

(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2016-191560

(P2016-191560A)

(43) 公開日 平成28年11月10日(2016.11.10)

(51) Int.Cl.  
G01R 31/00 (2006.01)

F I  
G O I R 31/00

テーマコード(参考)  
2 G O 3 6

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2015-70313 (P2015-70313)  
(22) 出願日 平成27年3月30日 (2015. 3. 30)

(71) 出願人 504255685  
国立大学法人京都工芸繊維大学  
京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地  
(74) 代理人 100152618  
弁理士 幸丸 正樹  
(74) 代理人 100174388  
弁理士 龍竹 史朗  
(72) 発明者 萩原 亮  
京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地  
国立大学法人京都工芸繊維大学内  
(72) 発明者 藤井 暁大  
京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地  
国立大学法人京都工芸繊維大学内

最終頁に続く

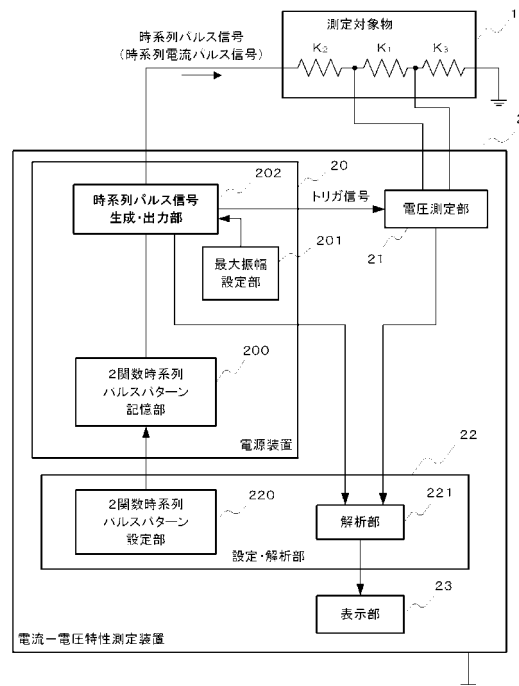
(54) 【発明の名称】 電源装置及び電流－電圧特性測定装置

(57) 【要約】

【課題】測定対象物に入力されたときに発生する隣り合うパルスによるジュール熱を平均した値が略一定となる時系列パルス信号を出力する電源装置を提供する。

【解決手段】電源装置は、電流又は電圧の時系列パルス信号を出力する電源装置である。時間  $t$  に対して、 $F(t)$  と  $G(t)$  とは、それぞれの2乗の和が一定値になる条件を満たす関数であり、 $t$  を  $t_{2i}$  及び  $t_{2i+1}$  ( $t_{2i} = t_0 + t \times 2i$ 、 $t_{2i+1} = t_0 + t \times (2i+1)$ )、 $i$  は0を含む所定範囲の連続する自然数、 $t_0$  は測定開始時間、 $t$  は所定の時間幅)としたとき、時系列パルス信号の隣り合うパルスの波高値の絶対値は、それぞれ  $F(t_{2i})$  の絶対値と  $G(t_{2i+1})$  の絶対値とに等しい値である。 $t$  は、 $F(t_{2i})$  と  $G(t_{2i+1})$  のそれぞれの2乗の和と、一定値との差が、 $i$  値に依らず、所定の許容誤差以下になるように予め設定された値である。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電流又は電圧の 2 系列の時系列パルス信号を出力する電源装置であって、  
時間  $t$  に対して、 $F(t)$  と  $G(t)$  とは、それぞれの 2 乗の和が一定値になる条件を  
満たす関数であり、

$t$  を  $t_{2i}$  及び  $t_{2i+1}$  ( $t_{2i} = t_0 + t \times 2i$ 、 $t_{2i+1} = t_0 + t \times (2i+1)$ )、 $i$  は 0 を含む予め定められた範囲の連続する自然数、 $t_0$  は測定開始時間、  
 $t$  は予め設定された時間幅)としたとき、

前記 2 系列の時系列パルス信号のうち、第 1 系列の時系列パルス信号のパルス波高値の  
絶対値は  $F(t_{2i})$  の絶対値と等しい値であり、前記第 1 系列の時系列パルス信号の各  
パルスと隣り合う第 2 系列の時系列パルス信号のパルスの波高値の絶対値は  $G(t_{2i+1})$  の絶対値と等しい値であり、

前記  $t$  は、 $F(t_{2i})$  の 2 乗と  $G(t_{2i+1})$  の 2 乗との和と、前記一定値との  
差が、前記  $i$  の値に依らず、予め設定された許容誤差以下になるように予め設定された値  
である、

ことを特徴とする電源装置。

## 【請求項 2】

$F(t)$  は余弦関数であり、 $G(t)$  は  $F(t)$  と同一周期、同一振幅及び同一位相の  
正弦関数である、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電源装置。

## 【請求項 3】

$F(t)$  は、周期  $T$  を有し、時間  $T/2$  で 0 となる直線状の関数で、 $G(t)$  は、 $T/2$   
に中心を有し、時間  $t$  を示す方向の軸長が  $T$  で、 $G(t)$  の値を示す方向の軸長が  $F(0)$   
と等しい値である楕円を表す式の正又は負の一方を表す関数である、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電源装置。

## 【請求項 4】

$G'(t) = G(t - t)$  として、

前記第 2 系列の時系列パルス信号のパルス波高値の絶対値は  $G'(t_{2i+1})$  の絶対  
値と等しい値である、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の電源装置。

## 【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の電源装置と、

前記時系列パルス信号を測定対象物の  $I - V$  特性の測定対象箇所に入力したときの該測  
定対象箇所での電圧降下又は電流を、時系列応答パルス信号として、前記時系列パルス信  
号に同期して測定し、前記時系列応答パルス信号の各パルスの正味の波高値を出力する応  
答信号測定部と、

を備えることを特徴とする電流 - 電圧特性測定装置。

## 【請求項 6】

前記電源装置は請求項 2 に記載の電源装置であり、

予め設定された期間の、前記第 1 系列の時系列パルス信号の各パルスの波高値である第  
1 の情報と、前記第 2 系列の時系列応答パルス信号の各パルスの波高値である第 2 の情報  
とを入力し、該入力した前記第 1 の情報及び前記第 2 の情報とに基づき、フーリエ解析を  
行うことにより、前記測定対象箇所の電流 - 電圧特性に関する情報を取得する解析部、

を備えることを特徴とする請求項 5 に記載の電流 - 電圧特性測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、電源装置及び電源装置を含む電流 - 電圧特性測定装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

10

20

30

40

50

物質、素子、測定装置、あるいは電力用機器等の測定対象物の電流 - 電圧特性（以下、 $I - V$ 特性と呼ぶ）は、測定対象物の温度に依存する。そのため、正確に $I - V$ 特性を測定するには測定対象物それ自体の温度をできるだけ一定に保った状態で測定を行う必要がある。このような要請に応えることは、超伝導材料の臨界温度近傍での電気抵抗の非線形特性の計測、一般の抵抗測定器における精密な抵抗測定、金属の相変態、時効現象、再結晶反応等が関与する場合の物性評価、大電流用の電力用遮断器等の部品において重要である。

#### 【0003】

所定の温度における $I - V$ 特性を測定するために、基本的には、測定対象物を格納する測定環境の温度が制御される。この状態で、測定対象物に複数の異なる値の電流を順次通電して、それぞれの電流に対応する測定対象物における電圧降下を測定するか、又は測定対象物に複数の異なる値の電圧を順次印加し、それぞれに対応して測定対象物に流れる電流を測定する。このとき、測定対象物およびそれに電流を通じるための電極、リード線等に電力が投入され、それにより発生するジュール熱が測定対象物自体の温度を上昇させる効果をもつ。その結果、 $I - V$ 特性を測定する過程における測定対象物の温度は、通電電流又は印加電圧に応じて変化することになる。このジュール発熱の効果まで含めて、測定対象物の温度が所定の温度に保たれるような能動的制御を実現することが理想である。しかし、ジュール発熱の効果は測定対象物自体に直接に及ぶのに対して、温度制御のための温度センサーは測定対象物の外部に設置されている。そのため、温度センサーによる測定で得られる温度を所定値に合わせるように温度制御しても、測定対象物の温度が電圧又は電流に依存して変化することは避けられず、 $I - V$ 特性の測定に必要な温度範囲の各設定温度において、測定対象物の温度が略一定の状態では $I - V$ 特性を測定することができない。

#### 【0004】

特許文献1に開示されている電流 - 電圧特性測定装置は、電源装置として電圧供給装置を使用して、測定対象物にある一定電圧を印加し続けた状態で、この一定電圧よりも低く、その電圧値が時系列的に変化するパルス電圧を時系列信号として印加し、電流測定装置で、この時系列信号の印加と同期して電流測定を行うものであり、温度によって状態が変化する物質の $I - V$ 特性を、物質の温度を一定に保った状態で測定することを目的としている。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0005】

【特許文献1】特開平6 - 102310号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

しかし、特許文献1に開示されている電源装置では、 $I - V$ 特性を測定する過程で、測定対象物に印加する電圧パルスの波高値が変化するため、電圧を印加するためのリード線や電極等を含めた測定対象物で発生する時間当たりのジュール熱は、 $I - V$ 特性を測定する過程で変動する。このような時間当たりの発熱の変動による測定対象物の温度変動は、正確な $I - V$ 特性の測定が求められるときには問題となる。

