

(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2013-7648

(P2013-7648A)

(43) 公開日 平成25年1月10日(2013.1.10)

(51) Int.Cl.  
G01R 33/14 (2006.01)

F I  
G O 1 R 33/14

テーマコード (参考)  
2 G O 1 7

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2011-140509 (P2011-140509)  
(22) 出願日 平成23年6月24日 (2011. 6. 24)

(71) 出願人 305027401  
公立大学法人首都大学東京  
東京都新宿区西新宿二丁目8番1号  
(71) 出願人 503103109  
岩通計測株式会社  
東京都杉並区久我山1丁目7番41号  
(74) 代理人 100099759  
弁理士 青木 篤  
(74) 代理人 100092624  
弁理士 鶴田 準一  
(74) 代理人 100122965  
弁理士 水谷 好男  
(74) 代理人 100141162  
弁理士 森 啓

最終頁に続く

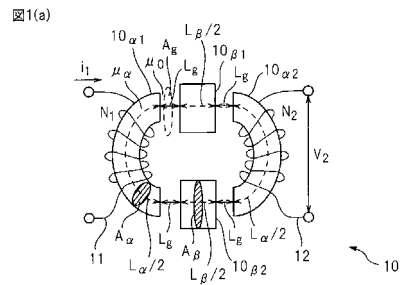
(54) 【発明の名称】 磁化曲線の算定方法

(57) 【要約】

【課題】 磁性体コアを励磁することにより取得される計測結果に基づいて算定する方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 少なくとも1つのギャップを磁路中に有し、かつ第1、及び第2の透磁率をそれぞれ有する磁性体を具備する磁性体コアの磁化曲線を算定する方法であって、磁性体コアを第1、及び第2の透磁率をそれぞれ有する磁性体コアであると仮定することにより、磁性体コアの磁界の強さ、及び磁束密度を算定する方法であり、磁性体コアに具備される第1の透磁率を有する磁性体の断面の断面積、及び断面形状は、前記磁路に亘り一定であり、磁性体コアに具備される第2の透磁率を有する磁性体の断面の断面積、及び断面形状は、前記磁路に亘り一定であることを特徴とする方法。

【選択図】 図1(a)



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも 1 つのギャップを磁路中に有し、かつ第 1、及び第 2 の透磁率をそれぞれ有する磁性体を具備する磁性体コアの磁化曲線を算定する方法であって、

前記第 1 の透磁率を有する磁性体に巻回される 1 次巻線に第 1 の励磁電流を印加して、該第 1 の励磁電流、及び前記第 1 の透磁率を有する磁性体に巻回される 2 次巻線に生じる第 1 の 2 次電圧を測定して、第 1 の磁化曲線、及び第 1 の最大磁束密度を算定する第 1 算定ステップと、

前記第 1 の透磁率を有する磁性体に巻回される 1 次巻線に前記第 1 の励磁電流を印加して、該第 1 の励磁電流、及び前記第 2 の透磁率を有する磁性体に巻回される 2 次巻線に生じる第 2 の 2 次電圧を測定して、第 2 の磁化曲線、及び第 2 の最大磁束密度を算定する第 2 算定ステップと、

前記第 1 の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第 1 のギャップなし磁性体コアの 1 次巻線に、前記第 1 の励磁電流と同一の周波数を有する第 2 の励磁電流を印加して、該第 2 の励磁電流、及び前記第 1 のギャップなし磁性体コアの 2 次巻線に生じる第 3 の 2 次電圧を測定して、第 3 の磁化曲線、及び第 3 の最大磁束密度を算定する第 3 算定ステップであって、前記第 1 の最大磁束密度と、前記第 3 の最大磁束密度とが同一になるように、前記第 2 の励磁電流を調整する第 3 算定ステップと、

前記第 2 の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第 2 のギャップなし磁性体コアの 1 次巻線に、前記第 1 の励磁電流と同一の周波数を有する第 3 の励磁電流を印加して、該第 3 の励磁電流、及び前記第 2 のギャップなし磁性体コアの 2 次巻線に生じる第 4 の 2 次電圧を測定して、第 4 の磁化曲線、及び第 4 の最大磁束密度を算定する第 4 算定ステップであって、前記第 2 の最大磁束密度と、前記第 4 の最大磁束密度とが同一になるように、前記第 3 の励磁電流を調整する第 4 算定ステップと、

を有し、前記磁性体コアに具備される前記第 1 の透磁率を有する磁性体の断面積、及び断面形状は、前記磁路に亘り一定であり、

前記磁性体コアに具備される前記第 2 の透磁率を有する磁性体の断面の断面積、及び断面形状は、前記磁路に亘り一定であることを特徴とする方法。

## 【請求項 2】

演算式

## 【数 1】

$$H_1 = n \left( \frac{L_g}{L_\alpha} \right) H_g + H_\alpha + \left( \frac{L_\beta}{L_\alpha} \right) H_\beta$$

## 【数 2】

$$H_2 = n \left( \frac{L_g}{L_\beta} \right) H_g + \left( \frac{L_\alpha}{L_\beta} \right) H_\alpha + H_\beta$$

を使用して、前記少なくとも 1 つのギャップの実効磁路長を算定する第 5 算定ステップをさらに有する方法であって、

ここで、 $H_1$  は、前記第 1 の磁化曲線を算定するときに算定される磁界の強さであり、

$H_2$  は、前記第 2 の磁化曲線を算定するときに算定される磁界の強さであり、

$L$  は、前記第 1 の透磁率を有する磁性体の合計の実効磁路長であり、

10

20

30

40

50

L は、前記第 2 の透磁率を有する磁性体の合計の実効磁路長であり、  
 H は、前記第 3 の磁化曲線を算定するときに算定される磁界の強さであり、  
 H は、前記第 4 の磁化曲線を算定するときに算定される磁界の強さであり、  
 n は、前記少なくとも 1 つのギャップの数であり、  
 H<sub>g</sub> 及び L<sub>g</sub> はそれぞれ、前記少なくとも 1 つのギャップの磁界の強さ、及び 1 つ当たりの  
 ギャップの実効磁路長である請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

$$B_g = \mu_0 H_g$$

から前記ギャップの磁束密度 B<sub>g</sub> を算定する第 6 算定ステップをさらに有する請求項 2  
 に記載の方法。

10

【請求項 4】

前記磁性体コアが 2 つ以上のギャップを有するとき、前記 2 つ以上のギャップそれぞれの  
 磁路長は、互いに等しい請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 算定ステップにおいて、前記第 1 の透磁率を有する磁性体に巻回される 2 次巻  
 線の巻数と、前記第 3 算定ステップにおいて、前記第 1 のギャップなし磁性体コアの 2 次  
 巻線の巻数とが同一であり、

第 1 の最大磁束密度と、第 3 の最大磁束密度とが同一になるように、前記第 2 の励磁電  
 流を調整することは、前記第 1 の 2 次電圧の最大電圧と、前記第 3 の 2 次電圧の最大電圧  
 とが同一になるように調整することを含む請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項 6】

前記第 1 のギャップなし磁性体コア、又は前記第 2 のギャップなし磁性体コアのいずれ  
 か 1 つは、前記第 1 算定ステップ、又は前記第 2 算定ステップで使用された前記磁性体コ  
 アの前記ギャップを埋めることにより形成される請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の方  
 法。

【請求項 7】

前記第 3 算定ステップにおいて、第 1 の最大磁束密度と、第 3 の最大磁束密度とが同一  
 になるように、前記第 2 の励磁電流を調整する代わりに、

前記第 1 算定ステップにおいて、第 1 の最大磁束密度と、第 3 の最大磁束密度とが同一  
 になるように、前記第 1 の励磁電流を調整する請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法

30

【請求項 8】

前記第 4 算定ステップにおいて、第 2 の最大磁束密度と、第 4 の最大磁束密度とが同一  
 になるように、前記第 3 の励磁電流を調整する代わりに、

前記第 2 算定ステップにおいて、第 2 の最大磁束密度と、第 4 の最大磁束密度とが同一  
 になるように、前記第 1 の励磁電流を調整する請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法

【請求項 9】

少なくとも 1 つのギャップを磁路中に有し、かつ第 1、及び第 2 の透磁率をそれぞれ有  
 する磁性体を具備する磁性体コアの磁化曲線を算定する方法であって、

40

前記第 1 の透磁率を有する磁性体に巻回される 1 次巻線に第 1 の励磁電流を印加して、  
 該第 1 の励磁電流、前記第 1 の透磁率を有する磁性体に巻回される第 1 の 2 次巻線に生じ  
 る第 1 の 2 次電圧を測定して、第 1 の磁化曲線、及び第 1 の磁化曲線を算定するとともに  
 、前記第 2 の透磁率を有する磁性体に巻回される第 2 の 2 次巻線に生じる第 2 の 2 次電圧  
 を測定して、第 2 の磁化曲線、及び第 2 の最大磁束密度を算定する第 1 算定ステップと、

