

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-219126

(P2004-219126A)

(43) 公開日 平成16年8月5日(2004.8.5)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
GO 1 R 15/09	GO 1 R 15/08	2 G O 0 3
GO 1 R 31/26	GO 1 R 31/26	2 G O 2 5

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

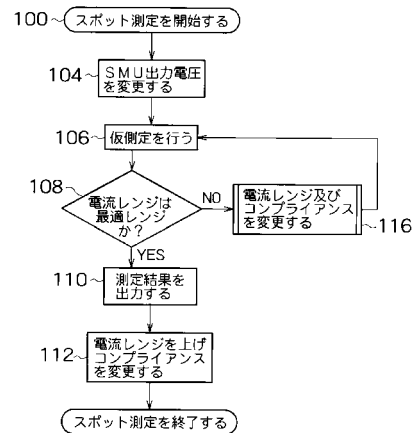
(21) 出願番号	特願2003-3951 (P2003-3951)	(71) 出願人	000121914 アジレント・テクノロジー株式会社 東京都八王子市高倉町9番1号
(22) 出願日	平成15年1月10日 (2003.1.10)	(74) 代理人	100099623 弁理士 奥山 尚一
		(74) 代理人	100096769 弁理士 有原 幸一
		(74) 代理人	100107319 弁理士 松島 鉄男
		(72) 発明者	筒井 順子 東京都八王子市高倉町9-1 アジレント ・テクノロジー株式会社内
		F ターム (参考)	2G003 AA01 AA02 AA07 AB02 AH05 2G025 BA04 BA08

(54) 【発明の名称】 電流レンジを自動的に変更する方法

(57) 【要約】

【課題】 オートレンジ設定を高精度で迅速に行う。

【解決手段】 電流測定器と電圧源とにより電流検出用の抵抗を共用し、該抵抗を介して該電圧源から出力される電流の値を前記電流測定器により測定し、測定された電流の値に基づいて前記電流測定器の電流レンジを自動的に変更する方法であって、前記電圧源から出力される電流に対するコンプライアンスを所定の値に設定するステップ102と、前記電圧源から出力された電流の値を前記電流測定器により測定するステップ106と、仮測定された該電流の値と前記電流レンジとを比較して、前記電流レンジが最適であるか判断するステップ108と、前記電流レンジが最適であると判断した場合には、測定された前記電流の値の結果を前記電流測定器が出力した後に、前記電流レンジをアップし、コンプライアンスを変更するステップ112とを含んでなる方法を提供する。



【選択図】 図1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

電流測定器と電流制限すなわちコンプライアンス機能を備えた電圧源とにより電流検出用の抵抗を共用し、該抵抗を介して該電圧源からの出力される電流の値を前記電流測定器により測定し、測定された電流の値に基づいて前記電流測定器の電流レンジと該コンプライアンスとを自動的に変更する方法であって、

前記電流レンジと前記コンプライアンスとをユーザの指定した値に設定するステップと、前記電圧源から出力される電流に対するコンプライアンスを所定の値に設定するステップと、

前記電圧源から出力された電流の値を前記電流測定器により測定するステップと、  
測定された該電流の値と前記電流レンジとを比較して、前記電流レンジが最適であるか判断するステップと、

前記電流レンジが最適でないと判断した場合には、前記電流レンジを変更し、それに応じて前記コンプライアンスを前記ユーザの指定した値以下で、該変更された電流レンジにおける上限値に変更し、前記電圧源から出力された電流の値を再び測定するステップと、

前記電流レンジが最適であると判断した場合には、測定された前記電流の値の結果を前記電流測定器が出力した後に、前記電流レンジをアップし、それに応じて前記コンプライアンスも変更するステップと

を含んでなる方法。

**【請求項 2】**

前記電流レンジが最適であると判断した場合には、前記ユーザの指定した値か、または該アップされた電流レンジにおける上限値のいずれか低い方に前記コンプライアンスを変更することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記電流レンジが最適でないと判断した場合には、前記の再び測定するステップに続いて、前記電流レンジをアップし、それに応じて前記コンプライアンスも変更するステップを含む請求項 1 または 2 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記電圧源の最小の出力電流値に対して、前記電流レンジの下限が予め設定されている請求項 1 から 3 のいずれかに記載の方法。

**【請求項 5】**

前記電流レンジが最適であるか判断するステップが、前記電圧源から出力された電流の測定値と前記電流レンジとの比率を計算するステップと、

前記比率と所定の比率とを比較して、前記電流レンジの変更の必要性の有無を判断するステップと

を含む請求項 1 から 4 のいずれかに記載の方法。

**【請求項 6】**

前記比率と所定の比率とを比較して、前記電流レンジの変更の必要性の有無を判断するステップが、前記電圧源から出力された電流の測定値と、現在の電流レンジよりも小さい電流レンジとの比率を計算して、所定の比率と比較することを含む請求項 5 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記電流レンジの変更の必要性の有無を判断するステップは、維持または変更された前記電流レンジの上限値を真のコンプライアンスとして設定することを含む請求項 6 に記載の方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、複数の電流レンジを備える電流測定器と電流制限器とを含む電圧源装置（以下、「SMU (source monitor unit あるいは source meas

10

20

30

40

50

ure unit)」とよぶ)の電圧出力電流測定において、適切な電流レンジに自動的に変更して出力電流を測定する方法に関し、特に、測定速度または分解能を確保して、出力電圧の変動をできるだけ避けながらレンジ変更を行う方法に関する。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

電流測定器等を含む電圧源装置であるSMUから出力される電流を高分解能で測定するために、最適な電流レンジを自動的に選択して測定するオートレンジ測定技術が提案されている。ここで、SMUは、電流測定器と電圧源とのほかに、被試験対象デバイス(device under test:以下、「DUT」とよぶ)が過電流により破壊されるのを防止するために、電流をある制限値(以下、「コンプライアンス」とよぶ)を超える電流を出力させないように制御している電流制限回路を一般に含む。また、電流測定用回路と電流制限回路とは、SMUの出力電流を検出するための抵抗を必要とするが、値段やスペースの関係上、SMUではこれを共用している。この抵抗を共用しているため、コンプライアンスは電流レンジにより制限される。したがって、SMUでは、通常、オートレンジ測定において電流レンジが変更されると、コンプライアンスも連動して変更される。すなわち、最初は、ユーザが設定したコンプライアンス(以下、「真コンプライアンス」とよぶ)とそれに対応する電流レンジが設定されているが、レンジ設定がより低い電流レンジに変更され、その電流測定レンジにおいて測定可能な最大電流値(以下、「上限値」とよぶ)が真コンプライアンスより低い場合には、便宜上、その電流レンジの上限値がコンプライアンスに設定される。さらに電流レンジが真コンプライアンスより大きい値に変更された場合には、真コンプライアンスがコンプライアンスに設定される。