#### 【0007】

この問題を無視できる程度に軽減するためには、温度変動をもたらす印加電圧や電圧印加時間幅、即ち電圧パルスの波高値やパルス幅をさらに小さくすることにより、時間当たりのジュール発熱をさらに小さくすればよい。しかし、電圧パルスの波高値は $I - V$ 特性の測定電圧範囲をカバーできる値でなければならぬため、所定の値以上に小さくすることはできない。また、パルス幅も、電流測定装置の時定数の存在により決定される応答時間の経過後に、必要な測定時間を確保しなければならないという理由により、ある一定の時間幅以上の値でなければならない。そのため、時間当たりのジュール発熱の値を下げる

考え方には限界がある。つまり、特許文献 1 に開示されている電源装置で測定対象物の I - V 特性を測定するときには、本質的に測定対象物で発生する時間当たりのジュール熱が測定過程で変動するので、測定対象物の温度変動が避けられず、正確な I - V 特性を測定することは難しい。

【 0 0 0 8 】

電源装置を電流供給装置とし、測定対象物に電流を通電して、電圧測定装置により、応答電圧を測定することにより、I - V 特性を測定する場合においても、電圧測定装置の測定時の応答性の制約があるため、上記と同様の課題が発生する。

【 0 0 0 9 】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、隣り合うパルス信号によりそれぞれ発生する時間当たりのジュール熱を平均した値が、略一定となる時系列パルス信号を出力する電源装置、及び該電源装置を備えた電流 - 電圧特性測定装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明に係る電源装置は、電流又は電圧の 2 系列の時系列パルス信号を出力する電源装置であって、時間  $t$  に対して、 $F(t)$  と  $G(t)$  とは、それぞれの 2 乗の和が一定値になる条件を満たす関数であり、 $t$  を  $t_{2i}$  及び  $t_{2i+1}$  ( $t_{2i} = t_0 + t \times 2i$ 、 $t_{2i+1} = t_0 + t \times (2i+1)$ 、 $i$  は 0 を含む予め定められた範囲の連続する自然数、 $t_0$  は測定開始時間、 $t$  は予め設定された時間幅) としたとき、前記 2 系列の時系列パルス信号のうち、第 1 系列の時系列パルス信号のパルス波高値の絶対値は  $F(t_{2i})$  の絶対値と等しい値であり、前記第 1 系列の時系列パルス信号の各パルスと隣り合う第 2 系列の時系列パルス信号のパルスの波高値の絶対値は  $G(t_{2i+1})$  の絶対値と等しい値であり、前記  $t$  は、 $F(t_{2i})$  の 2 乗と  $G(t_{2i+1})$  の 2 乗との和と、前記一定値との差が、前記  $i$  の値に依らず、予め設定された許容誤差以下になるように予め設定された値である、ことを特徴とする。

20

【 0 0 1 1 】

本発明に係る電流 - 電圧特性測定装置は、前記電源装置と、前記時系列パルス信号を測定対象物の I - V 特性の測定対象箇所に入力したときの該測定対象箇所での電圧降下又は電流を、時系列応答パルス信号として、前記時系列パルス信号に同期して測定し、前記時系列応答パルス信号の各パルスの正味の波高値を出力する応答信号測定部と、を備えることを特徴とする。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

本発明に係る電源装置によれば、電源装置から出力される時系列パルス信号を測定対象物に入力したときに、隣り合うパルス信号により、測定対象物でそれぞれ発生する時間当たりのジュール熱を平均した値が、略一定となる。そのため、時系列パルス信号を入力した測定対象物の温度変動は、従来の電源装置から出力された信号を測定対象物に入力したときよりも、抑えられる。また、そのような電源装置を備えた電流 - 電圧特性の測定装置は、測定対象物の温度を略一定に保つ制御を容易にし、結果として、従来の方式よりも正確な電流 - 電圧特性を測定することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

【図 1】本発明の実施の形態に係る電源装置を備える電流 - 電圧特性測定装置の構成例を示す図である。

【図 2】実施の形態に係る電源装置から測定対象物に入力される時系列信号の基礎となる 2 関数時系列パルスパターンの一例を示す図である。

【図 3】実施の形態に係る電源装置を備える電流 - 電圧特性測定装置の設定・解析部のハードウェア構成例を示す図である。

【図 4】電流 - 電圧特性の説明図で、(A) は測定対象物の電流 - 電圧特性曲線、(B)

50

は測定対象物に入力する電流が正弦波形の場合の例、(C)は(A)に示す電流 - 電圧特性曲線で示される電流 - 電圧特性をもつ測定対象物に(B)に示す正弦波形の電流を入力したときの応答電圧の波形例、をそれぞれ示す図である。

【図5】実施の形態に係る電源装置から測定対象物に入力される時系列電流パルス信号と、時系列応答電圧パルス信号の例を示す図で、(A)は図2の時間軸領域Kに対応する時系列電流パルス信号を時間軸方向に拡大した図、(B)は(A)に対応する時系列応答電圧パルス信号の拡大図である。

【図6】実施の形態に係る電源装置を備える電流 - 電圧特性測定装置による電流 - 電圧特性の測定結果の一例を示す図である。

【図7】実施の形態に係る電源装置から測定対象物に入力される電流パルスの時系列パターンの第1の変形例を示す図である。

【図8】実施の形態に係る電源装置から測定対象物に入力される電流パルスの時系列パターンの第2の変形例を示す図である。

【図9】実施の形態に係る電源装置を備える電流 - 電圧特性測定装置の構成の変形例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

(実施の形態)

図1に本発明の実施の形態に係る電源装置を備える電流 - 電圧特性測定装置の構成例を示す。この電流 - 電圧特性測定装置2は、測定対象物1に電流信号を入力したときの測定対象物1での電圧降下の値を測定して測定対象物1のI - V特性を測定する場合の構成例である。

【0015】

電流 - 電圧特性測定装置2を説明する前に、測定対象物1についてももう少し詳しく説明する。図1では測定対象物1を3つの電気抵抗 $K_1 \sim K_3$ で表している。電気抵抗 $K_1$ はI - V特性を測定する対象となる部位(以下では測定部位 $K_1$ と呼ぶ。)を示す。電気抵抗 $K_2$ は試料 $K_1$ に電流を通電するために測定部位 $K_1$ に設置された一方の電極の抵抗とその電極に接続されたリード線の抵抗とを合わせたものである。電気抵抗 $K_3$ は試料 $K_1$ に電流を通電するために測定部位 $K_1$ に設置された他方の電極の抵抗とその電極に接続されたリード線の抵抗とを合わせたものである。以下では、測定対象物1での電圧降下の値とは、特にことわらない限り、測定部位 $K_1$ での電圧降下の値、即ち測定部位 $K_1$ (電気抵抗 $K_1$ )の両端間の電圧を意味することとする。また、測定対象物1のI - V特性とは測定部位 $K_1$ のI - V特性を意味することとする。

【0016】

リード線及び電極、即ち電気抵抗 $K_2$ 、 $K_3$ は必ずしも測定対象物1を構成するものとは言えないが、測定部位 $K_1$ が超伝導体のような電気抵抗の低い物質のときは、測定部位 $K_1$ 近傍のリード線や電極で発生するジュール熱が測定部位 $K_1$ の温度変動の主因になるため、図1では、これらを表示する電気抵抗 $K_2$ と $K_3$ とを測定対象物1に含めて示した。なお、測定部位 $K_1$ が半導体材料や絶縁材料などの高抵抗の物質であれば、測定対象物1に通電したとき発生するジュール熱は測定部位 $K_1$ によるものが主であるため、測定部位 $K_1$ の温度は、設置環境の温度と、測定部位 $K_1$ で発生するジュール熱とで決定され、リード線や電極で発生するジュール熱の影響は無視して良い。従って、このときは、測定対象物1の温度という観点からは、図1の電気抵抗 $K_2$ 及び $K_3$ を無視することができる。

【0017】

電流 - 電圧特性測定装置2は、測定対象物1に入力するための時系列電流パルス信号を出力する電源装置20と、時系列電流パルス信号が入力されたときの測定対象物1での電圧降下値を測定する電圧測定部21と、時系列電流パルス信号の基礎となるデータを設定し電源装置20に出力すると共に、時系列電流パルス信号の波高値の情報と、電圧測定部21の測定結果とに基づき解析することにより、測定対象物1のI - V特性に関する情報

10

20

30

40

50

を取得する設定・解析部 2 2 と、設定・解析部 2 2 の解析結果を表示する表示部 2 3 とを備える。

【 0 0 1 8 】

図 1 に示す電源装置 2 0 は、電流信号を時系列電流パルス信号の形で出力する電流供給源である。電源装置 2 0 は、時系列電流パルス信号を、測定対象物 1 に供給（入力）するとともに、時系列電流パルス信号の出力の際に、電圧測定部 2 1 に対して同期用のトリガ信号を出力する。また、設定・解析部 2 2 に対して、解析用データとして、出力する時系列電流パルス信号の各パルスの波高値に対応する電流値を出力する。

【 0 0 1 9 】

電源装置 2 0 は、2 関数に基づいて形成された 2 関数時系列パルスパターンを記憶・格納する 2 関数時系列パルスパターン記憶部 2 0 0 と、出力する電気信号の最大振幅値を入力する最大振幅設定部 2 0 1 と、2 関数時系列パルスパターンと最大振幅値とに基づき時系列パルス信号、図 1 の例では時系列電流パルス信号、を生成し出力する時系列パルス信号生成・出力部 2 0 2 とを備える。