前記第 1 の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第  
 1 のギャップなし磁性体コアの 1 次巻線に、前記第 1 の励磁電流と同一の周波数を有する  
 第 2 の励磁電流を印加して、該第 2 の励磁電流、及び前記第 1 のギャップなし磁性体コア  
 の 2 次巻線に生じる第 3 の 2 次電圧を測定して、第 3 の磁化曲線、及び第 3 の最大磁束密  
 度を算定する第 2 算定ステップであって、前記第 1 の最大磁束密度と、前記第 3 の最大磁

50

束密度とが同一になるように、前記第 2 の励磁電流を調整する第 2 算定ステップと、

前記第 2 の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第 2 のギャップなし磁性体コアの 1 次巻線に、前記第 1 の励磁電流と同一の周波数を有する第 3 の励磁電流を印加して、該第 3 の励磁電流、及び前記第 2 のギャップなし磁性体コアの 2 次巻線に生じる第 4 の 2 次電圧を測定して、第 4 の磁化曲線、及び第 4 の最大磁束密度を算定する第 3 算定ステップであって、前記第 2 の最大磁束密度と、前記第 4 の最大磁束密度とが同一になるように、前記第 3 の励磁電流を調整する第 3 算定ステップと、

を有し、前記磁性体コアに具備される前記第 1 の透磁率を有する磁性体の断面の断面積、及び断面形状は、前記磁路に亘り一定であり、

前記磁性体コアに具備される前記第 2 の透磁率を有する磁性体の断面の断面積、及び断面形状は、前記磁路に亘り一定であることを特徴とする方法。

10

【請求項 10】

少なくとも 1 つのギャップを磁路中に有し、かつ第 1、及び第 2 の透磁率をそれぞれ有する磁性体を具備する磁性体コアの磁化曲線を算定する方法であって、

前記第 1 の透磁率を有する磁性体に巻回される 1 次巻線に第 1 の励磁電流を印加して、該第 1 の励磁電流、及び前記第 1 の透磁率を有する磁性体、又は前記第 2 の透磁率を有する磁性体のいずれか一方に巻回される 2 次巻線に生じる第 1 の 2 次電圧を測定して、第 1 の磁化曲線、及び第 1 の最大磁束密度を算定する第 1 算定ステップと、

前記第 1 の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第 1 のギャップなし磁性体コアの 1 次巻線に、前記第 1 の励磁電流と同一の周波数を有する第 2 の励磁電流を印加して、該第 2 の励磁電流、及び前記第 1 のギャップなし磁性体コアの 2 次巻線に生じる第 2 の 2 次電圧を測定して、第 2 の磁化曲線、及び第 2 の最大磁束密度を算定する第 2 算定ステップであって、前記第 1 の最大磁束密度と、前記第 2 の最大磁束密度とが同一になるように、前記第 2 の励磁電流を調整する第 2 算定ステップと、

20

前記第 2 の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第 2 のギャップなし磁性体コアの 1 次巻線に、前記第 1 の励磁電流と同一の周波数を有する第 3 の励磁電流を印加して、該第 3 の励磁電流、及び前記第 2 のギャップなし磁性体コアの 2 次巻線に生じる第 3 の 2 次電圧を測定して、第 3 の磁化曲線、及び第 3 の最大磁束密度を算定する第 3 算定ステップであって、前記第 1 の最大磁束密度と、前記第 3 の最大磁束密度とが同一になるように、前記第 3 の励磁電流を調整する第 3 算定ステップと、

30

を有し、前記磁性体コアに具備される前記第 1 の透磁率を有する磁性体の断面の断面積、及び断面形状は、前記磁路に亘り一定であり、

前記磁性体コアに具備される前記第 2 の透磁率を有する磁性体の断面の断面積、及び断面形状は、前記磁路に亘り一定であり、

前記磁性体コアを形成する前記第 1、及び前記第 2 の透磁率を有する磁性体の断面の断面積、及び断面形状はそれぞれ、互いに等しいことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁化曲線の算定方法に関する。より詳細には、本発明は、リアクトルの磁路中にギャップを有する磁性体コアの磁化曲線の算定方法に関する。

40

【背景技術】

【0002】

インバ - タ、及びコンバ - タなどの電気機器は、力率を改善し、高調波を低減し、かつサ - ジを抑制するために、リアクトルを備える。このような用途に使用されるリアクトルに流れる電流は、振幅が比較的大きな直流電流、又は振幅が比較的大きな低周波交流電流に、振幅が比較的小さな高周波リップルが重畳した波形を有する。この結果、比較的大きな電流がリアクトルに印加されるために、リアクトルの磁性体コアには、大きな磁界が印加される。したがって、リアクトルの磁性体コアには、大きな磁界の下でも磁気飽和を起こさないことが要求される。磁気飽和が生じると透磁率が低下し、リアクトルのインダク

50

タンスが低下するために、リアクトルとして動作しなくなるからである。

【0003】

磁性体コアが磁気飽和することを防止するために、一般にリアクトルの磁性体コアの磁路中にギャップ(空隙)が設けられる。磁性体コアの磁路中にギャップが設けられることにより、磁気抵抗が大きくなり、磁性体コアが磁気飽和することを防止できるためである。しかしながら、磁路中のギャップでは、磁束が磁路の外側に漏れ出す現象が生じる。この現象は、一般にフリンジング磁束と称される。フリンジング磁束は、磁性体コアが導体の場合には、ギャップ近傍の磁性体コア側面に渦電流を生じさせ、また、ギャップ近傍に巻線がある場合には、巻線導体に渦電流を生じさせ、いずれの場合も局部損失を増大させるという問題がある。また、フリンジング磁束が周囲に配置される電気閉回路と鎖交し、電気閉回路にノイズが生じる問題がある。

10

【0004】

また近年は、必要なギャップ長を得るために、複数個のギャップを磁路中に分散して設けることがある。これによって、1つ当たりのギャップ長が狭くなり、1つ当たりのギャップから生じるフリンジング磁束を抑制することができる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ギャップを有する磁性体コアの磁界の強さ、透磁率、及び磁束密度などの磁気特性値、並びに実効磁路長、及び実効断面積などの試料定数を算定するため、ギャップ、及び磁性体それぞれの磁気特性値、及び試料定数を算定する必要がある。しかしながら、従来はこれらを計測し算定することが困難であった。このため、従来は、ギャップ、及び磁性体コア中の磁界の強さ、及び磁束密度を予測するためには、有限要素法等を応用した電磁界解析シミュレーションによる予測値を用いることしかできなかった。

20

【0006】

そこで、本発明は、磁路中にギャップを有する磁性体コアのギャップ、及び磁性体コア中の磁界の強さと、磁束密度との間の関係を示す磁化曲線を、シミュレーションを使用することなく、磁性体コアを励磁することにより取得される計測結果に基づいて算定する方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

30

【0007】

本発明に係る方法は、少なくとも1つのギャップを磁路中に有し、かつ第1、及び第2の透磁率をそれぞれ有する磁性体を具備する磁性体コアの磁化曲線を算定する方法であって、第1の透磁率を有する磁性体に巻回される1次巻線に第1の励磁電流を印加して、該第1の励磁電流、及び第1の透磁率を有する磁性体に巻回される2次巻線に生じる第1の2次電圧を測定して、第1の磁化曲線、及び第1の最大磁束密度を算定する第1算定ステップと、第1の透磁率を有する磁性体に巻回される1次巻線に第1の励磁電流を印加して、該第1の励磁電流、及び第2の透磁率を有する磁性体に巻回される2次巻線に生じる第2の2次電圧を測定して、第2の磁化曲線、及び第2の最大磁束密度を算定する第2算定ステップと、第1の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第1のギャップなし磁性体コアの1次巻線に、第1の励磁電流と同一の周波数を有する第2の励磁電流を印加して、該第2の励磁電流、及び第1のギャップなし磁性体コアの2次巻線に生じる第3の2次電圧を測定して、第3の磁化曲線、及び第3の最大磁束密度を算定する第3算定ステップであって、第1の最大磁束密度と、第3の最大磁束密度とが同一になるように、第2の励磁電流を調整する第3算定ステップと、第2の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第2のギャップなし磁性体コアの1次巻線に、第1の励磁電流と同一の周波数を有する第3の励磁電流を印加して、該第3の励磁電流、及び第2のギャップなし磁性体コアの2次巻線に生じる第4の2次電圧を測定して、第4の磁化曲線、及び第4の最大磁束密度を算定する第4算定ステップであって、第2の最大磁束密度と、第4の最大磁束密度とが同一になるように、第3の励磁電

40

50

流を調整する第4算定ステップと、を有し、磁性体コアに具備される第1の透磁率を有する磁性体の断面積、及び断面形状は、磁路に亘り一定であり、磁性体コアに具備される第2の透磁率を有する磁性体の断面積、及び断面形状は、磁路に亘り一定であることを特徴とする。