10

20

#### 【0003】

上記の電流レンジとコンプライアンスとの連動した変更によって、DUTにユーザの予期しない電圧がまれに印加される場合がある。電流測定用レンジ抵抗と電流制限用電流検出抵抗を共用した、従来のSMUのハードウェア構造を以下に説明する。ここで、SMUは、本来、電流制御モードと電圧制御モードとを含むが、説明を簡単にするために、ここでは、電圧制御モードの場合におけるSMUの各ブロックの動作について説明する。

#### 【0004】

図7は、従来のSMUの構成を示すブロック図である。SMUは、電圧設定値をデジタルアナログ変換する電圧デジタルアナログ変換器(以下、「電圧DAC」とよぶ)701と、電流制限値(コンプライアンス)をデジタルアナログ変換する電流デジタルアナログ変換器(以下、「電流DAC」とよぶ)702と、負の電流制限をするために電流DAC702の出力を反転させるインバータ705と、電圧エラーアンプ703およびパワーアンプ708と、電流エラーアンプ704および706と、レンジ抵抗709と、電流モニタアンプ710と、電圧モニタアンプ713と、得られた出力電流値又は電圧値からデジタル化された測定値を得るための測定用アナログデジタル変換器711とを一般に含む。

30

#### 【0005】

電圧エラーアンプ703は、通常、パワーアンプ708を制御している。この電圧エラーアンプ703は、SMUの出力電圧をバッファする電圧フォロア712からフィードバックされる出力電圧と電流DAC701の出力電圧との差分を検出し、電圧DAC701の設定値がSMUの出力値と等しくなるようにパワーアンプ708を制御している。また、パワーアンプ708は、電圧エラーアンプ703からの電圧および電流を増幅しており、SMUの出力電力を供給している。

40

#### 【0006】

電流エラーアンプ704および706は、通常はスタンバイ状態であり、所定の場合に電流を制限するように動作する。パワーアンプ708の出力電流はレンジ抵抗709で電圧変換され、電流モニタアンプ710で正規化される。そして、この出力電流がアナログデジタル変換器(以下、「ADC」とよぶ)711に入力されてデジタル化され、SMUの出力電圧に対応して出力電流値が得られる。

#### 【0007】

50

また、電流モニタアンプ 710 からの出力電圧は、電流エラーアンプ 704 および 706 にフィードバックされる。そして、電流エラーアンプ 704 および 706 は、電流 DAC 702 に設定された電流値を超えないように、パワーアンプ 708 をそれぞれの極性において制御する。

#### 【0008】

電圧出力中において、通常、電圧エラーアンプ 703 がパワーアンプ 708 を制御している。しかしながら、例えば、DUT の特性に急激な変化があり電流 DAC 702 に設定されたコンプライアンスを電流モニタアンプ 710 の出力値が超えようとした場合には、電流エラーアンプ 704 または 706 が動作して、電圧エラーアンプ 703 の代わりにパワーアンプ 708 を制御する。これにより、電流 DAC 702 において設定されたコンプライアンスが出力されるように電圧がコントロールされることになる。この状態は、電流ループ状態ともよばれる。このとき、それぞれの電流エラーアンプ 704 および 706 から、電流ループ状態であることを示す信号 ( I - L o o p s t a t u s または I + L o o p s t a t u s ) がコントローラに送られる。

10

#### 【0009】

レンジ抵抗 709 は、複数の電流レンジに応じて複数個の抵抗を備えている。このレンジ抵抗 709 は小さい電流レンジであるほど抵抗値が大きくなっている。また、これらの抵抗はスイッチを用いてコントローラ ( 図示せず ) からの命令に基づいて求められる電流レンジに応じて切り替えられる。ここで、レンジ抵抗 709 は電流測定と電流制限との機能を兼ね備えている。このことは、電流レンジ抵抗の精度が電流測定精度に影響するので一般に高価である点と、低コストや省スペースの観点から素子の数を極力少なくしたい点とによるものである。レンジ抵抗が電流測定と電流制限とにおいて共用されているため、コンプライアンスは選択された電流測定レンジの上限値を超えることはできない。

20

#### 【0010】

次に高分解能で測定するための最適な電流レンジについて説明する。まず、測定可能な電流レンジについて説明する。ADC 711 の入力フルスケールは一定なので、電流レンジが決まると電流レンジを超える電流は測定できない。したがって、測定したい電流よりも電流レンジを大きくする必要がある。一方、測定分解能は、ADC 711 の入力フルスケールに対する分解能で決まるため、電流レンジが小さいほど高分解能である。従って、高分解能で測定するには、測定対象電流値よりも大きい電流レンジであって、その中で最も小さい電流レンジを用いて測定することが好ましい。

30

#### 【0011】

上記に従来の SMU のハードウェア構成と、高分解能で測定するためのハードウェアに要求される条件について説明してきたが、次に、高分解能で測定するために使用されるオートレンジ測定における制御方法について説明する。

#### 【0012】

オートレンジ測定とは、測定中に変化する各測定値に対して、分解能を確保しながら各測定点に対して最適なレンジを自動的に選択する測定のことをいう。このような従来のオートレンジ測定のフローチャートを図 8 に示す。まず、ステップ 800 で測定が開始される。ステップ 802 では、コンプライアンスは真コンプライアンスに、電流レンジは真コンプライアンスが設定できるレンジにそれぞれ設定される。ステップ 804 では、オートレンジスポット測定が行われ、ここで必要に応じて電流レンジとコンプライアンスの変更が行われる。ステップ 808 では、現在の状態がユーザの指定した終了条件を満たしているかどうか判断される。ここで、終了条件には、例えば、測定回数、測定時間、設定電圧の掃引終了値などを使うことができる。そして、その状態になるまでオートレンジスポット測定 ( 以下、「スポット測定」とよぶ ) が、ステップ 804、808 において繰り返される。ここで、スポット測定とは、電流レンジを最適レンジに自動的に設定して測定し、その結果を出力する測定を意味する。スポット測定についての詳細については、後に説明する。