【 0 0 2 0 】

2 関数時系列パルスパターン記憶部 2 0 0 は、通常のメモリで構成され、設定・解析部 2 2 から入力された 2 関数時系列パルスパターンを記憶・格納する。2 関数時系列パルスパターンは、時系列電流パルス信号生成用の基礎データとして、時系列信号生成・出力部 2 0 2 で使用される。2 関数時系列パルスパターンとは、時間を示す変数を  $t$  としたとき、関数  $f(t)$  と関数  $g(t)$  の 2 つの関数に基づいて形成されたパルスの時系列パターンのことである。この関数  $f(t)$  と関数  $g(t)$  とは、時間  $t$  におけるそれぞれの関数の 2 乗の和が、一定値になるような関数の対である。

【 0 0 2 1 】

図 2 は、具体例として、 $f(t)$  を余弦関数、 $g(t)$  を正弦関数としたときの、2 関数時系列パルスパターンの概念を示す図である。 $f(t)$  と  $g(t)$  とは、同一振幅 1、同一周期  $T$  及び同一位相を有する。このとき、 $f(t)$  と  $g(t)$  のそれぞれを 2 乗して加えると、 $t$  の値に依らず一定の値 1 になる。図 2 に示すように、2 関数時系列パルスパターンは、時間軸  $t$  を複数のセクションに分割し、各セクション毎に、そのセクションを代表する  $t$  の値に対する  $f(t)$  と  $g(t)$  の値を交互に取得して一定のパルス幅と一定の相互間隔を有する時系列のパルスパターンとしたものである。即ち 2 関数時系列パルスパターンは、その包絡線が関数  $f(t)$  となる第 1 の時系列パルスパターンとその包絡線が関数  $g(t)$  となる第 2 の時系列パルスパターンとで構成される。第 1 の時系列パルスパターンの各パルスと第 2 の時系列パルスパターンの各パルスとは互いに交互に配置されている。通常、パルス幅は 5 - 1 0 0 m s（より好ましくは 5 - 5 0 m s）、相互間隔はパルス幅と同程度以上である。この 2 関数時系列パルスパターンの詳細については後述する。

【 0 0 2 2 】

なお、ここでは、2 関数時系列パルスパターン記憶部 2 0 0 は、 $f(t)$  として余弦関数、 $g(t)$  として正弦関数を使用し生成された 2 関数時系列パルスパターンを記憶・格納している例について説明したが、2 乗の和が一定となる 2 関数であれば、他の 2 関数に基づいて生成された 2 関数時系列パルスパターンを記憶・格納してもよい。

【 0 0 2 3 】

最大振幅設定部 2 0 1 は、電源装置 2 0 の入力部（図示省略）を介して、時系列電流パルス信号の最大振幅値  $I_0$  が入力され、入力された最大振幅値  $I_0$  を時系列パルス信号生成・出力部 2 0 2 に出力する。このときの最大振幅値  $I_0$  の値は測定対象物 1 での電圧降下値を測定する電圧測定部の測定限界、測定対象物 1 の、生じうる温度上昇、特性変化及び測定対象物 1 の通電電流値に関する破壊限界などを考慮して予め決定されたものである。電源装置 2 0 の入力部の入力方式はダイヤル、キーボード等のいずれの方式でもよい。

【 0 0 2 4 】

時系列信号生成・出力部 2 0 2 は、2 関数時系列パルスパターン記憶部 2 0 0 から読み

10

20

30

40

50

出した 2 関数時系列パルスパターンと最大振幅値  $I_0$  とに基づき（通常は、2 関数時系列パルスパターンに最大振幅値  $I_0$  を乗じて）時系列電流パルス信号を生成し、測定対象物 1 に出力するとともに、この出力時に同期用のトリガ信号を電圧測定部 2 1 に出力する。また、出力する時系列電流パルス信号の各電流パルスの波高値、即ち電流値を時系列データとして設定・解析部 2 2 に出力する。なお、 $F(t) = I_0 \times f(t)$ 、 $G(t) = I_0 \times g(t)$  とすると、時系列電流パルス信号は、時間軸  $t$  を複数のセクションに分割し、各セクション毎に、そのセクションを代表する  $t$  の値に対する  $F(t)$  と  $G(t)$  の値を交互に取得してそれぞれを波高値とし、一定のパルス幅を有するパルスが一定の相互間隔で時系列に配置されて形成された時系列信号と言える。

#### 【0025】

電圧測定部 2 1 は、測定対象物 1 の電圧降下値を測定する装置であり、具体的には、時系列信号生成・出力部 2 0 2 から出力されるトリガ信号により、時系列電流パルス信号に同期して、測定部位  $K_1$  の両端間の電圧を測定する。この電圧は、測定対象物 1 に入力される時系列電流パルス信号に対応して時系列応答電圧パルス信号として測定され、電圧測定部 2 1 は、その信号から信号のドリフト成分をオフセットとして除き、正味のパルス波高値を求めて、これを出力する。具体的な正味のパルス波高値の導出については後述する。

#### 【0026】

設定・解析部 2 2 は、ハードウェアとしては図 3 に示すように CPU 3 0 0、内部メモリ 3 1 0、外部メモリ 3 2 0、入力部 3 3 0、出力部 3 4 0、及びこれらをつなぐバスライン 3 5 0 で構成されており、機能的には、図 1 に示すように 2 関数時系列パルスパターン設定部 2 2 0 と解析部 2 2 1 とを備える。外部メモリ 3 2 0 にはプログラムが記憶されており、これを読み出して CPU 3 0 0 で実行することにより 2 関数時系列パルスパターン設定部 2 2 0 及び解析部 2 2 1 の機能が実現される。

#### 【0027】

2 関数時系列パルスパターン設定部 2 2 0 は、時系列電流パルス信号生成用の基本データである 2 関数時系列パルスパターンを設定し、出力部 3 4 0 を介して電源装置 2 0 に出力する。2 関数時系列パルスパターン設定部 2 2 0 は、入力部 3 3 0 を介して入力されたそれぞれの 2 乗の和が一定値になる関数  $f(t)$ 、 $g(t)$  から、CPU 3 0 0 及び内部メモリ 3 1 0 を介して 2 関数時系列パルスパターンを生成する。

#### 【0028】

次に解析部 2 2 1 について説明する。解析部 2 2 1 は、時系列パルス信号生成・出力部 2 0 2 から入力部 3 3 0 を介して受信した時系列電流パルス信号の各電流パルスの波高値である電流値、及び電圧測定部 2 1 から入力部 3 3 0 を介して受信した時系列応答電圧パルス信号の各電圧パルスの正味のパルス波高値である電圧値に基づき、CPU 3 0 0 と内部メモリ 3 1 0 を介して、解析等により  $I-V$  特性の情報を生成する。 $I-V$  特性の情報は測定対象物 1 に通電した電流  $I$  とその電流による測定対象物 1 での電圧降下値、即ち測定箇所  $K_1$ （電気抵抗  $K_1$ ）の両端間の電圧  $V$  との関係を示す情報のことである。また、解析部 2 2 1 は、生成した  $I-V$  特性の情報を、出力部 3 4 0 を介して表示部 2 3 に出力する。

#### 【0029】

$I-V$  特性を図 4 に模式的に示す。図 4 (A) は  $I-V$  特性を  $I-V$  特性曲線の形で示したものである。図 4 (B) は測定対象物 1 に入力する電流  $I$  の時間変化を示す。図 4 (B) の例は電流  $I$  が正弦波に従って時間変化する例である。時系列電流パルス信号については、正弦関数で表される  $G(t)$  に基づいて生成した波高値のみの包絡線に対応する。図 4 (C) は図 4 (B) に示す電流  $I$  を測定対象物 1 に入力したときの測定対象物 1 での電圧降下値である電圧  $V$  の時間変化を示す。時系列応答電圧パルス信号については、 $G(t)$  に対応した時系列電流パルス信号の波高値に対応した時系列応答電圧パルス信号の各電圧パルスの正味のパルス波高値の包絡線のみを示したものである。

#### 【0030】

10

20

30

40

50

I - V 特性曲線は、電圧 V を電流 I の関数としたとき、V を I でテイラー展開したときの各項の係数によって特性が表現される。V は、通常、I の奇数項のみで表され、簡単な例として、I の 1 次と 3 次の項だけで V を表すと、式 ( 1 ) のようになる。

$$V ( I ) = R_0 \times I + R_2 \times I^3 \quad ( 1 )$$

$R_0$  ; 線型抵抗

$R_2$  ; 非線形抵抗

#### 【 0 0 3 1 】

解析部 2 2 1 は、時系列電流パルス信号の  $G ( t )$  に対応したパルス波高値とこれに対応した時系列応答電圧パルス信号のパルス波高値から、式 ( 1 ) の  $R_0$  と  $R_2$  とを求める。式 ( 1 ) と  $R_0$  と  $R_2$  の値は I - V 特性の情報に含まれ得る。 $R_0$  と  $R_2$  とを求める方法にはフーリエ解析手法など各種の既知の方法があり、どのような方法で  $R_0$  と  $R_2$  を求めても良い。なお、 $R_0$  と  $R_2$  とを求めることは、通常的手法では、数値微分演算あるいは差分演算を行うことに相当する。測定データには必ずノイズ成分が重畳しているため、数値微分演算あるいは差分演算を行うとノイズの影響が大きくなり有意な解析結果が得られないことが多い。しかし、入力データを波形としてとらえてこれにフーリエ解析を適用すると、ノイズの影響の小さい状態で  $R_0$  と  $R_2$  とを求めることができる。このフーリエ解析は、基本的には積分操作であるため、ノイズの影響が低減されるからである。フーリエ解析を適用する場合は、使用する電流、電圧の測定データは 1 周期分のデータを使用する。また、 $f ( t )$ 、 $g ( t )$  はそれぞれ余弦関数、正弦関数であることが好ましい。