【0008】

本発明に係る他の方法は、少なくとも1つのギャップを磁路中に有し、かつ第1、及び第2の透磁率をそれぞれ有する磁性体を具備する磁性体コアの磁化曲線を算定する方法であって、第1の透磁率を有する磁性体に巻回される1次巻線に第1の励磁電流を印加して、該第1の励磁電流、第1の透磁率を有する磁性体に巻回される第1の2次巻線に生じる第1の2次電圧を測定して、第1の磁化曲線、及び第1の最大磁束密度を算定するとともに、第2の透磁率を有する磁性体に巻回される第2の2次巻線に生じる第2の2次電圧を測定して、第2の磁化曲線、及び第2の最大磁束密度を算定する第1算定ステップと、第1の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第1のギャップなし磁性体コアの1次巻線に、第1の励磁電流と同一の周波数を有する第2の励磁電流を印加して、該第2の励磁電流、及び第1のギャップなし磁性体コアの2次巻線に生じる第3の2次電圧を測定して、第3の磁化曲線、及び第3の最大磁束密度を算定する第2算定ステップであって、第1の最大磁束密度と、第3の最大磁束密度とが同一になるように、第2の励磁電流を調整する第2算定ステップと、第2の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第2のギャップなし磁性体コアの1次巻線に、第1の励磁電流と同一の周波数を有する第3の励磁電流を印加して、該第3の励磁電流、及び第2のギャップなし磁性体コアの2次巻線に生じる第4の2次電圧を測定して、第4の磁化曲線、及び第4の最大磁束密度を算定する第3算定ステップであって、第2の最大磁束密度と、第4の最大磁束密度とが同一になるように、第3の励磁電流を調整する第3算定ステップと、を有し、磁性体コアに具備される第1の透磁率を有する磁性体の断面積、及び断面形状は、磁路に亘り一定であり、磁性体コアに具備される前記第2の透磁率を有する磁性体の断面積、及び断面形状は、磁路に亘り一定であることを特徴とする。

【0009】

本発明に係るさらに他の方法は、少なくとも1つのギャップを磁路中に有し、かつ第1、及び第2の透磁率をそれぞれ有する磁性体を具備する磁性体コアの磁化曲線を算定する方法であって、第1の透磁率を有する磁性体に巻回される1次巻線に第1の励磁電流を印加して、該第1の励磁電流、及び第1の透磁率を有する磁性体、又は第2の透磁率を有する磁性体のいずれか一方に巻回される2次巻線に生じる第1の2次電圧を測定して、第1の磁化曲線、及び第1の最大磁束密度を算定する第1算定ステップと、第1の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第1のギャップなし磁性体コアの1次巻線に、第1の励磁電流と同一の周波数を有する第2の励磁電流を印加して、該第2の励磁電流、及び第1のギャップなし磁性体コアの2次巻線に生じる第2の2次電圧を測定して、第2の磁化曲線、及び第2の最大磁束密度を算定する第2算定ステップであって、第1の最大磁束密度と、第2の最大磁束密度とが同一になるように、第2の励磁電流を調整する第2算定ステップと、第2の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しない第2のギャップなし磁性体コアの1次巻線に、第1の励磁電流と同一の周波数を有する第3の励磁電流を印加して、該第3の励磁電流、及び第2のギャップなし磁性体コアの2次巻線に生じる第3の2次電圧を測定して、第3の磁化曲線、及び第3の最大磁束密度を算定する第3算定ステップであって、第1の最大磁束密度と、第3の最大磁束密度とが同一になるように、第3の励磁電流を調整する第3算定ステップと、を有し、磁性体コアに具備される第1の透磁率を有する磁性体の断面積、及び断面形状は、磁路に亘り一定であり、磁性体コアに具備される第2の透磁率を有する磁性体の断面積、及び断面形状は、磁路に亘り一定であり、磁性体コアを形成する第1、及び第2の透磁率を有する磁性体の断面積、及び断面形状はそれぞれ、互いに等しいことを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【0010】

本発明の磁化曲線の算定方法によれば、磁路中にギャップを有する磁性体コアのギャップ、及び磁性体の各々での磁界の強さと磁束密度との関係を示す磁化曲線を、シミュレーションではなく、計測結果に基づいて容易に算定することが可能になる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0011】

【図1(a)】本発明に係る磁化曲線の算定方法の原理を示す図である。

【図1(b)】本発明に係る磁化曲線の算定方法の原理を示す図である。

【図1(c)】本発明に係る磁化曲線の算定方法の原理を示す図である。

【図1(d)】本発明に係る磁化曲線の算定方法の原理を示す図である。

【図1(e)】本発明に係る磁化曲線の算定方法の原理を示す図である。

【図1(f)】本発明に係る磁化曲線の算定方法の原理を示す図である。

【図2】本発明に係る1つの実施形態における磁化曲線算定のフローを示す図である。

【図3】本発明に係る1つの実施形態における第1の測定装置を示す図である。

【図4】本発明に係る1つの実施形態における第1、及び第2の磁化曲線算定のフローを示す図である。

【図5】本発明に係る1つの実施形態における第2の測定装置を示す図である。

【図6】本発明に係る1つの実施形態における第3の測定装置を示す図である。

【図7】本発明に係る1つの実施形態における第3、及び第4の磁化曲線算定のフローを示す図である。

【図8】本発明に係る1つの実施形態における第4の測定装置を示す図である。

【図9】本発明に係る他の実施形態における磁化曲線算定のフローを示す図である。

【図10】本発明に係る他の実施形態における第3の測定装置を示す図である。

【図11】本発明に係る他の実施形態における第3の測定装置を示す図である。

【図12】本発明に係る他の実施形態における第3、及び第4の磁化曲線算定のフローを示す図である。

【図13】本発明に係る他の実施形態における第1の測定装置を示す図である。

【図14】本発明に係る他の実施形態における磁化曲線算定のフローを示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0012】

以下、本発明に係る磁化曲線の算定方法の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本発明の開示において提供される図は、本発明の説明を意図したものであり、適当な縮尺を示すことを意図したのではないことを理解すべきである。また、それぞれの図面において、同一、又は類似する機能を有する構成要素には、同一、又は類似する符号が付される。したがって、先に説明した構成要素と同一、又は類似する機能を有する構成要素に関しては、改めて説明をしないことがある。

## 【0013】

図1を参照して、本発明に係る磁化曲線の算定方法の原理について説明する。

図1(a)において、測定対象の磁性体コア10が示される。磁性体コア10は、透磁率が $\mu$ である磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>と、透磁率が $\mu$ である磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>とを有する。磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>の実効磁路長はそれぞれ、 $L/2$ であり、合計の実効磁路長は、 $L$ になる。また、磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>の実効磁路長はそれぞれ、 $L/2$ であり、合計の実効磁路長は、 $L$ になる。

## 【0014】

磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>の磁路に直交する断面(以下、磁路に直交する断面を断面と称する)の実効断面積はそれぞれ $A$ であり、磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>内の磁路に亘って一定である。また、磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>の断面の形状は、磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>内の磁路に亘って一定である。一方、磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>の断面の実効断面積はそれぞれ $A$ であり、磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>内の磁路に

10

20

30

40

50

亘って一定である。また、磁性体 10 1、及び 10 2 の断面の形状は、磁性体 10 1、及び 10 2 内の磁路に亘って一定である。

【0015】

さらに、磁性体コア 10 に形成される 4 つのギャップの実効磁路長はそれぞれ  $L_g$  である。また、磁性体コア 10 に形成される 4 つのギャップの実効断面積はそれぞれ  $A_g$  とする。なお、本明細書で使用する場合、用語「断面積」、「実効断面積」、及び「断面形状」はそれぞれ、磁路に直交する磁性体コアの断面の面積、実効断面積、及び形状をいう。

【0016】

磁性体 10 1 には、励磁電流  $i_1$  を印加する 1 次巻線 11 が巻回され、磁性体 10 2 には、磁束密度を算定するために使用される 2 次電圧  $V_2$  を検出する 2 次巻線 12 が巻回される。1 次巻線 11、及び 2 次巻線 12 の巻数はそれぞれ、 $N_1$ 、及び  $N_2$  である。また、励磁電流  $i_1$  は、適当な振幅、及び周波数を有する正弦波にすることができる。

10

【0017】

図 1 (b) において、図 1 (a) の磁性体コア 10 を、透磁率が  $\mu_1$  である磁性体により形成され、かつギャップを有しない磁性体コアであると仮定した磁性体コア 10' が示される。すなわち、磁性体コア 10' は、図 1 (a) の磁性体コア 10 を、実効断面積が  $A$  であり、実効磁路長が  $L$  であり、かつ透磁率が  $\mu_1$  であるギャップを有しない磁性体コアと仮定したものである。

【0018】

図 1 (a) の磁性体コア 10、及び図 1 (b) の磁性体コア 10' を参照しながら、図 1 (a) の磁性体コア 10 を、透磁率が  $\mu_1$  である磁性体により形成され、ギャップを有しない磁性体コア 10' であると仮定して磁界の強さ、及び磁束密度を算定する方法について順に説明する。まず、磁界の強さの算定方法について説明する。