40

#### 【0013】

50

ここで、電流レンジの変更があった場合には、上述したハードウェアの構成に起因する理由により電流レンジと連動してコンプライアンスも変更され、電流DAC702に設定される。ステップ804における変更後の電流レンジおよびコンプライアンスの設定は、次のスポット測定まで保持される。これは、2つの連続した測定点が互いにごく近い値か、または桁が同じ程度の近い値であることが一般的に多く、同じ電流レンジのまま測定できる場合が多いためである。これにより、レンジ変更に費やす時間を短縮することができる。

#### 【0014】

図9に図8のステップ804を説明するために、スポット測定のフローチャートを示す。まず、ステップ904においてSMUの電圧出力をユーザの指定した設定にした後に、ステップ906において電流の仮測定を実行する。ここでのコンプライアンスはステップ900以前に設定された値が残っている。そして、ステップ908において、ステップ906での仮測定で用いた電流レンジが最適レンジであるか否かを判定する。仮測定の電流レンジが最適レンジでなかった場合には、ステップ910においてレンジとコンプライアンスとを変更して、ステップ906に戻って再度仮測定を実行する。電流レンジが最適レンジになるまで、ステップ906における仮測定と、ステップ910における電流レンジとコンプライアンスとの変更とが繰り返し行われる。そして、電流レンジが最適レンジであると判断されると、ステップ912へと進んで測定結果として測定値を出力する。そして、ステップ914においてスポット測定を終了する。

#### 【0015】

また、ステップ910のレンジ変更については、後述のように、電流レンジが変更されるとともに、コンプライアンスも連動して変更されて、電流レンジの上限値が真コンプライアンスより小さい場合には、コンプライアンスと電流レンジの上限値とが同じ値になる。

#### 【0016】

さらに、上記のステップ910で示される従来の電流レンジ変更のフローチャートを図10に示す。ステップ1002では、電流レンジと、測定値と、ハードウェアからの電流ループ状態信号とに基づいて、電流レンジの妥当性を判定する。ここで、電流レンジが、測定値と比較して大きすぎ、より小さいレンジで測定できると判断された場合には、ステップ1006において電流レンジを下げ、それと連動してコンプライアンスを電流レンジの上限値に変更する。逆に、ハードウェアから電流ループ状態信号が検出された場合、つまり電流レンジが小さいと判断された場合には、ステップ1004において電流レンジを上げ、それと連動してコンプライアンスを電流レンジの上限値か真コンプライアンスかのどちらか低いほうに変更される。

#### 【0017】

電流レンジが変更されて下がった場合には、コンプライアンスは、真コンプライアンスではなく、変更後の電流レンジの上限値になっている。ここで、DUTに流れる電流が増加しコンプライアンスを超えようとする場合には、コンプライアンス以上の電流が流れないように、SMUの出力電圧をハードウェアが制御する。したがって、SMUからの出力電圧が、結果的に期待した電圧とは異なった電圧になる場合がある。

#### 【0018】

上記のSMUの動作を図11に模式的に示す。SMU(1103)は、DUT1102に定電圧を出力してオートレンジ電流測定を実行する。ここで、SMU1103からDUT1102へと流れ込む向きを正とする。DUT1102のもう一方の端子は接地されている。ここでの出力電圧は、線1116に示すように、階段状の波形が出力されている。

#### 【0019】

まず、図11の点1104の に示すように、測定開始直後のコンプライアンスは真コンプライアンスと同じ値であり、電流レンジは真コンプライアンスに対応する電流が測定できるレンジになっている。測定が開始されると、矢印1105に示すように、電流レンジは最適レンジに変更され、それに連動して、コンプライアンスも変更される。SMU(1103)の出力電圧が増加すると、DUT1102に流れる電流も増加する。そして、点

10

20

30

40

50

1106の に示すように、SMU1103の出力電圧の増加によりDUT1102に流れる電流がコンプライアンスを超えようとする、線1107に示すように、SMU(1103)は、コンプライアンスを超える電流が流れないように出力電圧の上昇を止め、電流ループ状態信号を出力する。コントローラは、この電流ループ状態信号を検知すると、点1108の と に示すように、電流レンジとコンプライアンスとを上げる。そして、点1109の に示すように、SMU(1103)の電流制限が解除されて出力電圧が元に戻る。この過程において、線1107に示されるような電圧の変動によって、DUT1102の両端に期待しない電圧がかかる(比較のために図11に期待される電圧出力を線1120として表示したので参照されたい)。

#### 【0020】

上記のSMUにおいてレンジ切り替え時に期待しない電流が印加されるのを防ぐために、下記の特許文献1および特許文献2のSMUが開示されている。具体的には、特許文献1は、可変インピーダンス手段が変化している間に制御用増幅器の出力を停止するSMUを開示している。また、特許文献2は、従来技術のSMUに加えて出力電圧のホールドループを設けたSMUを開示している。

#### 【0021】

通常、微小な電流レンジにおいては、測定精度の安定性向上のためある程度の積分時間を要する。そのため、必要以上に電流レンジを下げないオートレンジ測定方法が存在する。この方法は、測定に必要とされる電流レンジが小さいと判断された場合であっても、ユーザの指定した最小レンジまたは制限レンジよりも小さい電流レンジには設定しないようにする方法である。これにより、測定時間を短縮することができ、ユーザにとって必要な分解能を確保することもできる。このような制限されたオートレンジ測定において図10のかわりに電流レンジを変更するフローチャートを図12に示す。まず、ステップ1202では、電流レンジが測定値に対して大きいかを判断する。次に、ステップ1204では、そのときの電流レンジがユーザの指定した制限レンジよりも大きいかを判断する。そして、電流レンジが制限レンジよりも大きい場合にのみ、ステップ1206において電流レンジを下げ、コンプライアンスをこの電流レンジの上限値に変更する。また、この場合のレンジ変更時のSMUの動作について図13に示す。ここでは、図11の矢印1105と同様に、図13の線1301に示すようにレンジ変更及びコンプライアンス変更が行われている。しかし、上記の図11の矢印1105に示される場合と比較して、点1302の に示すようにコンプライアンスはユーザの指定した制限レンジ以下(ここでは、 $1.0 \times 10^{-4} \text{ A}$ )にはならない点異なる。