10

#### 【 0 0 3 2 】

なお、解析部 2 2 1 は、多項式フィッティングの手法により、式 ( 1 ) の形で I - V 特性を求めてもよい。また、I - V 特性を必ずしも式 ( 1 ) の形で求めなくてもよく、単に電流値とこれに対応する応答電圧値を表形式又はグラフで表示したものと生成してもよい。いずれの場合にも、測定対象物 1 に入力する時系列電流パルス信号の全てのパルス波高値と対応する正味の応答パルス波高値を I - V 特性の把握に活用することができ、測定対象物 1 に入力する信号に無駄がないという利点がある。

20

#### 【 0 0 3 3 】

フーリエ解析を実行する場合にも、工夫することにより、測定対象物 1 に入力する時系列電流パルス信号の全てのパルス波高値と対応する正味の応答パルス波高値を I - V 特性の把握に活用することができる。その方法は、包絡線が  $f ( t )$  になる第 1 の時系列パルスパターンに対応した時系列電流パルス信号、即ち  $F ( t )$  に対応した時系列電流パルス信号のパルス波高値の位相を、包絡線が  $g ( t )$  になる第 2 の時系列パルスパターンに対応した時系列電流パルス信号、即ち  $G ( t )$  に対応した時系列電流パルス信号のパルス波高値の位相に対して 90 度遅らせる、即ち時間軸上で  $T / 4$  だけシフトする。この位相シフトにより、第 1 の時系列パルスパターンに対応した時系列電流パルス信号の包絡線は正弦波となる。その結果、時系列電流パルス信号はその包絡線が  $G ( t )$  であったと見なすことができる。時系列応答電圧パルス信号に対応して求めた正味の応答パルス波高値についても同様の位相シフト処理を行う。この処理により得られた電流値及び応答電圧値の時系列データを波形情報と見なしてフーリエ解析を行う。これにより、フーリエ解析より I - V 特性を求める場合においても、測定対象物 1 に入力する時系列電流パルス信号の全てのパルス波高値と対応する正味の応答パルス波高値とを活用することができる。

30

40

#### 【 0 0 3 4 】

表示部 2 3 は、プリンタ、ディスプレイ装置等の出力装置で構成され、設定解析部 2 2 で得られる測定対象物 1 の I - V 特性の情報を出力することにより表示する。

#### 【 0 0 3 5 】

本実施の形態に係る電源装置 2 0 を備えた電流 - 電圧特性測定装置 2 の動作について説明する。

#### 【 0 0 3 6 】

電源装置 2 0 の時系列パルス信号生成・出力部 2 0 2 は、2 関数時系列パルスパターン記憶部 2 0 0 に記憶されている 2 関数時系列パルスパターンを読み出す。この 2 関数時系

50



列パルスパターンのデータは設定・解析部 2 2 の 2 関数時系列パルスパターン設定部 2 2 0 で既に説明した方法で生成されて出力され、電源装置 2 0 に入力され記憶されたものである。また、最大振幅設定部 2 0 1 は、外部から入力された値を最大振幅値として設定する。時系列パルス信号生成・出力部 2 0 2 は、2 関数時系列パルスパターンと最大振幅値  $I_0$  とに基づき最大振幅値  $I_0$  の時系列電流パルス信号を生成し、測定対象物 1 に出力するとともに、出力の際に同期用の信号としてトリガ信号を電圧測定部 2 1 に出力する。また、時系列電流パルス信号の各パルスの波高値を時系列情報として設定・解析部 2 2 の解析部 2 2 1 に出力する。

【 0 0 3 7 】

電源装置 2 0 から測定対象物 1 に時系列電流パルス信号が出力され、トリガ信号が電圧測定部 2 1 に入力されると、電圧測定部 2 1 は、測定対象物 1 での電圧降下を、時系列応答電圧パルス信号の各応答電圧パルスの正味のパルス波高値という形で測定し、解析部 2 2 1 に出力する。

10

【 0 0 3 8 】

解析部 2 2 1 は、電源装置 2 0 から入力した時系列電流パルス信号の各パルスの波高値及びこれに対応して電圧測定部 2 1 から入力した時系列応答電圧パルス信号の各応答電圧パルスの正味のパルス波高値に基づき  $I - V$  特性の情報を求め、その結果を表示部 2 3 に出力する。表示部 2 3 は解析部 2 2 1 から入力した解析結果を表示する。

【 0 0 3 9 】

設定・解析部 2 2 の 2 関数時系列パルスパターン設定部 2 2 0 は、外部から入力された 2 関数  $f(t)$  と  $g(t)$  に基づき 2 関数時系列パルスパターンのデータを生成し、電源装置 2 0 に出力する。電源装置 2 0 はこのデータを 2 関数時系列パルスパターン記憶部 2 0 0 に格納する。

20

【 0 0 4 0 】

2 関数時系列パルスパターンを、それぞれの 2 乗の和が一定値になる 2 つの関数  $f(t)$  と  $g(t)$  にそれぞれ基づいて生成される 2 系列の関数時系列パルスパターン、すなわち関数  $f(t)$  に基づき生成された第 1 の時系列パルスパターンと、関数  $g(t)$  に基づき生成された第 2 の時系列パルスパターンとで構成するのは次の理由による。2 関数時系列パルスパターンに  $I_0$  を乗じて生成する時系列電流パルス信号は、 $f(t)$ 、 $g(t)$  にそれぞれ  $I_0$  を乗じた  $F(t)$  と  $G(t)$  とに基づいて生成されたと見なすことができる。従って、2 つの関数  $f(t)$ 、 $g(t)$  の 2 乗の和が  $t$  によらず一定値になれば、 $F(t)$  と  $G(t)$  も、それぞれの 2 乗の和が  $t$  によらず一定値となる。時系列電流パルス信号の各電流パルスの波高値を  $F(t)$  と  $G(t)$  から交互に選択して設定すると、隣り合う電流パルスの時間間隔が小さくなるに従って、それぞれの波高値の 2 乗、即ち電流値の 2 乗の和が時間に依らず略一定になる。ジュール熱は電流の 2 乗に比例するので、上記のように設定された時系列電流パルス信号を測定対象物 1 に入力した場合、隣り合う電流パルスにより測定対象物 1 で発生するジュール熱を平均した値は、時間  $t$  に依らず、即ち、 $I - V$  特性の測定のために電流を変化させる過程において略一定になる。そのため、測定対象物 1 の温度が電流に相関して系統的に変動することを原理的に防止することができる。

30

40

【 0 0 4 1 】

2 関数時系列パルスパターンは、その波高値以外は、時系列電流パルス信号のパターンと同じである。従って、以下では、図 5 に基づき、時系列応答電圧パルス信号と対比させつつ、時系列電流パルス信号の詳細について説明する。

【 0 0 4 2 】

図 5 ( A ) は、図 2 の時間軸の領域  $K$  に含まれる 2 系列の関数時系列パルスパターンに対応した時系列電流パルス信号の拡大図を示す。時系列電流パルス信号と関数  $f(t)$  及び関数  $g(t)$  との関係を明示するために、関数  $f(t)$  及び関数  $g(t)$  にそれぞれ  $I_0$  を乗じた関数  $F(t)$  及び関数  $G(t)$  を破線で示した。図 5 ( B ) は図 5 ( A ) と時間軸を揃えて、図 5 ( A ) に示す時系列電流パルス信号に対応した測定部位  $K_1$  の時系列

50

応答電圧パルス信号の測定例を示したものである。

【0043】

時系列電流パルス信号は、 $t$ の時間間隔で並ぶパルス信号の列である。各パルスは、時間幅（パルス幅） $t_p$ と、 $F(t)$ 又は $G(t)$ に基づいて設定された波高値とを有し、隣り合うパルスの間には時間幅 $W$ の波高値0の区間が存在する。 $t = t_p + W$ である。

【0044】

各パルスの波高値は、次のように $F(t)$ と $G(t)$ とを交互に選択して設定されている。 $t_0$ は測定開始時点、 $i$ は0を含む連続する自然数で上限 $i_n$ 、時間 $t$ に対して、 $t_{2i} = t_0 + t \times 2i$ 、及び $t_{2i+1} = t_0 + t \times (2i+1)$ と定義したとき、  
 図5(A)にA点、B点で示すように、時系列電流パルス信号の隣り合うパルスの波高値は、各 $i$ に対して、それぞれ $F(t_{2i})$ と $G(t_{2i+1})$ に等しく設定されている。  
 $2i$ 及び $2i+1$ はパルス間の時間間隔 $t$ 、換言すれば区間幅 $t$ で時間軸を分割したときの、それぞれ偶数番目と奇数番目の区間を示し、それぞれの区間を代表する時間が $t_{2i}$ 及び $t_{2i+1}$ である。即ち、偶数番目の区間の波高値は $F(t)$ に従って設定され、奇数番目の区間の波高値は $G(t)$ に従って設定されている。図5(A)の偶数番目の区間に対応するパルスの波高値を示すA点及びC点は、それぞれ $F(t_{2i})$ 及び $F(t_{2(i+1)})$ の値であり、奇数番目の区間に対応するパルスの波高値を示すB点は、 $G(t_{2i+1})$ の値である。即ち、時系列電流パルス信号は、波高値の包絡線が $F(t)$ で表わされる第1の時系列電流パルス信号と、波高値の包絡線が $G(t)$ で表わされる第2の時系列電流パルス信号とを有する、2つの系列の信号で構成されているとすることができる。もちろん $F(t)$ と $G(t)$ の波高値選定の順序が逆であっても良い。

10

20

【0045】

なお、図5(A)では、 $F(t)$ と $G(t)$ の値を取得するA、B、C点等のポイントは、各パルス幅の midpoint に位置しているが、これに限定されない。A、B、C点等がそれぞれに対応するパルスのパルス幅 $t_p$ の範囲内に位置していればよい。