20

【0019】

図 1 (a) の磁性体 10 1、及び 10 2 に印加される磁界の強さを  $H$  とし、磁性体 10 1、及び 10 2 に印加される磁界の強さを  $H$  とし、ギャップに印加される磁界の強さを  $H_g$  とすると、アンペールの法則から以下の式 (1) の関係が成り立つ。ここで、 $n$  は、ギャップの数であり、図 1 (a) の磁性体コア 10 では、 $n$  は 4 である。

【数 1】

$$N_1 i_1 = n H_g L_g + H_\alpha L_\alpha + H_\beta L_\beta \quad (1)$$

30

式 (1) を磁性体 10 1、及び 10 2 の合計の実効磁路長  $L$  を抜き出すように変形すると、式 (1) は、

【数 2】

$$N_1 i_1 = L_\alpha \left\{ n \left( \frac{L_g}{L_\alpha} \right) H_g + H_\alpha + \left( \frac{L_\beta}{L_\alpha} \right) H_\beta \right\} \quad (2)$$

40

で示される。

【0020】

一方、図 1 (b) の磁性体コア 10' に印加される磁界の強さを  $H_1$  とすると、アンペールの法則から以下の式 (3) の関係が成り立つ。



【数 3】

$$H_1 = \frac{N_1 i_1}{L_\alpha} \quad (3)$$

$$= \frac{N_1 V_1}{L_\alpha R_s}$$

10

ここで、1次電圧  $V_1$  は、励磁電流  $i_1$  を抵抗  $R_s$  により電圧に変換した電圧値である。式(2)、及び(3)から、磁界の強さ  $H_1$  は、

【数 4】

$$H_1 = n \left( \frac{L_g}{L_\alpha} \right) H_g + H_\alpha + \left( \frac{L_\beta}{L_\alpha} \right) H_\beta \quad (4)$$

20

で示されることが理解される。

【0021】

次に、図1(b)の磁性体コア10'の磁束密度  $B_1$  について説明する。磁束密度  $B_1$  は、磁性体コア10'に生じる磁界の強さ  $H_1$  を使用して、

【数 5】

$$B_1 = \mu_1 H_1 \quad (5)$$

30

で示される。ここで、 $\mu_1$  は、磁性体コア10'の透磁率である。磁性体コア10'の透磁率  $\mu_1$  は、透磁率が  $\mu$  である磁性体10-1、及び10-2の実効断面積  $A$ 、及び合計の実効磁路長  $L$  と、透磁率が  $\mu$  である磁性体10-1、及び10-2の実効断面積  $A$ 、及び合計の実効磁路長  $L$  と、ギャップの実効断面積  $A_g$ 、1つ当たりの実効磁路長  $L_g$ 、透磁率  $\mu_0$  とにより、以下のように算出される。

【0022】

まず、磁性体コア10'に形成される磁路の磁気抵抗  $R$  は、

【数 6】

$$R_\alpha = \frac{L_\alpha}{\mu_1 A_\alpha} \quad (6)$$

40

で示される。一方、磁性体コア10に形成される磁路の磁気抵抗  $R_m$  は、

【数 7】

$$R_m = \frac{nL_g}{\mu_0 A_g} + \frac{L_\alpha}{\mu_\alpha A_\alpha} + \frac{L_\beta}{\mu_\beta A_\beta} \quad (7)$$

で示される。さらに、磁気抵抗  $R_m$  は、透磁率が  $\mu$  である磁性体 10-1、及び 10-2 の実効断面積  $A$ 、及び合計の実効磁路長  $L$  を抜き出すように変形すると、

【数 8】

10

$$R_m = \frac{L_\alpha}{A_\alpha} \left\{ \frac{n \left( \frac{L_g}{L_\alpha} \right) \left( \frac{A_\alpha}{A_g} \right)}{\mu_0} + \frac{1}{\mu_\alpha} + \frac{\left( \frac{L_\beta}{L_\alpha} \right) \left( \frac{A_\alpha}{A_\beta} \right)}{\mu_\beta} \right\} \quad (8)$$

となる。磁性体コア 10' は、磁性体コア 10 をギャップを有しない磁性体コアである  
と仮定したものである。したがって、磁性体コア 10 の磁気抵抗  $R_m$  と、磁性体コア 10'  
の磁気抵抗  $R$  とは等しくなる。すなわち、

20

$$R = R_m \quad (9)$$

が成り立つ。式 (9) に式 (6)、及び (8) を代入すると、

【数 9】

$$\frac{L_\alpha}{\mu_1 A_\alpha} = \frac{L_\alpha}{A_\alpha} \left\{ \frac{n \left( \frac{L_g}{L_\alpha} \right) \left( \frac{A_\alpha}{A_g} \right)}{\mu_0} + \frac{1}{\mu_\alpha} + \frac{\left( \frac{L_\beta}{L_\alpha} \right) \left( \frac{A_\alpha}{A_\beta} \right)}{\mu_\beta} \right\} \quad (10)$$

30

となる。これから、両辺から  $L$ 、及び  $A$  を除することにより、磁性体コア 10' の  
透磁率  $\mu_1$  は、

【数 10】

$$\mu_1 = \frac{1}{\frac{n \left( \frac{L_g}{L_\alpha} \right) \left( \frac{A_\alpha}{A_g} \right)}{\mu_0} + \frac{1}{\mu_\alpha} + \frac{\left( \frac{L_\beta}{L_\alpha} \right) \left( \frac{A_\alpha}{A_\beta} \right)}{\mu_\beta}} \quad (11)$$

40

となる。

【0023】

このように、磁性体コア 10 を、透磁率が  $\mu_1$  であり、かつギャップを有しない磁性体  
コア 10' であると仮定することによって、磁性体 10-1 に励磁電流  $i_1$  を印加し、磁

50

磁性体 10 2 に巻回される 2 次巻線 1 2 に生じる 2 次電圧から算定される磁化曲線の物理的な意味が明確になる。

【0024】

次に、磁性体コア 10 を、透磁率が  $\mu_2$  であり、かつギャップを有しない磁性体コアであると仮定することにより、磁化曲線の物理的な意味を規定することについて、図 1 ( d )、及び ( e ) を参照して、説明する。

【0025】

図 1 ( d ) において、測定対象の磁性体コア 20 が示される。磁性体コア 20 は、2 次巻線 1 2 が磁性体 10 2 に巻回されずに、磁性体 10 2 に巻回されることのみが、図 1 ( a ) に示される磁性体コア 10 と相違する。したがって、磁性体 10 1、及び 10 2 の透磁率は、 $\mu$  であり、合計の磁路長は、 $L$  であり、断面積は磁路に亘って  $A$  であり、断面形状は一定である。また、磁性体 10 1、及び 10 2 の透磁率は、 $\mu$  であり、合計の磁路長は  $L$  であり、断面積は磁路に亘って  $A$  であり、断面形状は、一定である。さらに、磁性体コア 10 に形成される 4 つのギャップの実効磁路長はそれぞれ  $L_g$  であり、実効断面積はそれぞれ  $A_g$  とする。

10

【0026】

磁性体 10 1 には、励磁電流  $i_1$  を印加する 1 次巻線 1 1 が巻回され、磁性体 10 2 には、磁束密度を算定するために使用される 2 次電圧  $V_2$  を検出する 2 次巻線 1 2 が巻回される。1 次巻線 1 1、及び 2 次巻線 1 2 の巻数はそれぞれ、 $N_1$ 、及び  $N_2$  である。また、1 次巻線に印加される励磁電流  $i_1$  は、図 1 ( a )、及び ( b ) を参照して説明された磁界  $H_1$ 、及び磁束密度  $B_1$  を算定するときに印加される励磁電流と同一の振幅、及び周波数を有する電流とする。

20

【0027】

図 1 ( e ) において、図 1 ( d ) の磁性体コア 20 を、透磁率が  $\mu_2$  である磁性体により形成され、かつギャップを有しない磁性体コアであると仮定した磁性体コア 20' が示される。すなわち、磁性体コア 20' は、図 1 ( d ) の磁性体コア 20 を、断面積が  $A$  であり、磁路長が  $L$  であり、かつ透磁率が  $\mu_2$  であるギャップを有しない磁性体コアと仮定したものである。

【0028】

図 1 ( d ) の磁性体コア 20、及び図 1 ( e ) の磁性体コア 20' を参照しながら、図 1 ( d ) の磁性体コア 20 を、ギャップを有しない磁性体コア 20' であると仮定して、磁界の強さ、及び磁束密度を算定する方法について順に説明する。まず、磁界の強さの算定方法について説明する。

30

【0029】

先に、図 1 ( a )、及び ( b ) を参照して、説明したときと同様に式 ( 1 ) から磁性体 10 1、及び 10 2 の合計の実効磁路長  $L$  を抜き出すように変形すると、式 ( 1 ) は、

【数 1 1】

$$N_1 i_1 = L_\beta \left\{ n \left( \frac{L_g}{L_\beta} \right) H_g + \left( \frac{L_\alpha}{L_\beta} \right) H_\alpha + H_\beta \right\} \quad (12)$$

40

で示される。

【0030】

一方、図 1 ( e ) の磁性体コア 20' に印加される磁界の強さを  $H_2$  とすると、アンペールの法則から以下の式 ( 1 3 ) の関係が成り立つ。