#### 【0022】

しかし上記の場合には、最適レンジで常に測定するのは困難である。また、ユーザが設定した制限レンジ以下には変更されないため、測定のダイナミックレンジが下がることになる。従って、制限レンジより小さい電流レンジが最適レンジである場合には、測定される微小電流の分解能が低下することになる。例えば、図11と比較すると、図13の場合には、点1302の に示すように測定では電流レンジが制限レンジ以下にはならないので、図13の点1303の に示すように分解能が図11の点1110の よりも悪くなる。

#### 【0023】

ここで、SMU出力の設定後に、電流レンジがコンプライアンスに制限されることにより生じる不都合を防止する別の方法も提案されている。この方法は、各オートレンジ測定のスポット測定においてSMUの出力を設定するときにコンプライアンスを真コンプライアンスに戻す方法、つまり、開始直後の値に電流レンジを戻す方法である。この図9にかわるフローチャートを図14に示す。まず、ステップ1400では図9のステップ904と同様に、ステップ1400以前に設定された電流レンジとコンプライアンスとが設定されている。そして、ステップ1402においてコンプライアンスを真コンプライアンスに設定し、それに適した電流レンジを設定し、ステップ1404でSMUの出力を変更する。従って、ステップ1406の仮測定においてコンプライアンスにかかることがないため、

10

20

30

40

50

S M U の出力電圧の変動を防止することができる。その例を図 1 5 に示す。点 1 5 0 2 の  
に示すように、電流レンジは測定において最適レンジになっている。そして、点 1 5 0  
3 の に示すように、次のスポット測定を開始するときに、コンプライアンスを真コンプ  
ライアンスに戻す。このときに電流レンジは、点 1 5 0 1 の に示すような測定を開始し  
た直後の値になる。そして、点 1 5 0 4 の に示すように、電流レンジを最適レンジに変  
更して測定結果を出力する。従って、電流レンジがコンプライアンスに制限されることが  
なく、線 1 5 0 5 に示すように、S M U の出力電圧は期待しない変動を生じない。

#### 【 0 0 2 4 】

しかしながら、図 1 4 のステップ 1 4 0 8 における判断では、電流レンジが最適レンジで  
ない場合が多いため、ステップ 1 4 1 0 においてレンジ変更を行う確率が増加することにな  
る。また、電流レンジの初期値が真コンプライアンスに適したレンジとなるために、最  
適レンジになるまでに実行されるレンジ変更の回数が増加することになる。この結果、測  
定時間が遅くなる。例えば、図 1 5 の点 1 5 2 2 の と、点 1 5 2 4 の と、点 1 5 2 5  
の と、点 1 5 2 6 の と、点 1 5 2 7 の との各スポット測定においてレンジ変更が実  
行されている。従って、その分の測定時間を必要とすることになる。さらに、この図 1 5  
には表現されていないが、仮測定の回数が増加すると、真コンプライアンスから最適レン  
ジへのレンジ変更にも時間を要する。

10

#### 【 0 0 2 5 】

##### 【 特許文献 1 】

特開昭 5 8 - 1 4 8 5 0 7 号公報 ( 第 3 - 4 頁、第 7 図 )

20

##### 【 特許文献 2 】

特開平 8 - 2 6 2 0 6 9 号公報 ( 第 6 - 7 頁、第 1 図及び第 2 図 )

#### 【 0 0 2 6 】

##### 【 発明が解決しようとする課題 】

上記の従来技術を鑑みて、電圧および電流の設定変更時に期待されない出力を抑制して、  
電流オートレンジ測定での電圧電流特性を高精度に迅速に行うことができる方法が求めら  
れている。

#### 【 0 0 2 7 】

##### 【 課題を解決するための手段 】

本発明は、電流オートレンジ測定により電圧電流特性の測定を高精度に迅速に行うことが  
できる方法を提供する。

30

具体的には、本発明は、電流測定器と電流制限すなわちコンプライアンス機能を備えた電  
圧源とにより電流検出用の抵抗を共用し、該抵抗を介して該電圧源からの出力される電流  
の値を前記電流測定器により測定し、測定された電流の値に基づいて前記電流測定器の電  
流レンジと該コンプライアンスとを自動的に変更する方法であって、前記電流レンジと前  
記コンプライアンスとをユーザの指定した値に設定するステップと、前記電圧源から出力  
される電流に対するコンプライアンスを所定の値に設定するステップと、前記電圧源から  
出力された電流の値を前記電流測定器により測定するステップと、測定された該電流の値  
と前記電流レンジとを比較して、前記電流レンジが最適であるか判断するステップと、前  
記電流レンジが最適でないとは判断した場合には、前記電流レンジを変更し、それに  
前記コンプライアンスを前記ユーザの指定した値以下で、該変更された電流レンジにおけ  
る上限値に変更し、前記電圧源から出力された電流の値を再び測定するステップと、前記  
電流レンジが最適であると判断した場合には、測定された前記電流の値の結果を前記電流  
測定器が出力した後に、前記電流レンジをアップし、それに  
前記コンプライアンスも変更するステップとを含んでなる方法を提供する。ここで、前記電流レンジが最適であ  
ると判断した場合には、前記ユーザの指定した値か、または該アップされた電流レンジに  
おける上限値のいずれか低い方に前記コンプライアンスを変更することを特徴とする態様  
や、前記電流レンジが最適でないとは判断した場合には、前記の再び測定するステップに続  
いて、前記電流レンジをアップし、それに  
前記コンプライアンスも変更するステッ  
プを含む態様や、前記電圧源の最小の出力電流値に対して、前記電流レンジの下限が予め