【0046】

パルス幅 $t_p$ とパルス間の時間幅 $W$ を決めるためには、時系列応答電圧パルス信号のパルス波形を考慮する必要がある。時系列応答電圧パルス信号のパルス幅は、図5(B)に示すように、時系列電流パルス信号のパルス幅 $t_p$ と同じである。また、図5(B)に示すパルス波形がその立ち上がり、立ち下がり部において、図5(A)に示すパルスの立ち上がり部及び立ち下がり部のように急峻な直線形状ではなく、なまった形状を示すのは、電圧測定部21が、時定数による応答時間 $t_r$ を有しているためである。なお、時系列電流パルス信号に対して時系列応答電圧パルス信号は時間遅れが発生する場合があるが、この時間遅れは予め把握でき、時間軸上の平行移動にしかならないため、図5ではこれを無視して表示した。

30

【0047】

時系列電流パルス信号のパルス幅とこれに対応する時系列電圧パルス信号のパルス幅は同じ値であることから、 $t_p$ 及び $W$ の値は、電圧測定部21による測定が、次の条件下で実行できるように設定されている。電圧測定部21による測定時間 $t_m$ を要するパルス領域での測定は、パルス信号の立ち上がりのときから応答時間 $t_r$ を経過した後に、且つ電圧パルス信号の立ち下がり開始のとき、即ちパルス信号の立ち上がり開始のときから $t_p$ の時間内で実行されなければならない。また、隣り合うパルス間の部位、すなわちオフセット領域での電圧測定部21による測定時間 $t_m$ を要する測定は、パルス信号の立ち下がり開始のときから応答時間 $t_r$ を経過した後に、且つ電圧パルスの立ち上がり開始のときまでに、即ちパルス信号の立ち下がり開始のときから $W$ の時間内で実行されなければならない。これらの条件を満たす $t_p$ 及び $W$ は、次式(2)(3)で表すことができる。 $t_r$ 、 $t_m$ は、電圧測定部21が決まれば、既知の値として設定することができるので、 $t_p$ 及び $W$ の値は、それぞれ、式(2)及び(3)に従って設定される。

40

50

$$t_p \quad t_r + t_m \quad (2)$$

$$W \quad t_r + t_m \quad (3)$$

$t_p$  及び  $W$  は、式 (2) (3) の右辺にそれぞれ所定の時間マージンを加えた時間幅に設定されていてもよい。また、 $t = t_p + W$  なので、 $t_p$  及び  $W$  は、 $t$  をどのように設定するかについても考慮して設定される。

【0048】

2 関数時系列パルスパターンについては  $F(t)$ 、 $G(t)$  をそれぞれ  $f(t)$ 、 $g(t)$  に置き換えれば上記説明がそのまま成り立つ。

【0049】

2 関数時系列パルスパターンの各パルスの間隔  $t$  の設定について説明する。本発明では、2 関数として、それぞれの二乗の和が時間  $t$  に依存せず一定値  $H$  になるような  $f(t)$  と  $g(t)$  を選定する。図 2 及び図 5 (A) に示す例では一定値  $H$  は「1」である。既に説明したように、2 乗和が一定値  $H$  となるためには、 $t$  は、厳密には 2 関数において同じ値でなければならない。

10

【0050】

しかし、図 5 (A) に示す  $F(t)$ 、 $G(t)$  ( $f(t)$ 、 $g(t)$  に比例) からわかるように、 $f(t)$  と  $g(t)$  とは互いに  $t$  の値が  $t$  だけことなる位置での値、即ち  $f(t_{2i})$  と  $g(t_{2i+1})$  ( $t_{2i+1} - t_{2i} = t$ 、 $i; 0$  を含む連続する自然数で、予め設定された上限値までの値) とでパルス波高値が設定されている。 $f(t_{2i})^2$  と  $g(t_{2i+1})^2$  とを加えた値  $J(i)$  は、通常、 $t$  と  $i$  とに依存して変化し、 $i$  の値に依らず一定値になるということはない。

20

【0051】

しかし、 $f(t)$  と  $g(t)$  とが互いの 2 乗の和が一定となるように選定されていれば、 $t$  が小さくなるにつれて  $J(i)$  の  $i$  に依存する変化の程度、即ち時間に依存する変化の程度は小さくなり、略一定値と見なすことができるようになる。略一定値と見なすことができるかどうかの判断基準は、測定対象物 1 の許容される温度変化に対応したジュール発熱の許容時間変化で決められる。ジュール発熱は電流の 2 乗に比例するため、ジュール発熱の許容時間変化から  $J(i)$  の許容される変動値が算定でき、算定された値が略一定に関する判断基準となる。 $J(i)$  の変動値は、 $J(i)$  の値の一定値 (図 2 に示す例では「1」) に対する誤差に依存して大きくなる。 $J(i)$  の許容される変動値の一定値に対する誤差  $t_h$  を閾値誤差又は許容誤差とすると、 $t$  は、 $J(i)$  の値と一定値との差異が許容誤差  $t_h$  以下になるように設定される。すなわち、 $t = t_h$  のときの  $t$  を  $t_{max}$  とすると、2 乗和が略一定と見なせる  $t$  は  $t_{max}$  以下の値に設定されればよい。 $t$  は式 (1)、(2) から得られる  $t_p$  と  $W$  の和よりも大きい値であり、且つ  $t_{max}$  以下の値という条件を満たすものであればどのような値であってもよい。以上の条件を考慮した結果、 $t_p$  及び  $W$  は、通常、測定時間、測定対象物の温度などを考慮して、それぞれ 5 - 100 ms 程度 (より好ましくは 5 - 50 ms 程度) に設定される。

30

【0052】

2 関数時系列パルスパターンの時間範囲  $T$  について説明する。この時間範囲  $T$  は、 $s$  最大振幅値  $I_0$  設定後の時系列電流パルス信号の振幅値が、測定対象物 1 の  $I-V$  特性の情報を取得するために必要な電流値がカバーできる時間範囲に設定される。時系列電流パルス信号の設定で説明した  $i$  の値は、このように設定された時間範囲に対応してその最大値が設定される。図 2 に示す時間範囲  $T$  は、 $f(t) = \cos(2\pi t/T)$ 、 $g(t) = \sin(2\pi t/T)$  のとき時間  $t = 0$  から 1 周期  $T$  までの時間範囲を示している。設定・解析部 22 でフーリエ解析を行う場合は、使用されるデータは周期関数に対応していて、少なくともその一周分が必要なので  $f(t)$ 、 $g(t)$  を周期  $T'$  の関数とすると、 $T = n \times T'$  ( $n =$  自然数) とする。

40

【0053】

電圧測定部 21 による正味の電圧パルス波高値の算定方法について、図 5 (B) を利用

50

して説明する。時系列応答電圧パルス信号の各パルスの波高値は、それぞれ測定時間  $t_m$  で測定されるが、測定結果は、この測定時間を代表する点における波高値であるとする。図5(B)では代表点は、例えば、各パルスにおける測定時間の中点である  $t_m/2$  の時点(a、b、c点等で表示)とする。時系列応答電圧パルス信号のドリフト成分はオフセット領域での波高値で示されているので、ドリフト成分の測定は、図5(B)に示すように、a、b、c点等の両側に、それぞれ時間  $t_s$  離れた時間位置を中心に測定時間  $t_m$  で実行される。図5(B)ではb点の両側の時間位置はd点とe点とで示されている。なお、オフセット領域の波高値の測定時間はパルス波高値の測定時間  $t_m$  と異なる値であってもよい。

#### 【0054】

b点を例に、対応する正味のパルス波高値  $V_x$  の算定方法を説明する。電圧測定部21は、パルス波高値測定の代表点b、オフセット領域の波高値測定の代表点d、e点のそれぞれの測定値  $V_b$ 、 $V_d$ 、 $V_e$  を測定により取得する。電圧測定部21は、b点でのドリフト成分  $V_y$  を  $(V_d + V_e)/2$  に略等しいとして算定し、b点に対応する正味のパルス波高値  $V_x$  を、 $V_b$  から  $V_y$  を除去することにより得る。この方法は3点法と呼ばれ、市販の電圧測定装置で利用される方法である。

#### 【0055】

図6に、高温超伝導体  $YBa_2Cu_4O_8$  の焼結体を、測定対象物1を構成する試料、即ち測定部位  $K_1$  として、上記の電流-電圧特性測定装置2で測定対象物1のI-V特性を測定した例を示す。この例は式(1)を求めてはならず、測定対象物1の設置環境の温度をパラメータとして、測定対象物1に入力した電流値と測定部位  $K_1$  の両端間の電圧を応答電圧値とをプロットしたものである。このような表示から、各温度毎のI-V特性のデータのばらつきの程度がわかる。ばらつきの程度が大きいほど測定対象物1の温度変動が大きいことになる。設置環境の温度は23.50K、27.40K、29.50K、及び31.40Kである。相互の温度差は約2Kから3Kという小さなものであるが、各温度での測定部位  $K_1$  のI-V特性データのばらつきは小さく、相互のデータは良く識別できることがわかる。この結果から、本実施の形態に係る電源装置20を備える電流-電圧特性測定装置2によれば、測定対象物1の測定部位  $K_1$  のI-V特性をより高精度に求めることが可能となることが実証できた。従って、本実施の形態に係る電源装置20を使用すれば、測定対象物1の温度変化は、図6に示す程度に高精度にI-V特性を測定できるほど小さくなることがわかる。