【数 1 2】

$$\begin{aligned}
 H_2 &= \frac{N_1 i_1}{L_\beta} \\
 &= \frac{N_1 V_1}{L_\beta R_s}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

ここで、1次電圧  $V_1$  は、励磁電流  $i_1$  を抵抗  $R_s$  により電圧に変換した電圧値である。式 (12)、及び (13) から、磁界の強さ  $H_2$  は、

10

【数 1 3】

$$H_2 = n \left( \frac{L_g}{L_\beta} \right) H_g + \left( \frac{L_\alpha}{L_\beta} \right) H_\alpha + H_\beta
 \tag{14}$$

で示されることが理解される。

【0031】

20

次に、図 1 (e) の磁性体コア 20' の磁束密度  $B_2$  について説明する。磁束密度  $B_2$  は、磁性体コア 20' に生じる磁界の強さ  $H_2$  を使用して、

【数 1 4】

$$B_2 = \mu_2 H_2
 \tag{15}$$

で示される。ここで、 $\mu_2$  は、磁性体コア 20' の透磁率である。磁性体コア 20' の透磁率  $\mu_2$  は、以下のように算出される。

30

【0032】

まず、磁性体コア 20' に形成される磁路の磁気抵抗  $R$  は、

【数 1 5】

$$R_\beta = \frac{L_\beta}{\mu_2 A_\beta}
 \tag{16}$$

で示される。また、磁性体コア 20 と磁気抵抗が同一の磁性体コア 10 に形成される磁路の磁気抵抗  $R_m$  を示す式 (7) において、透磁率が  $\mu$  である磁性体 10-1、及び 10-2 の実効断面積  $A$ 、及び合計の実効磁路長  $L$  を抜き出すように変形すると、

40

【数 1 6】

$$R_m = \frac{L_\beta}{A_\beta} \left\{ \frac{\Pi \left( \frac{L_g}{L_\beta} \right) \left( \frac{A_\beta}{A_g} \right)}{\mu_0} + \frac{\left( \frac{L_\alpha}{L_\beta} \right) \left( \frac{A_\beta}{A_\alpha} \right)}{\mu_\alpha} + \frac{1}{\mu_\beta} \right\} \quad (17)$$

10

となる。磁性体コア 20' は、磁性体コア 20 をギャップを有しない磁性体コアであると仮定したものである。したがって、磁性体コア 20 の磁気抵抗  $R_m$  と、磁性体コア 20' の磁気抵抗  $R$  とは等しくなる。すなわち、

$$R = R_m \quad (18)$$

が成り立つ。式 (18) に式 (16)、及び (17) を代入すると、

【数 1 7】

$$\frac{L_\beta}{\mu_2 A_\beta} = \frac{L_\beta}{A_\beta} \left\{ \frac{\Pi \left( \frac{L_g}{L_\beta} \right) \left( \frac{A_\beta}{A_g} \right)}{\mu_0} + \frac{\left( \frac{L_\alpha}{L_\beta} \right) \left( \frac{A_\beta}{A_\alpha} \right)}{\mu_\alpha} + \frac{1}{\mu_\beta} \right\} \quad (19)$$

20

となる。これから、両辺から  $L$ 、及び  $A$  を除することにより、磁性体コア 20' の透磁率  $\mu_2$  は、

【数 1 8】

$$\mu_2 = \frac{1}{\frac{\Pi \left( \frac{L_g}{L_\beta} \right) \left( \frac{A_\beta}{A_g} \right)}{\mu_0} + \frac{\left( \frac{L_\alpha}{L_\beta} \right) \left( \frac{A_\beta}{A_\alpha} \right)}{\mu_\alpha} + \frac{1}{\mu_\beta}} \quad (20)$$

30

となる。

【0033】

このように、磁性体コア 20 を、透磁率が  $\mu_2$  であり、かつギャップを有しない磁性体コア 20' であると仮定することによって、磁性体 10-1 に励磁電流  $i_1$  を印加し、磁性体 10-2 に巻回される 2 次巻線 12 に生じる 2 次電圧から算定される磁化曲線の物理的な意味が明確になる。

40

【0034】

次に、図 1(c)、及び 1(f) を参照して、透磁率  $\mu$ 、及び  $\mu$  を算定するために使用される磁性体コアについて説明する。図 1(c)、及び 1(f) には、磁路中にギャップを有しないギャップなし磁性体コア 30、及び 40 がそれぞれ示される。ギャップなし磁性体コア 30、及び 40 は、磁路中にギャップを有しない円環状の形状をそれぞれ有する。

【0035】

50

磁性体コア 30 の透磁率は、図 1 ( a ) の磁性体 10 1、及び 10 2 と同一の透磁率  $\mu$  である。また、ギャップなし磁性体コア 30 の断面は、図 1 ( a ) の磁性体 10 1、及び 10 2 の断面の面積及び形状と、同一の面積及び形状を有する。したがって、ギャップなし磁性体コア 30 の断面の実効断面積は、 $A$  である。また、ギャップなし磁性体コア 30 の実効磁路長は、磁性体 10 1、及び 10 2 の合計の実効磁路長と同一であり、 $L$  である。

【 0036 】

一方、磁性体コア 40 の透磁率は、図 1 ( d ) の磁性体 10 1、及び 10 2 と同一の透磁率  $\mu$  である。また、ギャップなし磁性体コア 40 の断面は、図 1 ( d ) の磁性体 10 1、及び 10 2 の断面の面積及び形状と、同一の面積及び形状を有する。したがって、ギャップなし磁性体コア 40 の断面の実効断面積は、 $A$  である。また、ギャップなし磁性体コア 40 の実効磁路長は、磁性体 10 1、及び 10 2 の合計の実効磁路長と同一であり、 $L$  である。

10

【 0037 】

図 1 ( c )、及び 1 ( f ) のギャップなし磁性体コア 30、40 をそれぞれ使用して、透磁率  $\mu$ 、及び  $\mu$  をそれぞれ算定することができる。このとき、ギャップなし磁性体コア 30 の磁束密度の最大値、すなわち最大磁束密度  $B_m$  を、図 1 ( b ) の磁性体コア 10' の最大磁束密度  $B_{1m}$  に等しくなるように調整するとともに、ギャップなし磁性体コア 40 の最大磁束密度  $B_m$  を、図 1 ( e ) の磁性体コア 20' の最大磁束密度  $B_{2m}$  に等しくなるように調整する必要がある。これは、以下の理由による。

20

【 0038 】

マックスウェルの方程式に示されるように、他の磁路に漏れる漏れ磁束が無い場合、磁路の磁束は保存される。このため、磁性体コア 10 に生じる磁束もまた保存される。したがって、磁性体コア 10 に生じる磁束は、

$$\begin{aligned} &= \mu H A \\ &= \mu H A \\ &= \mu_0 H_g A_g \\ &= \mu_1 H_1 A \\ &= \mu_2 H_2 A \end{aligned} \quad (21)$$

となる。ここで、 $\mu H A$  は、磁性体 10 1、及び 10 2 に生じる磁束である。また、 $\mu H A$  は、磁性体 10 1、及び 10 2 に生じる磁束である。また、 $\mu_0 H_g A_g$  は、ギャップに生じる磁束である。さらに、 $\mu_1 H_1 A$  は、磁性体コア 10 を透磁率が  $\mu_1$  であり、かつギャップを有しない磁性体コアであると仮定した磁性体コア 10' に生じる磁束であり、 $\mu_2 H_2 A$  は、磁性体コア 10 を透磁率が  $\mu_2$  であり、かつギャップを有しない磁性体コアであると仮定した磁性体コア 20' に生じる磁束である。式 ( 21 ) では、磁性体 10 1、及び 10 2 に生じる磁束  $\mu H A$  と、磁性体コア 10' に生じる磁束  $\mu_1 H_1 A$  が等しいことが示される。ここで、双方の磁束に共通する実効断面積  $A$  を除すると、

30

$$\mu H = \mu_1 H_1 \quad (22)$$

が得られる。ここで、左辺は、図 1 ( c ) のギャップなし磁性体コア 30 の磁束密度  $B$  であり、右辺は、図 1 ( b ) のギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア 10' の磁束密度  $B_1$  である。これから、ギャップなし磁性体コア 30 の最大磁束密度  $B_m$  を、ギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア 10' の磁束密度  $B_{1m}$  に等しくなるように調整することによって、図 1 ( b ) の磁性体コア 10' の磁化曲線から磁気特性値、又は試料定数を算定するとき、図 1 ( c ) のギャップなし磁性体コア 30 の磁化曲線から得られる磁気特性値、及び試料定数を援用することができることが理解される。

40

【 0039 】

また、式 ( 21 ) では、磁性体 10 1、及び 10 2 に生じる磁束  $\mu H A$  と、磁性体コア 20' に生じる磁束  $\mu_2 H_2 A$  が等しいことが示される。ここで、双方の磁束に共通する実効断面積  $A$  を除すると、