40

50

設定されている態様や、前記電流レンジが最適であるか判断するステップが、前記電圧源から出力された電流の測定値と前記電流レンジとの比率を計算するステップと、前記比率と所定の比率とを比較して、前記電流レンジの変更の必要性の有無を判断するステップとを含む態様や、前記比率と所定の比率とを比較して、前記電流レンジの変更の必要性の有無を判断するステップが、前記電圧源から出力された電流の測定値と、現在の電流レンジよりも小さい電流レンジとの比率を計算して、所定の比率と比較することを含む態様や、前記電流レンジの変更の必要性の有無を判断するステップは、維持または変更された前記電流レンジの上限値をコンプライアンスとして設定することを含む態様であることが好ましい。

#### 【0028】

10

ここで、コンプライアンスや電流レンジの所定の値または変更幅は、ユーザまたは測定器により定められた所定の値を用いることができる。また、SMUの出力電圧の変動に伴う電流レンジの変更は、電流レンジの上昇（レンジアップ）と下降（レンジダウン）とを含みうる。さらに、電流レンジを変更するタイミングは、測定結果の出力した直後の場合、またはSMU出力の設定と同時の場合を含みうる。また、電流レンジの変更の必要性の有無の判断は、この電流レンジを用いて測定された電流の値が電流レンジに関連する分解能を考慮した上で十分な精度で測定できている場合（以下、「電流レンジが最適レンジである場合」とよぶ）であるかどうかに基づいて行うことが好ましい。

#### 【0029】

20

#### 【発明の実施の形態】

図1および図4を参照して、本発明の第1の実施態様について以下に説明する。図1は、本発明の第1の実施態様において、図8のステップ804に適用されるスポット測定のフローチャートを示し、図4は、本発明の第1の実施態様におけるSMUの動作を示すグラフを示している。なお、測定回路は図4右下に示すように、図11と同様である。まず、図1のフローチャートを説明する。まず、ステップ100においてスポット測定を開始する。そして、ステップ104では、DUTへの出力電圧を変更するために、SMUの出力電圧を変更する。次に、ステップ106では、この変更されたSMUの出力電圧に対する電流値の仮測定を行う。ステップ108では、この測定値からこの電流値の測定に用いられる電流レンジが最適なものであるかを判断する。電流レンジが最適である場合には、ステップ110に進み、測定結果を出力する。そして、ステップ112では、さらなるSMU出力電圧の上昇に備えるために、所定の変更幅で電流レンジを上げ（レンジアップ）、レンジアップした電流レンジの上限値が真コンプライアンスのどちらか低い方をコンプライアンスに設定する。これにより、従来技術と比較して、電流レンジの変更に要する時間が短縮される。このようにしてレンジアップした電流レンジをコンプライアンスとすることにより、SMUからDUTに出力される電圧がコンプライアンスにより変動する可能性を低減することができる。

30

また、ステップ108において電流レンジが最適でない場合、つまり電流レンジが測定された電流の値と比較してあまりに大きいため十分な精度で測定できていない場合には、ステップ116に進み、電流レンジ及びコンプライアンスを所定の変更幅で変更しコンプライアンスを電流レンジの上限値に変更して、ステップ106へと戻る。この場合においても、ステップ110において測定結果を出力した後に次のSMU1の出力電圧の上昇に備えるため、ステップ112において所定の変更幅で電流レンジをレンジアップし、コンプライアンスを変更された電流レンジの上限値が真コンプライアンスのどちらか低い方に設定する。ここでステップ116中では、従来の図10あるいは図12で示されるアルゴリズムが使われる。

40

#### 【0030】

次に、図1のフローチャートに従ったSMU動作を、図4を参照して説明する。図4の点401の電流レンジにおいて電流を測定した後に、点402の電流レンジを上げる。このとき、電流レンジをどのレンジまで上げるかについては、測定器により決められた所定の値、またはユーザが定めた所定の値を用いることができる。このよう

50

なレンジ変更を行うことによって、点404の に示すSMU出力電圧の上昇後の電流値が、点403の に示されるような直前の測定での電流レンジよりも大きい場合であっても、電流値がコンプライアンスに制限されない。このため、SMUが期待しない電圧を出力する可能性を低減することができる。さらに、全ての測定点を最適レンジで測定することができるため、分解能406を確保することもできる。これにより、毎回の測定結果が最適レンジを用いて測定されたものであるため、高分解能で電流値を測定することができる。また、従来に比べて電流レンジがレンジアップされている時間が長いため、ノイズ等により電流値がコンプライアンスに制限される可能性も低減される。さらに、図15の従来技術の矢印1516と比較して、レンジアップ後の電流レンジが開始直後のレンジよりも小さいため、例えば、

10

点409の の測定に示すように電流レンジの変更幅が $1.00E-02A$  ( $10mA$ ) から $1.00E-04A$  ( $100\mu A$ ) までで済んでいる。図15の従来技術の矢印1516では、 $1.00A$  から $1.00E-04A$  にまで大きく変更する必要がある。従って、電流レンジの変更に要する時間が短縮される。

#### 【0031】

しかし、レンジアップ後のレンジの値402の をも超えるような電流値となった場合には、上記の第1の実施態様においても、SMUの出力電圧が変動する可能性が完全には防止できない場合がありうる。また、各々のスポット測定において、最適レンジへと変更される確率が高いので測定時間が長くなる場合がありうる。そのため、上記の第1の実施態様と比較して、最適レンジへのレンジ変更を行う確率を少なくし、測定時間を短縮すること

20

ことができる第2の実施態様を以下に説明する。ここで、第1の実施態様では、測定結果を出力した後にレンジアップを毎回行うのに対して、第2の実施態様では、測定値の電流レンジに対する割合を判定して、ある一定の割合以上の場合にのみレンジアップを行う点が異なる。

#### 【0032】

本発明の第2の実施態様において、図8のステップ804に適用できるスポット測定のフローチャートを図2に示す。ステップ200～ステップ210は、第1の実施態様のステップ100～ステップ108およびステップ116と同じである。そして、ステップ212において測定結果を出力した後に、ステップ214において、電流レンジに対する測定値の割合が所定値(図2においてレート1として示す)より大きい場合には、ステップ2