#### 【0056】

このように、本実施の形態に係る電源装置20は、それぞれの2乗の和が一定値になるような関数  $F(t)$  と  $G(t)$  に基づき、時系列電流パルス信号を生成し、出力するので、電源装置20によれば、その出力信号を測定対象物1に入力したとき、隣り合う電流パルスにより測定対象物1で発生するジュール熱を平均した値を略一定に抑えることができる。更に、この電源装置20を備えた電流-電圧特性測定装置2によれば、測定中の測定対象物1の温度変化を従来よりも小さくすることができるため、測定対象物1の測定部位  $K_1$  のI-V特性をより高精度に求めることが可能となる。

#### 【0057】

これまでの説明では、 $f(t)$  を余弦関数、 $g(t)$  を正弦関数として生成した2関数時系列パルスパターンについて説明したが、 $f(t)$ 、 $g(t)$  は図7に示す関数であってもよい。図7に示す例は、2関数時系列パルスパターンの第1の変形例である。このときの2関数は、時間範囲、又は周期を  $T$  としたとき、 $f(t) = 2t/T - 1$ 、 $g(t) = \text{SQR}(1 - (2t/T - 1)^2)$  である。即ち  $t = 0 - T$  の時間範囲で、 $f(t)$  は  $T/2$  で負から正にゼロクロスする直線関数、 $g(t)$  は、その中心が時間軸上の  $T/2$  の位置にあり、時間軸方向の軸長が  $T$ 、 $g(t)$  方向の軸長が2の楕円を表す式の正の部分を表す関数である。このような関数  $f(t)$ 、 $g(t)$  の場合もそれぞれの2乗の和は  $t$  によらず一定値になる。

#### 【0058】

10

20

30

40

50

このときは、解析部 2 2 1 でフーリエ解析に使用されるデータは直線関数に対応した電流パルス波高値とそれに対応した正味の電圧パルス波高値のデータである。その理由は、 $I - V$  特性は正負の両値に対して必要とされるためである。この場合も、関数形が異なる以外は、これまでの説明内容はそのまま成立し、電源装置 2 0、及びこれを備えた電流 - 電圧特性測定装置 2 は、これまで説明した効果と同じ効果を奏する。

#### 【 0 0 5 9 】

解析部 2 2 1 は、多項式フィッティングの手法により、式 ( 1 ) の形で  $I - V$  特性を求めてもよい。また、 $I - V$  特性を必ずしも式 ( 1 ) の形で求めなくてもよく、単に電流値とこれに対応する応答電圧値を表形式又はグラフで表示したものとして生成してもよい。このときは、測定対象物 1 に入力する時系列電流パルス信号の全てのパルス波高値と、これに対応する正味の応答電圧パルス波高値を  $I - V$  特性の把握に活用することができ、無駄がないという利点がある。

10

#### 【 0 0 6 0 】

図 7 の縦軸の絶対値の最大値は 1 であるが、これに限定されない。任意の値  $I_a$  に設定してもよい。ただし、このときは、時系列電流パルス信号の最大値が最大振幅設定部 2 0 1 で設定した  $I_0$  に等しくなるように、時系列電流パルス信号を生成するとき 2 関数時系列パルスパターンに乗じる値は  $I_0$  ではなく、 $I_0 / I_a$  とする。

#### 【 0 0 6 1 】

2 関数時系列パルスパターンの第 2 の変形例を図 8 に示す。このときの  $f ( t )$  は余弦関数であるという点はこれまで説明した  $f ( t )$  が余弦関数の場合と同じである。しかし、2 関数時系列パルスパターンの生成に使用する  $f ( t )$  の時間範囲が周期  $T$  の  $1 / 2$  である点が異なる。更に、 $g ( t )$  については、 $f ( t )$  と同一周期  $T$  で振幅と位相が同じ正弦関数であって、2 関数時系列パルスパターンの生成に使用する  $g ( t )$  の時間範囲が周期  $T$  の  $1 / 2$  であり、 $t$  が  $T / 4$  から  $T / 2$  までの範囲で符号を反転させた関数とする。図 8 に示す 2 関数時系列パルスパターンは、このような  $f ( t )$  と  $g ( t )$  に基づき、これまでと同様に生成されたものである。この場合も  $f ( t )$  の 2 乗と  $g ( t )$  の 2 乗の和は一定になる。

20

#### 【 0 0 6 2 】

解析部 2 2 1 は、 $I - V$  特性を式 ( 1 ) の形で求める場合は、不連続関数である  $g ( t )$  に対応したデータの位相を変換して  $f ( t )$  に対応したデータと合成する。これにより合成したデータを連続した 1 関数の 1 周期分のデータとする。即ち、 $g ( t )$  に対応した時系列電流パルス信号の電流パルス波高値と、これに対応した時系列応答電圧パルス信号の正味の電圧パルス波高値のそれぞれの  $t = 0$  から  $T / 4$  迄のデータの位相を  $- 90$  度に相当する  $- T / 4$  だけ時間軸上でずらし、また、 $t = T / 4$  から  $T / 2$  までの対応するデータの位相を  $+ 90$  度に相当する  $+ T / 4$  だけ時間軸上でずらして、 $f ( t )$  に対応した時系列電流パルス信号の電流パルス波高値と、これに対応した時系列応答電圧パルス信号の正味の電圧パルス波高値にそれぞれつないで合成する。これにより、一周分の一つの正弦関数に対応した時系列電流パルス信号の電流パルス波高値と、これに対応した時系列応答電圧パルス信号の正味の電圧パルス波高値とが測定データとして得られることになる。

30

40

#### 【 0 0 6 3 】

解析部 2 2 1 は、この合成して生成した 1 周期分のデータに対してフーリエ解析を適用し、式 ( 1 ) による  $I - V$  特性の情報を得ることができる。この手法に依れば時系列電流パルス信号を全て活用することができるため無駄がないという効果がある。更に、データの測定時間が  $T / 2$  で済むため測定の効率化を図ることができる。

#### 【 0 0 6 4 】

解析部 2 2 1 で、 $I - V$  特性を、式 ( 1 ) の形ではなく、電流値とこれに対応する応答電圧値とを表形式又はグラフで表示したものとして生成する場合も、時系列電流パルス信号を全て活用することができるため無駄がなく、データの測定時間が  $T / 2$  で済むため測定の短時間化を図ることができる。また、図 8 からわかるように短時間で測定対象物 1 に

50

入力される電流の符号が正負バランス良く得られるので、その意味で I - V 特性を短時間で精度良く取得できる。

【0065】

f ( t ) と g ( t ) とから、一方の他方に対する位相をシフトして、一つの周期関数を合成するという方法は、上記の具体例以外にいろいろな方法が考えられるが、いずれの方法でも同様な効果を得ることができる。

【0066】

2 関数時系列パルスパターンはそれぞれの 2 乗の和が一定になる関数 f ( t ) と g ( t ) とに基づき形生成されたものとしたが、関数 g ( t ) の位相を t だけシフトした関数 g ' ( t ) を  $g' ( t ) = g ( t - t )$  として定義し、2 関数時系列パルスパターンは関数 f ( t ) と g ' ( t ) とに基づきこれまでと同様な方法で生成されたものとしても良い。なお、時系列電流パルス信号については、f ( t )、g ' ( t ) にそれぞれ I<sub>0</sub> を乗じて得られる F ( t )、G ' ( t ) とに基づいて時系列電流パルス信号が生成されたことを見なしても良い。

10

【0067】

時系列電流パルス信号が F ( t ) と G ( t ) に基づいて生成されたときは、隣り合うパルスの代表時間 t が t ずれることにより 2 乗和の対象となるパルスの同時性が失われること、及び同時性のずれの分、当該パルスの波高値の同時性がなくなる、即ち値が異なってしまうことにより、2 乗和が、時間に依らない一定値からの誤差を含むものになるということは既に説明した通りである。時系列電流パルス信号が F ( t ) と G ' ( t ) に基づいて生成されたときは、隣り合うパルスの代表時間 t が t ずれることにより 2 乗和の対象となる値自体は同時性が担保されることになる。従ってその分の誤差は低減するので、このような時系列電流パルス信号を出力する電源装置 20 によれば、出力先の測定対象物 1 において、出力される時系列電流パルス信号の隣合う 2 パルスにより発生するジュール熱を平均した値の一定性はこれまで説明したケースに比べて更に改善される。このような電源装置 20 を備えた電流 - 電圧特性測定装置によれば、測定対象物 1 の I - V 特性の測定の高精度化も更に改善される。

20

【0068】

2 関数時系列パルスパターンの第 4 の変形例 ( 図示せず ) は、2 関数時系列パルスパターンの隣り合う各パルスの波高値の絶対値は、f ( t ) の絶対値と g ( t ) の絶対値に基づき交互に設定され、その符号は正負のどちらでも自由に設定されたものとする。これは 2 関数時系列パルスパターンの生成においては依拠する 2 関数の 2 乗の和が問題となるだけであり、2 乗するとその符号は無関係となるためである。ただし、I - V 特性の測定には正負の電流を測定対象物 1 に入力する必要があるため、その点を考慮した 2 関数時系列パルスパターンとする必要がある。上記、第 2 の変形例は、この第 3 の変形例の特殊なケースとみてもよい。このような 2 関数時系列パルスパターンのときは、第 2 の変形例のように周期関数を合成する場合以外は、通常は、解析部 221 はフーリエ解析以外の方法で I - V 特性の情報を取得する。このときもこれまでと同様に、測定対象物 1 での温度の時間変動は無視できるようになり、I - V 特性の測定精度が向上する。