50

$$\mu H = \mu_2 H_2 \quad (23)$$

が得られる。ここで、左辺は、図1(f)のギャップなし磁性体コア40の磁束密度Bであり、右辺は、図1(e)のギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア20'の磁束密度B<sub>2</sub>である。これから、ギャップなし磁性体コア40の最大磁束密度B<sub>m</sub>を、ギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア20'の最大磁束密度B<sub>2m</sub>に等しくなるように調整することによって、図1(e)の磁性体コア20'の磁化曲線から磁気特性値、又は試料定数を算定するとき、図1(f)のギャップなし磁性体コア40の磁化曲線から得られる磁気特性値、及び試料定数を援用することができることが理解される。

【0040】

なお、磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>、並びに10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>の実効断面積が同一の実効断面積A<sub>c</sub>であるとき、式(21)は、

$$\begin{aligned} &= \mu H A_c \\ &= \mu H A_c \\ &= \mu_0 H_g A_c \\ &= \mu_1 H_1 A_c \\ &= \mu_2 H_2 A_c \end{aligned} \quad (24)$$

となる。これから、A<sub>c</sub>を除くと、

$$\begin{aligned} \mu H &= \mu H = \mu_1 H_1 = \mu_2 H_2 \\ &= B_c \end{aligned} \quad (25)$$

となる。ここでB<sub>c</sub>は、磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>、並びに10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>の実効断面積が同一である場合の磁性体それぞれの磁束密度である。一方、上述のように、μ<sub>1</sub>H<sub>1</sub>は、図1(b)のギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア10'の磁束密度B<sub>1</sub>であり、μ<sub>2</sub>H<sub>2</sub>は、図1(e)のギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア20'の磁束密度B<sub>2</sub>である。したがって、式(25)から、

$$B_c = B_1 = B_2 \quad (26)$$

が導き出される。式(26)から、磁性体10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>、並びに10<sub>1</sub>、及び10<sub>2</sub>の実効断面積が同一の実効断面積A<sub>c</sub>である場合、図1(b)の磁性体コア10'の最大磁束密度B<sub>1m</sub>、又は図1(e)の磁性体コア20'の最大磁束密度B<sub>2m</sub>に等しくなるように、ギャップなし磁性体コア30の最大磁束密度B<sub>m</sub>、及び40の最大磁束密度B<sub>m</sub>を調整することによって、ギャップなし磁性体コア30、及び40の磁化曲線から得られる磁気特性値、及び試料定数を援用することができることが理解される。ここで、ギャップなし磁性体コア30の最大磁束密度B<sub>m</sub>、及び40の最大磁束密度B<sub>m</sub>の双方は、式(26)に示されるB<sub>c</sub>の最大磁束密度に相当する。

【0041】

図1(c)のギャップなし磁性体コア30の磁界の強さH<sub>α</sub>、及び図1(f)のギャップなし磁性体コア40の磁界の強さH<sub>β</sub>はそれぞれ、励磁電流i<sub>1</sub>を、

【数19】

$$\begin{aligned} H_\alpha &= \frac{N_1 i_1}{L_\alpha} \\ &= \frac{N_1 V_1}{L_\alpha R_s} \end{aligned} \quad (27)$$

10

20

30

40

【数 2 0】

$$H_{\beta} = \frac{N_1 i_1}{L_{\beta}} \quad (28)$$

$$= \frac{N_1 V_1}{L_{\beta} R_s}$$

10

にそれぞれ代入することにより算出される。ここで、1次電圧  $V_1$  は、励磁電流  $i_1$  を抵抗  $R_s$  により電圧に変換した電圧値である。一方、図 1 (c) のギャップなし磁性体コア 30 の磁束密度  $B$ 、及び図 1 (f) のギャップなし磁性体コア 40 の磁束密度  $B$  はそれぞれ、2次電圧  $V_2$  を

【数 2 1】

$$B_{\alpha} = \frac{1}{N_2 A_{\alpha}} \int_0^T V_2 dt \quad (29)$$

20

【数 2 2】

$$B_{\beta} = \frac{1}{N_2 A_{\beta}} \int_0^T V_2 dt \quad (30)$$

にそれぞれ代入することにより算出される。このとき、ギャップなし磁性体コア 30、及び 40 の最大磁束密度  $B_m$ 、及び  $B_m$  はそれぞれ、ギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア 10'、及び 20' の最大磁束密度  $B_{1m}$ 、及び  $B_{2m}$  に等しくなるように調整される。なお、式 (29)、及び (30) において、 $T$  は、励磁電流の 1 周期に相当する。

30

【0042】

以上、図 1 (a) ~ (f) を参照して、本発明に係る磁化曲線の算定方法の原理について説明した。次に図 2 ~ 8 を参照して、本発明に係る 1 つの実施形態における磁化曲線 (B-H 曲線) を算定する方法について説明する。図 2 は、本発明に係る 1 つの実施形態における磁化曲線算定方法のフローを示す図である。

【0043】

図 2 に示す方法では、まずステップ S101 において、測定対象の磁性体コアの透磁率が  $\mu$  である磁性体にそれぞれ巻回される 1 次巻線、及び 2 次巻線の 1 次電圧  $V_1$ 、及び 2 次電圧  $V_2$  を測定する第 1 の方法で測定して、磁化曲線、及び最大磁束密度を算定する。これは、図 1 (a) の磁性体コア 10 に励磁電流を印加して、図 1 (b) の磁性体コア 10' と仮定した磁性体コアの磁化曲線を算定することに対応する。

40

【0044】

次いで、ステップ S102 において、測定対象の磁性体コアの透磁率が  $\mu$  である磁性体に巻回される 1 次巻線、及び透磁率が  $\mu$  である磁性体に巻回される 2 次巻線の 1 次電圧  $V_1$ 、及び 2 次電圧  $V_2$  を測定する第 2 の方法で測定して、磁化曲線、及び最大磁束密度を算定する。これは、図 1 (d) の磁性体コア 10 に励磁電流を印加して、図 1 (e) の磁性体コア 20' と仮定した磁性体コアの磁化曲線を算定することに対応する。

50



## 【0045】

次いで、ステップS103において、処理は、透磁率が $\mu$ である磁性体で形成され、かつ磁路中にギャップを有しないギャップなし磁性体コアの1次電圧 $V_1$ 、及び2次電圧 $V_2$ を測定して、磁化曲線を算定する。これは、図1(c)のギャップなし磁性体コア30の磁化曲線を算定することに対応する。

## 【0046】

次いで、ステップS104において、処理は、透磁率が $\mu$ である磁性体で形成され、かつ磁路中にギャップを有しないギャップなし磁性体コアの1次電圧 $V_1$ 、及び2次電圧 $V_2$ を測定して、磁化曲線を算定する。これは、図1(f)のギャップなし磁性体コア40の磁化曲線を算定することに対応する。

10

## 【0047】

そして、ステップS105において、処理は、磁性体コア10の試料定数を算定する。具体的には、ステップS101～S104で算定された磁化曲線により、式(4)、(14)、及び(21)などを使用して、磁性体コア10のギャップの実効断面積 $A_g$ を算定することなどが、ステップS105において実施される。

## 【0048】

以下、ステップS101～S105のそれぞれのステップについて詳細に説明する。まず、図3、及び4を参照して、ステップS101における磁化曲線、及び最大磁束密度の算定方法を詳細に説明する。

## 【0049】

図3は、測定対象の磁性体コアの1次電圧 $V_1$ 、及び2次電圧 $V_2$ を、第1の方法で測定する測定装置1を示す図である。測定装置1は、磁性体101、及び102、並びに101、及び102と、磁性体101に巻回される1次巻線11と、及び磁性体102に巻回される2次巻線12と、1次巻線11に励磁電流 $i_1$ を印加する信号発生器90と、1次巻線11に印加される励磁電流 $i_1$ を1次電圧 $V_1$ として測定する1次電圧計91と、2次巻線12に発生する2次電圧 $V_2$ を測定する2次電圧計92と、励磁電流 $i_1$ を1次電圧 $V_1$ に変換するシャント抵抗93とを有する。

20

## 【0050】

磁性体101、及び102の断面の面積及び形状は、一定である。したがって、磁性体101、及び102の断面の面積は、磁路中のいずれの部分であっても一定である。また、磁性体101、及び102の断面の形状は、磁路中のいずれの部分であっても同一である。

30

## 【0051】

また、磁性体101、及び102の断面の面積及び形状は、一定である。したがって、磁性体101、及び102の断面の面積は、磁路中のいずれの部分であっても一定である。また、磁性体101、及び102の断面の形状は、磁路中のいずれの部分であっても同一である。

## 【0052】

また、磁性体101、及び101の間、磁性体101、及び102の間、磁性体102、及び102の間、並びに磁性体102、及び101の間にそれぞれ形成される4つのギャップの実効磁路長は、互いに等しい。

40

## 【0053】

1次巻線11は、磁性体コアに励磁電流 $i_1$ を印加するために、磁性体101に巻回される。また、2次巻線12は、磁性体コアの磁束密度を算定するために使用される2次電圧 $V_2$ を検出するために、磁性体102に巻回される。1次巻線11、及び2次巻線12は、被覆導線とすることができる。