30

16において次の仮測定を行う前にレンジアップを行い、それに応じてコンプライアンスを変更する。すなわち、変更された電流レンジの上限値か真コンプライアンスのどちらか低い方にコンプライアンスを設定する。ここで、上記の所定値(レート1)は、測定器またはユーザにより規定することができる。これにより、測定に応じた好ましい初期値を予め設定できるので測定時間を短縮することができる。また、ステップ214において、電流レンジに対する測定値の割合が上記の所定値(レート1)に満たない場合には、電流レンジは測定値に対して最適なレンジであるため、スポット測定を終了する。

#### 【0033】

上記の第2の実施態様のSMU動作について図5のグラフを用いて説明する。図5の点505の で測定を開始した後に、測定値501の のレンジに対する割合が所定値503

40

の (レート1) よりも大きいので、矢印506において電流レンジが1段階分だけ上げられる。これにより、次の測定値509の がコンプライアンスに制限されて、SMUが点514の が期待値と異なる電圧を出力する可能性を低減することができる。さらに、全ての測定ポイントにおいて最適レンジにより測定することができるために、常に適切な分解能504の を確保することができる。

#### 【0034】

ここで、測定値509の の最適レンジ508の に対する割合は大きいですが、電流の変化分が小さいために次の測定も前の電流レンジ $1.00E-04A$ と同じレンジ511の により測定できる場合には、矢印507において一度上げたレンジ $1.00E-03A$ を矢印522において下げることもありうる。このように電流の変化分が小さい場合には、

50

矢印 5 0 6 および矢印 5 0 7 において測定後にレンジ変更を行う回数だけでなく、矢印 5 2 2 および矢印 5 1 3 において最適レンジへと変更する回数も増加するため、レンジ変更の回数が増加して測定時間が長くなる場合がある。このような場合には、上記の第 2 の実施態様よりも測定時間をさらに短縮して、電流増加分が少ない場合には、例えば、矢印 5 2 2 でのレンジ変更の回数が増加する確率を低減することができる第 3 の実施態様とすることが好ましい。図 3 を参照して、第 3 の実施態様について以下に説明する。

#### 【 0 0 3 5 】

この第 3 の実施態様に従う電流レンジ変更のフローチャートを図 3 に示す。ここで、図 3 のステップ 3 0 0 は、図 2 のステップ 2 1 0 における電流レンジの変更に対する発明を説明するものである。このステップ 3 0 2 において、電流レンジが大きいと判定して電流レンジを下げる場合には、その一つ下の電流レンジに対する測定値の割合についても併せて判定するステップ 3 0 4 がさらに追加されている。ステップ 3 0 4 では、測定値の一つ下の電流レンジに対する測定値の割合を判定する。そして、所定の割合（図においてレート 2 として示す）以上の場合には、電流レンジの変更とコンプライアンスの変更とを行わずに、経路 3 0 8 を介してステップ 3 1 4 へと進む。そのため、レンジ変更の頻度が少なくなり測定時間を短縮することができる。ここで、上記の所定値レート 2 は、測定器またはユーザにより規定することができる。また、上記のステップ 3 0 4 において、一定の割合（レート 2）に満たない場合には、ステップ 3 0 6 において電流レンジを下げ、コンプライアンスを電流レンジの上限値に変更して、ステップ 3 1 4 において電流レンジ変更を終了する。

10

20

#### 【 0 0 3 6 】

上記の第 3 の実施態様の S M U 動作を図 6 のグラフに示す。点 6 0 3 の の測定において、電流値に対する最適レンジは 6 0 6 の であるが、測定値 6 0 3 の が上記の一定の割合（レート 2）6 0 5 の  $\times$  よりも大きいため、点 6 0 2 の においてレンジ変更は行われずにステップ 2 0 6 の仮測定時の測定値をそのまま出力する。従って、電圧変動につながる可能性のある電流測定レンジ変更を防ぐとともに、上記の第 2 の実施態様のステップ 2 1 6 において上げられた電流レンジを、ステップ 3 0 6 において下げる確率が減少するために、上記の第 2 の実施態様と比較してより高速に測定することができる。

