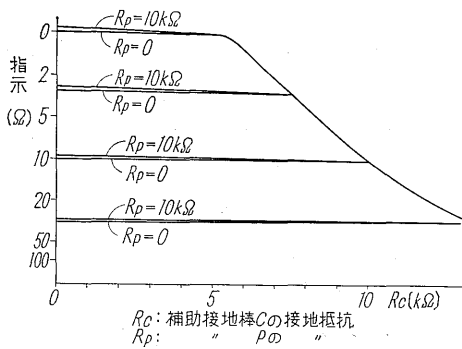
第7図 温度特性

Fig. 7. Temperature characteristic

一の順方向の温度特性の組合わせにより小さい。指示計の温度の影響は分流回路を適当にすることによって補償している。このため温度による影響はわづかである。第7図に温度特性の一例を示す。

3. 補助電極抵抗の影響

補助電極 P, C の抵抗値が変化した場合の指示の変化の例を第8図に示す。補助電極 C の抵抗がある値をこすと指示は急に減少するがそこまでの指示の変化はわづかである。指示が減少する領域に入ったかどうかはチェックによって確実に知ることができる。



第8図 補助電極抵抗の影響

Fig. 8. Effect due to resistance of auxiliary earth

4. 外部電圧の影響

測定電極の接続されている回路がどこかで接地していたり、大地に対して低い漏れ抵抗を有していたりすると測定電極に電圧降下を生ずる。このような状態で測定することは回路の漏れ抵抗が接地抵抗に並列になったことになり正しい測定は行なえない。また測定器も測定電極に大きな電圧が加っていると誤差を生ずる場合がある。正確を期するためには測定電極を回路から切離して測定しなければならない。本器においては増幅器の入力部にフィルタをそう入すること、測定周波数以外の周波数に対して負帰還をかけること、出力を同期整流することなどによって外部電圧の影響を小さくしており測定電極に2V (50, 60%) の電圧が生じても正しく測定できる。

VII. 仕様

次に接地抵抗計形 A E および形 A E - V の主なる仕様を示す。

測定方式	直読式 (定電圧電流測定方式)
測定範囲	0~100Ω (×1) } スイッチ切換 0~1,000Ω (×10) } による
目盛	逆数目盛…中央目盛 10Ω (×1) 100Ω (×10)
許容差	指示値の ±5% ±50mΩ / ×1 レンジ 指示値の ±5% ±500mΩ / ×10 レンジ
回路抵抗チェック	チェックボタンにより指示が CHECK 枠内にあることにより確認
測定周波数	約 2kc
電源電池	単三乾電池 (1.5V) 8個
指示計	スパンバンド支持式可動コイル形
温度の影響	20℃ から ±20 deg 変化させた場合の指示の変化は目盛長の 1% 以下
自己加熱の影響	認められず
指針静止時間	3秒
外部磁界の影響	400A/m の直流交流の磁界に対して指示の変化は目盛長の 1% 以下
電池電圧の影響	12V ~ 7.5V の変化に対して認められず
消費電流	約 60mA
電池寿命	連続3時間以上
外形寸法	110×200×110mm (革ケースを含む)
重量	約 1.7kg (革ケース, 電池を含む)
付属品	補助接地棒 2本 測定用リード線 3本 本体収納用革ケース 補助接地棒, リード線収納袋
電圧計付 A E - V 形には上記のほかに次の仕様を加わる。	
電圧測定範囲	AC 5, 50, 250V
動作原理	整流器形
許容差	±5% (最大目盛値の)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。