## 【0054】

信号発生器90は、1次巻線11の口出し線に電氣的に接続されて、1次巻線11に励磁電流 $i_1$ を印加する。信号発生器90として、一般に使用されるファンクションジェネレータを使用することができる。

50

## 【 0 0 5 5 】

1次電圧計91は、1次巻線11の口出し線と信号発生器90との間に電氣的に接続されるシャント抵抗93の両端に生じる電圧を測定する。好適には、1次電圧計91は、シャント抵抗93の両端に生じる電圧を経時的に記憶し、かつ表示する機能を有する。

## 【 0 0 5 6 】

2次電圧計92は、2次巻線12の口出し線に電氣的に接続されて、2次巻線12の口出し線の両端に生じる電圧を測定する。好適には、2次電圧計92は、2次巻線12の口出し線の両端に生じる電圧を経時的に記憶し、かつ表示する機能を有する。さらに好適には、2次巻線12の口出し線の両端に経時的に生じる電圧を生じる時間に亘って積分した積分値を記憶し、かつ表示する機能を有する。

10

## 【 0 0 5 7 】

次に図4を参照して、測定装置1により磁化曲線、及び最大磁束密度を算定する方法について、詳細に説明する。図4は、測定装置1により磁化曲線、及び最大磁束密度を算定するフローを示す図である。

## 【 0 0 5 8 】

まず、ステップS201において、処理は、1次巻線11に信号発生器90から励磁電流 $i_1$ を印加することにより開始される。励磁電流 $i_1$ は、適当な振幅、及び周波数を有する正弦波にすることができる。

## 【 0 0 5 9 】

次いで、ステップS202において、処理は、1次電圧計91、及び2次電圧計92でそれぞれ測定される1次電圧 $V_1$ 、及び2次電圧 $V_2$ から、磁性体コアを、透磁率が $\mu_1$ であり、かつギャップを有しない磁性体コアであると仮定して、磁界の強さ $H_1$ 、及び磁束密度 $B_1$ を算定する。

20

## 【 0 0 6 0 】

磁界の強さ $H_1$ は、1次電圧計91で測定される1次電圧 $V_1$ を式(3)に代入することにより算出される。一方、磁束密度 $B_1$ は、マックスウェルの方程式から導かれる、

## 【 数 2 3 】

$$B_1 = \frac{1}{N_2 A_\alpha} \int_0^T V_2 dt \quad (31)$$

30

に2次電圧計92で測定される2次電圧 $V_2$ を代入することにより算出される。2次電圧計92が、2次電圧 $V_2$ の経時変化を積分した積分値を記憶する機能を有する場合は、2次電圧計92は、磁束密度 $B_1$ を算出するために2次電圧 $V_2$ の複数の積分値を記憶できる。

## 【 0 0 6 1 】

次いで、処理は、ステップS203において、磁化曲線、及び最大磁束密度 $B_{1m}$ を算定する。磁化曲線は、時間の関数である磁界の強さ $H_1$ と、磁束密度 $B_1$ とを励磁電流 $i_1$ の1周期(式(31)の $T$ に相当)に亘って相関させることにより算定される。また、最大磁束密度 $B_{1m}$ は、ステップS202において算出された磁束密度 $B_1$ の中で最大値を算定することにより算定される。

40

## 【 0 0 6 2 】

ここまで、図3、及び4を参照して、図2に示されるステップS101において、磁性体コアの磁性体101に巻回される1次巻線の1次電圧 $V_1$ 、及び磁性体102に巻回される2次巻線の2次電圧 $V_2$ を測定して、磁化曲線、及び最大磁束密度を算定する処理について説明してきた。次に、図4、及び5を参照して、図2のステップS102について説明する。

## 【 0 0 6 3 】

50

図5は、測定対象の磁性体コアの1次電圧 $V_1$ 、及び2次電圧 $V_2$ を、図3で示される第1の方法と異なる第2の方法で測定する測定装置2を示す図である。測定装置2において、2次巻線12が磁性体102に巻回されずに、磁性体102に巻回されることのみが、図3に示される測定装置1と相違する。したがって、測定装置2では、測定装置1と測定対象の磁性体コアの試料定数は同一であり、磁性体101、及び102の断面積、及び断面形状は、磁路に亘って一定である。また、磁性体101、及び102の断面積、及び断面形状は、磁路に亘って一定である。さらに、磁性体コア20に形成される4つのギャップの実効磁路長はそれぞれ、互いに等しい。

【0064】

次に図4を再び参照して、測定装置2により磁化曲線、及び最大磁束密度を算定する方法について、説明する。図4は、測定装置1を使用してステップS101の処理を実行するフローであるとともに、測定装置2を使用してステップS102の処理を実行するフローである。

【0065】

まず、ステップS201において、処理は、1次巻線11に信号発生器90から励磁電流 $i_1$ を印加することにより開始される。1次巻線11に印加される励磁電流 $i_1$ は、測定装置1で印加される励磁電流と同一の波形を有する電流とする。例えば、測定装置1で印加される励磁電流が正弦波である場合、同一の振幅、及び周波数を有する電流が1次巻線11に印加される。

【0066】

次いで、ステップS202において、処理は、1次電圧計91、及び2次電圧計92でそれぞれ測定される1次電圧 $V_1$ 、及び2次電圧 $V_2$ から、磁性体コア20を、透磁率が $\mu_2$ であり、かつギャップを有しない磁性体コアであると仮定して、磁界の強さ $H_2$ 、及び磁束密度 $B_2$ を算定する。

【0067】

磁界の強さ $H_2$ は、1次電圧計91で測定される1次電圧 $V_1$ を式(13)に代入することにより算出される。一方、磁束密度 $B_2$ は、マックスウェルの方程式から導かれる、

【数24】

$$B_2 = \frac{1}{N_2 A_\beta} \int_0^T V_2 dt \quad (32)$$

に2次電圧計92で測定される2次電圧 $V_2$ を代入することにより算出される。2次電圧計92が、2次電圧 $V_2$ の経時変化を積分した積分値を記憶する機能を有する場合は、2次電圧計92は、磁束密度 $B_2$ を算出するために2次電圧 $V_2$ の複数の積分値を記憶できる。

【0068】

次いで、処理は、ステップS203において、磁化曲線、及び最大磁束密度 $B_{2m}$ を算定する。磁化曲線は、時間の関数である磁界の強さ $H_2$ と、磁束密度 $B_2$ とを励磁電流 $i_1$ の1周期(式(32)の $T$ に相当)に亘って相関させることにより算定される。また、最大磁束密度 $B_{2m}$ は、ステップS202において算出された磁束密度 $B_2$ の中で最大値を算定することにより算定される。

【0069】

ここまで、図4、及び5を参照して、図2に示されるステップS102において、測定対象の磁性体コアの磁性体101に巻回される1次巻線の1次電圧 $V_1$ 、及び磁性体102に巻回される2次巻線の2次電圧 $V_2$ を測定して、磁化曲線、及び最大磁束密度を算定する処理について説明してきた。次に、図2のステップS103について説明する。

【0070】

10

20

30

40

50

図 2 に示すように、ステップ S 1 0 3 において、処理は、磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 と同一の透磁率を有する磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しないギャップなし磁性体コア 3 0 の 1 次電圧  $V_1$ 、及び 2 次電圧  $V_2$  を測定して、磁化曲線を算定する。図 6、及び 7 を参照して、ステップ S 1 0 3 における磁化曲線の算定方法を説明する。

#### 【 0 0 7 1 】

図 6 は、磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 と同一の透磁率  $\mu$  を有する磁性体により形成され、かつギャップを有しないギャップなし磁性体コア 3 0 の 1 次電圧  $V_1$ 、及び 2 次電圧  $V_2$  を測定する測定装置 3 を示す図である。測定装置 3 は、ギャップなし磁性体コア 3 0 と、ギャップなし磁性体コア 3 0 に巻回される 1 次巻線 3 1、及び 2 次巻線 3 2 と、1 次巻線 3 1 に励磁電流  $i_1$  を印加する信号発生器 9 0 と、1 次巻線 3 1 に生じる 1 次電圧  $V_1$  を測定する 1 次電圧計 9 1 と、2 次巻線 3 2 に発生する 2 次電圧  $V_2$  を測定する 2 次電圧計 9 2 と、励磁電流  $i_1$  を 1 次電圧  $V_1$  に変換するシャント抵抗 9 3 とを有する。

10

#### 【 0 0 7 2 】

ギャップなし磁性体コア 3 0 は、磁路中にギャップを有しない円環状の形状を有する。ギャップなし磁性体コア 3 0 の実効磁路長は、磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 の合計の実効磁路長と同一である。また、ギャップなし磁性体コア 3 0 の断面は、図 3 に示される測定装置 1 の磁性体コアの磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 の断面の面積及び形状と、同一の面積及び形状を有する。

20

#### 【 0 0 7 3 】

ギャップなし磁性体コア 3 0 は、測定装置 1 の磁性体コアの磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 と同一の断面を有するように、ギャップを有さないコアとして同一の磁性体により新たに製造することができる。この場合、ギャップなし磁性体コア 3 0 は、漏れ磁束がないため、測定確度が向上する。