#### 【 0 0 3 7 】

##### 【発明の効果】

以上のように、上記に説明した本発明の方法によれば、期待しない電圧がかかりにくい電流オートレンジ設定を高精度で迅速に行うことができる。

30

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施態様を示す電流レンジ変更のフローチャートである。

【図 2】本発明の第 2 の実施態様を示す電流レンジ変更のフローチャートである。

【図 3】本発明の第 3 の実施態様を示す電流レンジ変更のフローチャートである。

【図 4】本発明の第 1 の実施態様の S M U 動作を示すグラフである。

【図 5】本発明の第 2 の実施態様の S M U 動作を示すグラフである。

【図 6】本発明の第 3 の実施態様の S M U 動作を示すグラフである。

【図 7】従来の S M U を示すブロック図である。

40

【図 8】従来の測定方法を示すフローチャートである。

【図 9】従来のスポット測定方法を示すフローチャートである。

【図 10】従来のオートレンジによる電流レンジ変更のフローチャートである。

【図 11】従来のオートレンジによる電流レンジ変更のグラフである。

【図 12】別の従来のオートレンジによる電流レンジ変更のフローチャートである。

【図 13】別の従来のオートレンジによる電流レンジ変更のグラフである。

【図 14】さらに別の従来のオートレンジによる電流レンジ変更のフローチャートである。

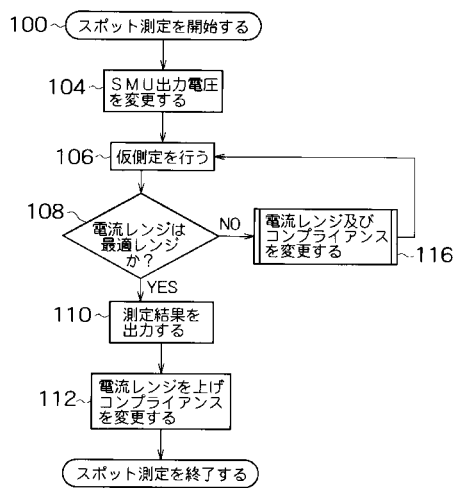
【図 15】さらに別の従来のオートレンジによる電流レンジ変更のグラフである。

##### 【符号の説明】

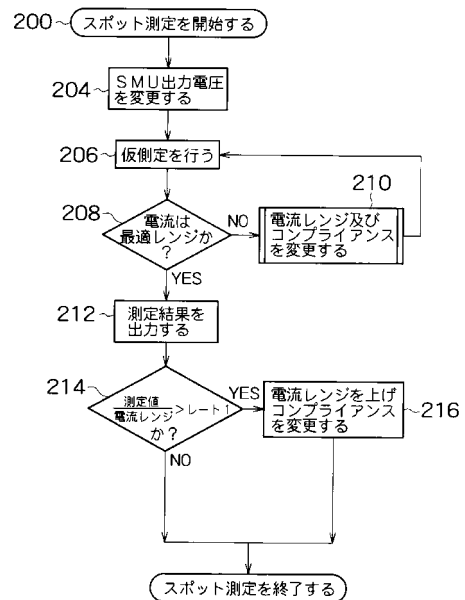
50

- 701 電圧デジタルアナログ変換器
- 702 電流デジタルアナログ変換器
- 703 電圧アンプ
- 704、706 電流アンプ
- 705 インバータ
- 708 増幅器
- 709 レンジ抵抗
- 710 電流モニタアップ
- 711 アナログデジタル変換器
- 712 電圧フォロア