30

【0069】

これまでは、測定対象物 1 に電流を流したときの測定対象物 1 の測定対象箇所での電圧降下を測定して I - V 特性を得るというケースについて説明した。しかし、これとは逆に、測定対象物 1 の測定対象箇所に電圧を印加し、そのとき測定対象物 1 に流れる電流を測定することにより I - V 特性を得てもよい。このようなときの電流 - 電圧特性測定装置 2 の構成例を図 9 に示す。

40

【0070】

図 9 において、図 1 と異なる点は、電源装置 20 が電圧供給源であり、時系列電圧パルス信号を測定対象部 1 に出力すること、図 1 の電圧測定部 21 を電流測定部 21 とし、時系列電圧パルス信号を印加した測定対象物 1 に流れる電流を時系列応答電流パルス信号として測定すること、電流測定部 21 と測定対象物 1 との間の結線は測定対象物 1 の測定部

50

位  $K_1$  に流れる電流を計測できるように結線されていることである。なお、電流測定部 2 1 と図 1 に示す電圧測定部 2 1 とを同じ符号としたのは、それぞれは、上位概念である応答信号測定部 2 1 としてまとめることができるからである。

#### 【0071】

測定対象物 1 に電圧を印加して  $I - V$  特性を測定するのは、通常は、電気抵抗  $K_2$ 、 $K_3$  の抵抗が測定部位  $K_1$  の抵抗に比べて無視できる場合である。そのような場合には、測定対象物 1 に印加した電圧は、そのまま測定部位  $K_1$  の電圧降下に等しくなる。そのため、測定部位  $K_1$  の電圧降下値を測定しなくても、電源装置 2 0 の出力した時系列電圧パルス信号の各パルス波高値を設定・解析部 2 2 に電圧値として送信することができる。電流測定部 2 1 から設定解析出力されるデータは正味の電流パルス波高値である。

10

#### 【0072】

図 9 に示す構成の装置に対しては、以上を前提として、図 1 に関する説明を、電流と電圧を入れ替えて読めば、図 1 に関する説明がそのまま成り立つ。変形例を含む効果についてもこれまでの説明と同様に成立する。従って、図 9 に示す電源装置 2 0 は、隣り合うパルスにより測定対象物 1 に発生するジュール熱を平均すると時間に依らず略一定になるような時系列電圧パルス信号を出力できる。このような電源装置 2 0 を備えた電流 - 電圧特性測定装置によれば、 $I - V$  特性の測定過程での測定対象物 1 での温度変動は無視できるようになるため、高精度での  $I - V$  特性の測定が可能となる。

#### 【0073】

なお、 $I - V$  特性の測定において電圧を入力して電流を測定するという場合でも、図 9 に示す応答信号測定部 2 1 又は別途備える電圧測定部により測定部位  $K_1$  の両端間の電圧を測定できる場合は、その電圧測定結果を解析部 2 2 1 に入力することにより、測定部位  $K_1$  の抵抗値に依らず、測定対象物 1 の  $I - V$  特性を高精度に測定することができる。

20

#### 【0074】

電源装置 2 0 の出力は、図 1 では時系列電流パルス信号であり、図 9 では時系列電圧パルス信号である。これらを総称して、図 1、図 9 に示すように、時系列パルス信号と言うことができる。また、図 1 の電圧測定部 2 1 及び図 9 の電流測定部 2 1 は総称して応答信号測定部 2 1 ということができるということは既に説明したが、電圧測定部 2 1 の時系列応答電圧パルス信号、及び電流測定部 2 1 の時系列応答電流パルス信号は総称して時系列応答パルス信号と言うことができる。

30

#### 【符号の説明】

#### 【0075】

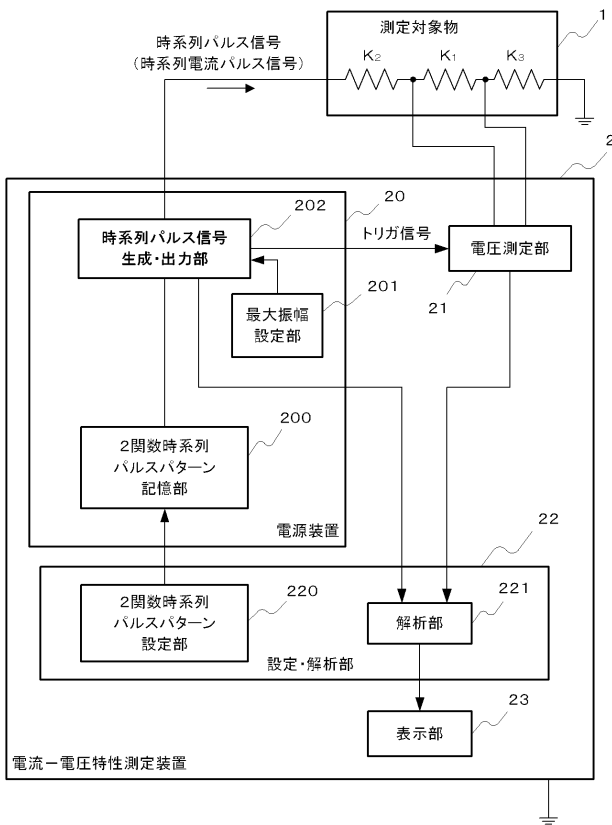
- 1 測定対象物
- 2 電流 - 電圧特性測定装置
- 2 0 電源装置
- 2 1 応答信号測定部 (電圧測定部、電流測定部)
- 2 2 設定・解析部
- 2 3 表示部
- 2 0 0 2 関数時系列パルスパターン記憶部
- 2 0 1 最大振幅設定部
- 2 0 2 時系列信号生成・出力部
- 2 2 0 2 関数時系列パルスパターン設定部
- 2 2 1 解析部
- 3 0 0 中央演算装置 (CPU)
- 3 1 0 内部メモリ
- 3 2 0 外部メモリ
- 3 3 0 入力部
- 3 4 0 出力部
- 3 5 0 バスライン
- $K_1$  測定部位 (電気抵抗)