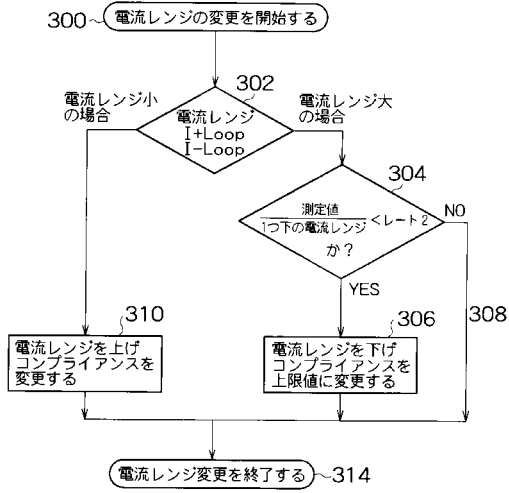
【図1】



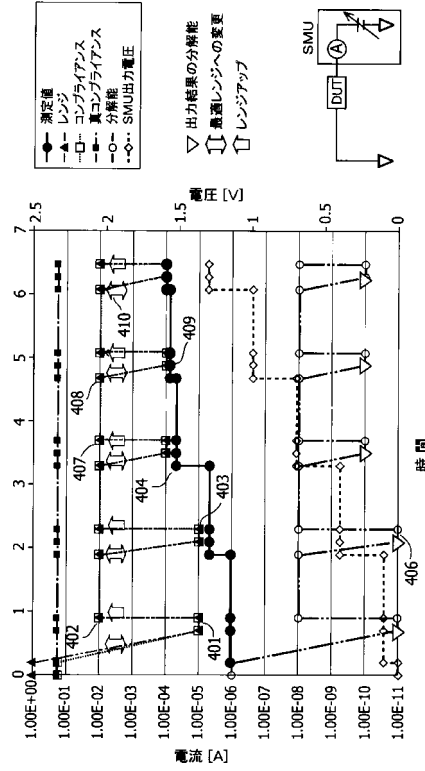
【図2】



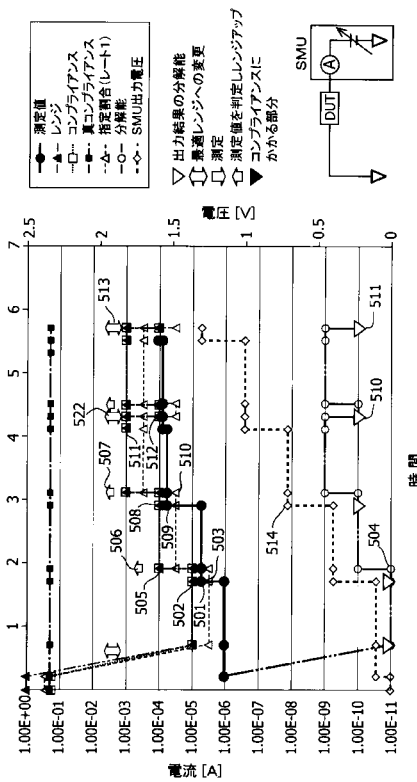
【 図 3 】



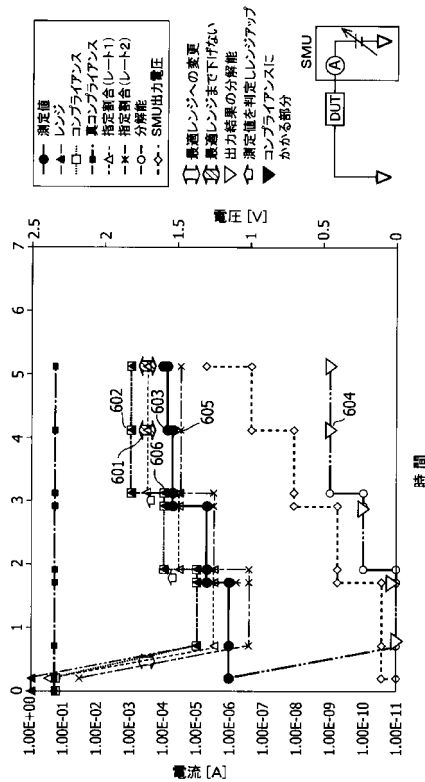
【 図 4 】



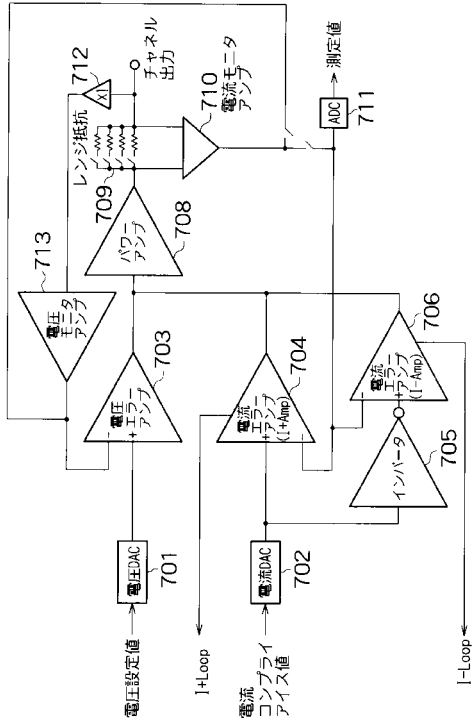
【 図 5 】



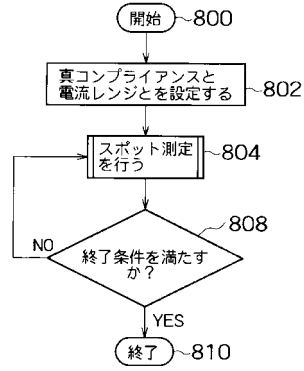
【 図 6 】



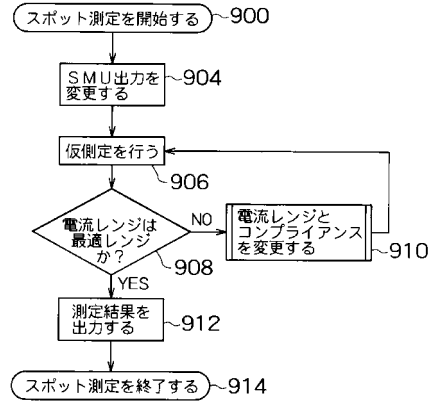
【 図 7 】



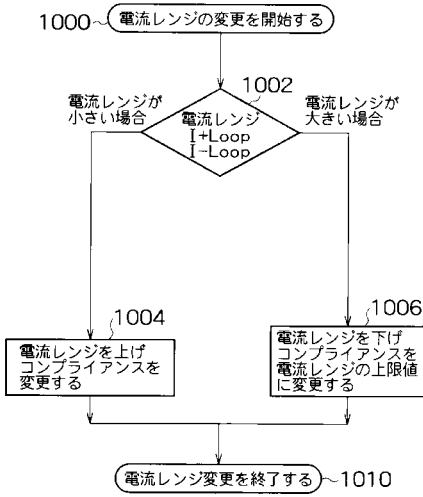
【 図 8 】



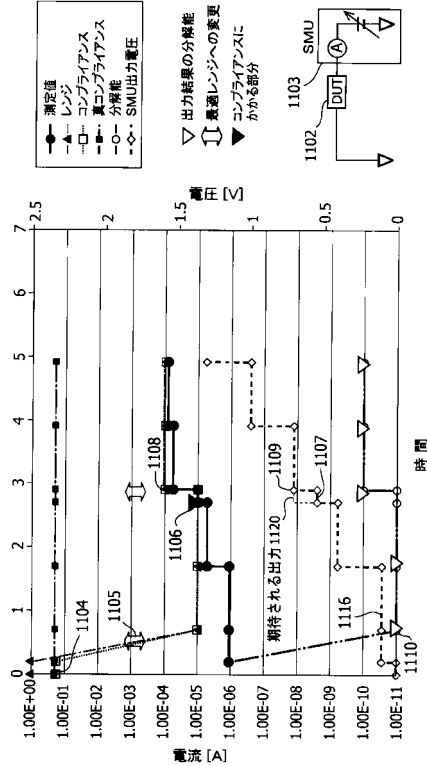
【 図 9 】



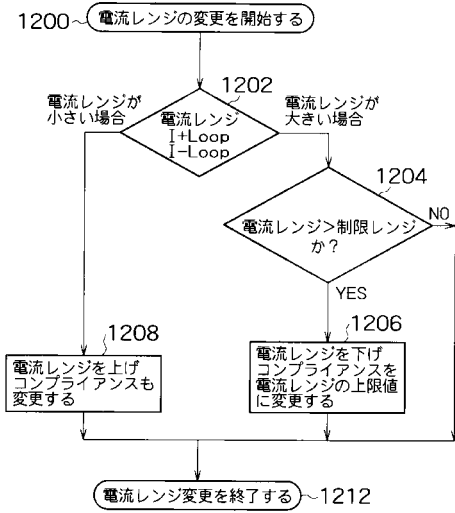
【 図 10 】



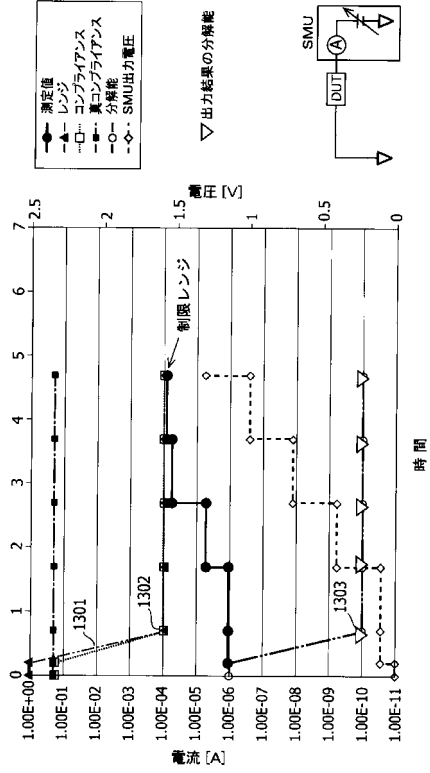
【 図 11 】



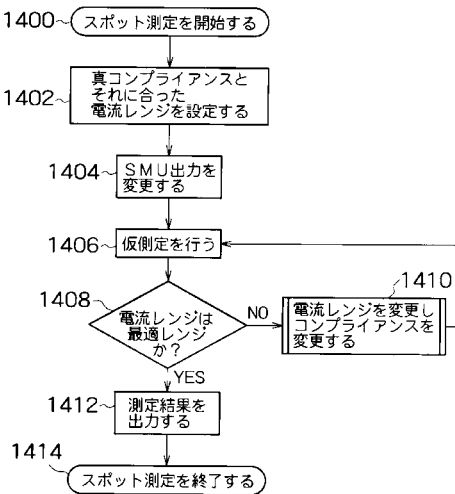
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