40

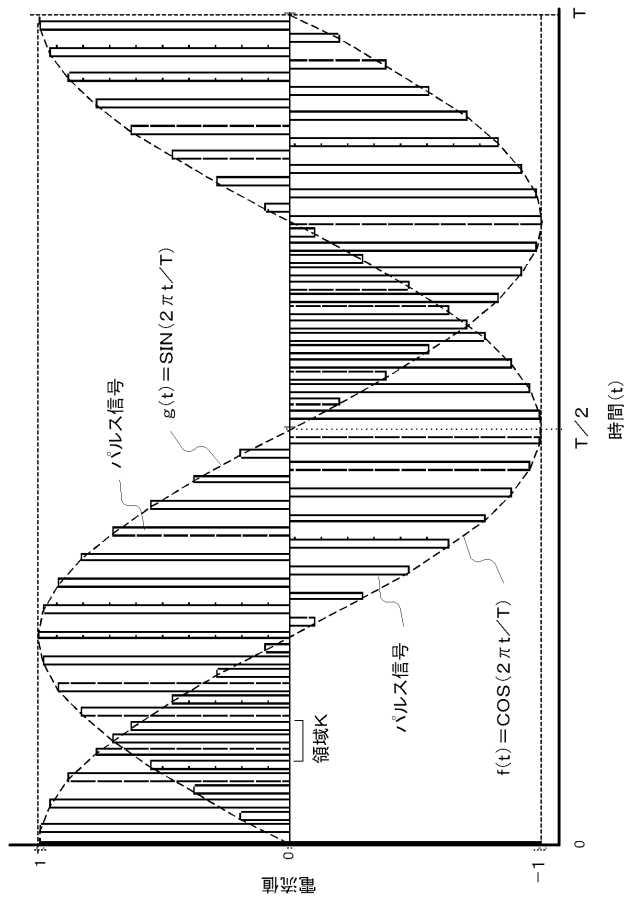
50

K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> 電気抵抗

【図1】

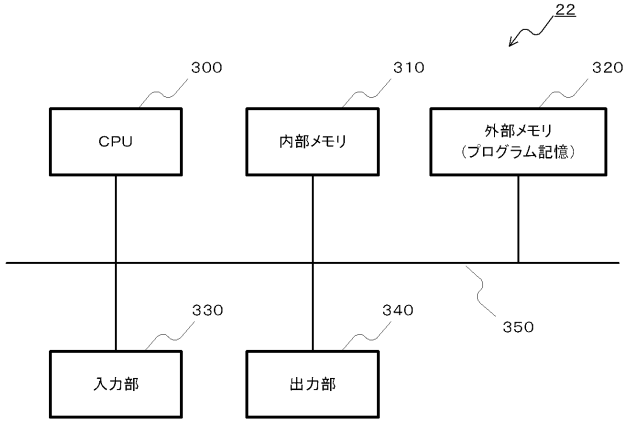


【図2】

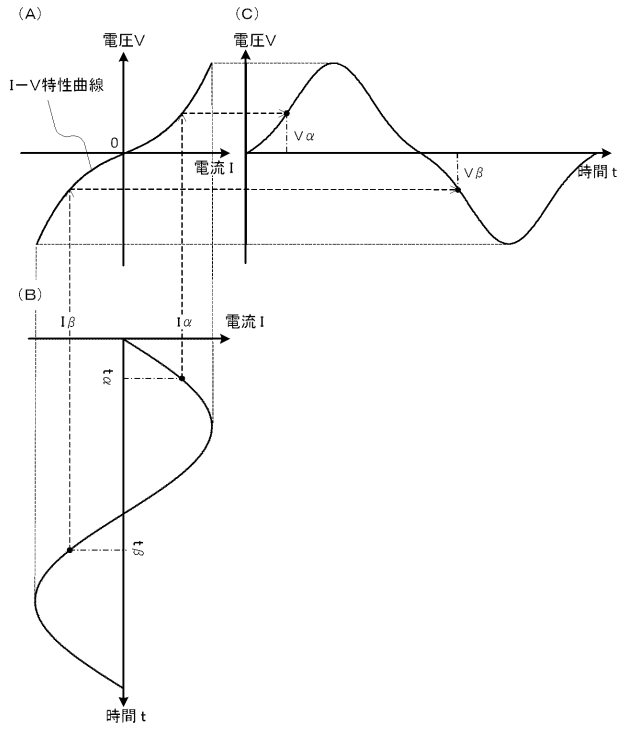




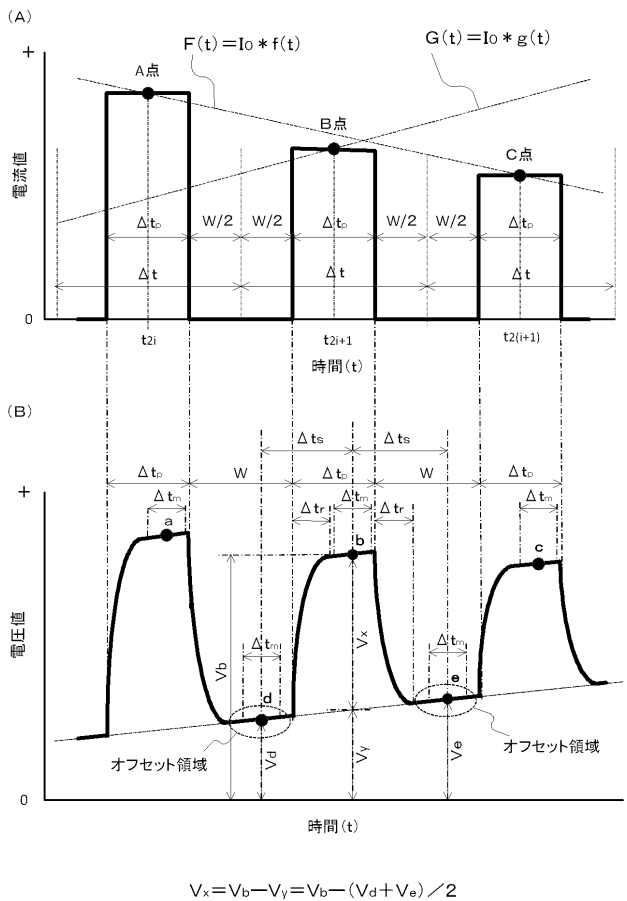
【 図 3 】



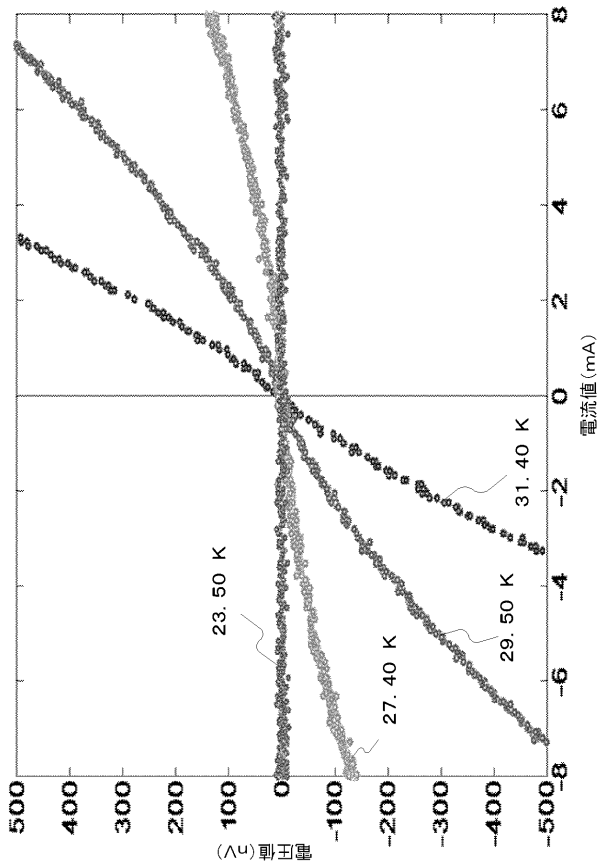
【 図 4 】



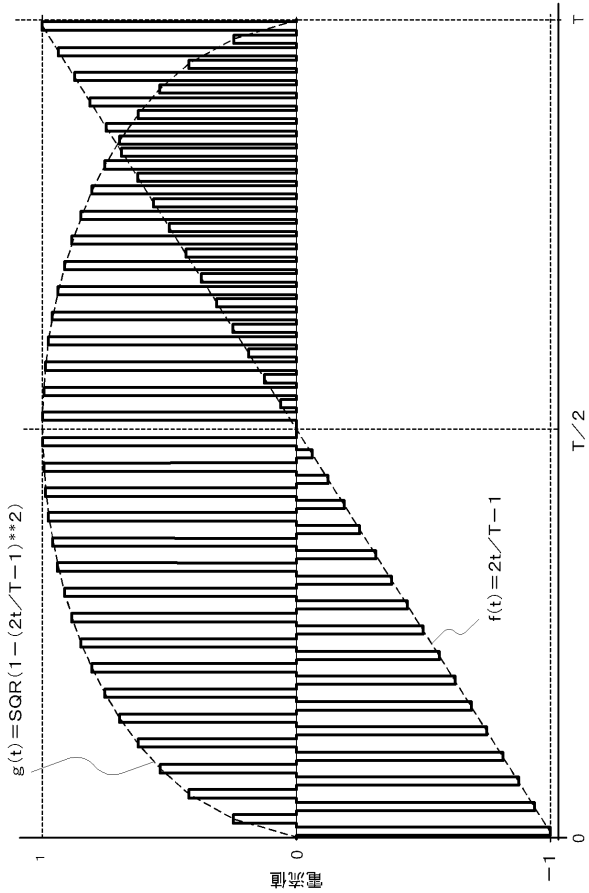
【 図 5 】



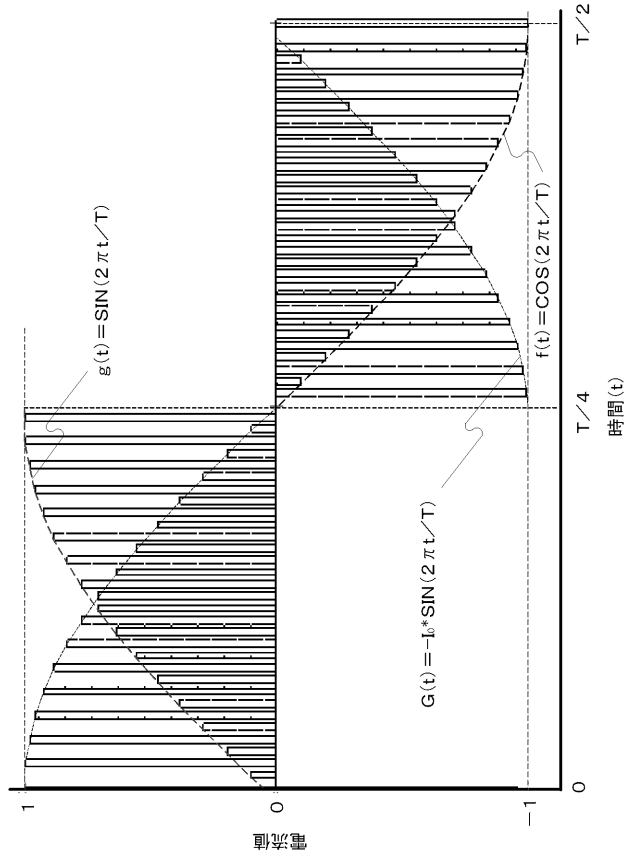
【 図 6 】



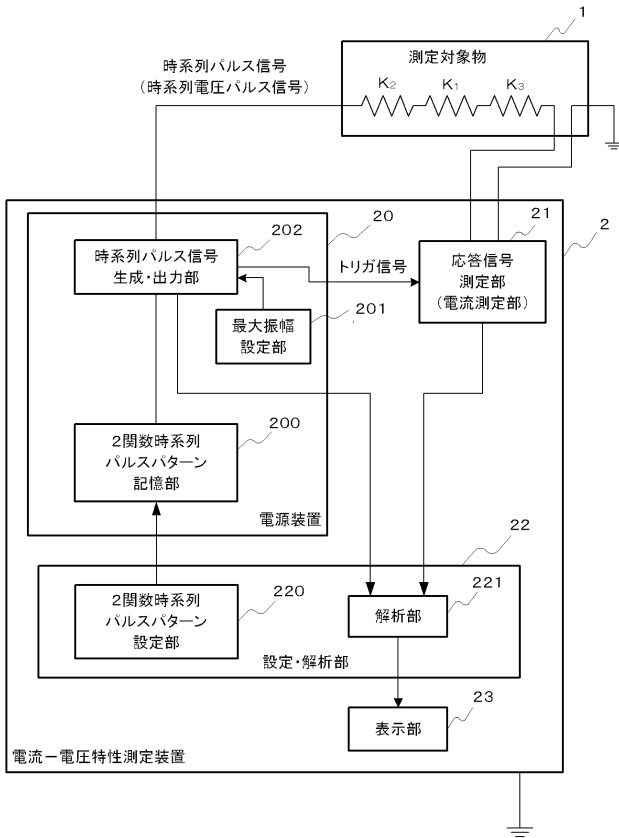
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 宮崎 烈

京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地 国立大学法人京都工芸繊維大学内

Fターム(参考) 2G036 AA28 BA01 BB01 BB09 CA01 CA12