#### 【 0 0 7 4 】

1 次巻線 3 1、及び 2 次巻線 3 2 はそれぞれ、図 3 に示される測定装置 1 の 1 次巻線 1 1、及び 2 次巻線 1 2 と同様な構成、及び機能を有する。

#### 【 0 0 7 5 】

次に図 7 を参照して、測定装置 3 により磁化曲線を算定する方法について、詳細に説明する。図 7 は、測定装置 3 により磁化曲線算定のフローを示す図である。

30

#### 【 0 0 7 6 】

まず、ステップ S 3 0 1 に示すように、処理は、1 次巻線 3 1 に信号発生器 9 0 から励磁電流を印加することにより開始される。励磁電流は、適当な振幅を有する正弦波にすることができる。ここで、励磁電流の周波数は、測定装置 1 の 1 次巻線 1 1 に印加される励磁電流の周波数の同一とする必要がある。磁性体コアの磁化曲線は、励磁電流の周波数により変化するためである。

#### 【 0 0 7 7 】

次いで、ステップ S 3 0 2 において、磁性体コア 3 0 に発生する最大磁束密度  $B_m$  を算出する。具体的には、式 ( 2 9 ) に 2 次電圧  $V_2$  を代入することにより、磁性体コア 3 0 の磁束密度  $B$  を 1 次電圧  $V_1$  の 1 周期に亘り複数の時点で算出して、最大磁束密度  $B_m$  を抽出する。

40

#### 【 0 0 7 8 】

次いで、ステップ S 3 0 3 において、ステップ S 3 0 2 で算出された最大磁束密度  $B_m$  と、測定装置 1 を使用してステップ S 2 0 3 で算出された最大磁束密度  $B_{1m}$  との差が所定のしきい値以下であるか否かを判定する。最大磁束密度  $B_m$ 、及び  $B_{1m}$  の差が所定のしきい値より大きい場合、処理は、ステップ S 3 0 4 において、最大磁束密度  $B_m$ 、及び  $B_{1m}$  と差が小さくなるように、励磁電流を調整する。次いで、処理は、ステップ S 3 0 1 に戻る。

#### 【 0 0 7 9 】

また、最大磁束密度の差が所定のしきい値以下である場合、ステップ S 3 0 5 において

50

、処理は、磁界の強さ  $H$  、及び磁束密度  $B$  を算出する。磁界の強さ  $H$  は、1次電圧計 9 1 で測定される 1 次電圧  $V_1$  を、式 ( 2 7 ) に代入することにより算出される。また、ステップ S 3 0 2 において先に説明したように、磁束密度  $B$  は、2次電圧計 9 2 で測定される 2 次電圧  $V_2$  を、式 ( 2 9 ) に代入することにより算出される。

【 0 0 8 0 】

そして、ステップ S 3 0 6 において、処理は、磁化曲線を算定する。ステップ S 2 0 3 において先に説明したように、磁化曲線は、時間の関数である磁界の強さ  $H$  と、磁束密度  $B$  とを励磁電流の 1 周期に亘って相関させることにより算定される。

【 0 0 8 1 】

ここまで、図 6、及び 7 を参照して、図 2 に示されるステップ S 1 0 3 において、透磁率が  $\mu$  であり、かつギャップを有しないギャップなし磁性体コア 3 0 の 1 次電圧  $V_1$ 、及び 2 次電圧  $V_2$  を測定して、磁化曲線を算定する処理について説明してきた。次に、図 2 のステップ S 1 0 4 について説明する。

【 0 0 8 2 】

図 2 に示すように、ステップ S 1 0 4 において、処理は、磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 と同一の透磁率  $\mu$  である磁性体により形成され、かつ磁路中にギャップを有しないギャップなし磁性体コア 4 0 の 1 次電圧  $V_1$ 、及び 2 次電圧  $V_2$  を測定して、磁化曲線を算定する。図 7、及び 8 を参照して、ステップ S 1 0 4 における磁化曲線の算定方法を説明する。

【 0 0 8 3 】

図 8 は、透磁率が  $\mu$  である磁性体により形成され、かつギャップを有しないギャップなし磁性体コア 4 0 の 1 次電圧  $V_1$ 、及び 2 次電圧  $V_2$  を測定する測定装置 4 を示す図である。測定装置 4 において、磁性体コアを形成する磁性体が、図 6 に示される測定装置 3 と相違する。すなわち、磁性体コア 4 0 は、図 5 に示される測定装置 2 の磁性体コアの磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 と同一の透磁率  $\mu$  を有し、かつ実効磁路長が、磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 の合計の実効磁路長と同一である。また、磁性体コア 4 0 は、磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 の断面の面積及び形状と、同一の面積及び形状である断面を有する。

【 0 0 8 4 】

次に図 7 を参照して、測定装置 4 により磁化曲線を算定する方法について、詳細に説明する。図 7 は、測定装置 3 を使用してステップ S 1 0 3 の処理を実行するフローであるとともに、測定装置 4 を使用してステップ S 1 0 4 の処理を実行するフローである。

【 0 0 8 5 】

まず、ステップ S 3 0 1 に示すように、処理は、1次巻線 3 1 に信号発生器 9 0 から励磁電流を印加することにより開始される。励磁電流は、適当な振幅を有する正弦波にすることができる。ここで、励磁電流の周波数は、測定装置 2 の 1 次巻線 1 1 に印加される励磁電流の周波数の同一とする必要がある。磁性体コアの磁化曲線は、励磁電流の周波数により変化するためである。

【 0 0 8 6 】

次いで、ステップ S 3 0 2 において、磁性体コア 4 0 に発生する最大磁束密度  $B_m$  を算出する。具体的には、式 ( 3 0 ) に 2 次電圧  $V_2$  を代入することにより、磁性体コア 4 0 の磁束密度  $B$  を 1 次電圧  $V_1$  の 1 周期に亘り複数の時点で算出して、最大磁束密度  $B_m$  を抽出する。

【 0 0 8 7 】

次いで、ステップ S 3 0 3 において、ステップ S 3 0 2 で算出された最大磁束密度  $B_m$  と、測定装置 2 を使用してステップ S 2 0 3 で算出された最大磁束密度  $B_{2m}$  との差が所定のしきい値以下であるか否かを判定する。最大磁束密度  $B_m$ 、及び  $B_{2m}$  の差が所定のしきい値より大きい場合、処理は、ステップ S 3 0 4 において、最大磁束密度  $B_m$ 、及び  $B_{2m}$  の差が小さくなるように、励磁電流を調整する。次いで、処理は、ステップ S 3 0 1 に戻る。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 8 】

また、最大磁束密度の差が所定のしきい値以下である場合、ステップ S 3 0 5 において、処理は、磁界の強さ  $H$ 、及び磁束密度  $B$  を算出する。磁界の強さ  $H$  は、1次電圧計 9 1 で測定される 1 次電圧  $V_1$  を、式 ( 2 8 ) に代入することにより算出される。また、ステップ S 3 0 2 において先に説明したように、磁束密度  $B$  は、2次電圧計 9 2 で測定される 2 次電圧  $V_2$  を、式 ( 3 0 ) に代入することにより算出される。

## 【 0 0 8 9 】

そして、ステップ S 3 0 6 において、処理は、磁化曲線を算定する。ステップ S 2 0 3 において先に説明したように、磁化曲線は、時間の関数である磁界の強さ  $H$  と、磁束密度  $B$  とを励磁電流の 1 周期に亘って相関させることにより算定される。

10

## 【 0 0 9 0 】

ここまで、図 7、及び 8 を参照して、図 2 に示されるステップ S 1 0 4 において、透磁率が  $\mu$  である磁性体で形成され、かつ磁路中にギャップを有しないギャップなし磁性体コア 4 0 の 1 次電圧  $V_1$ 、及び 2 次電圧  $V_2$  を測定して、磁化曲線を算定する処理について説明してきた。再び図 2 を参照して、本発明に係る 1 つの実施形態における磁化曲線算定のフローの説明を続ける。

## 【 0 0 9 1 】

次に、ステップ S 1 0 5 において、処理は、測定対象の磁性体コアの試料定数を算定する。具体的には、ステップ S 1 0 5 において、測定対象の磁性体コアのギャップの実効断面積  $A_g$  を算定する。

20

## 【 0 0 9 2 】

まず、測定対象の磁性体コアのギャップの実効断面積  $A_g$  を算定するために、ギャップの磁界の強さ  $H_g$  を算出する。ギャップの磁界の強さ  $H_g$  は、式 ( 4 )、及び ( 1 4 ) を変形した式 ( 3 3 ) にそれぞれの磁気特性値、及び試料定数を代入することにより算出される。

## 【 数 2 5 】

$$H_g = \left( \frac{L_\alpha}{L_g} \right) \frac{H_1 - H_\alpha - \left( \frac{L_\beta}{L_\alpha} \right) H_\beta}{n} = \left( \frac{L_\beta}{L_g} \right) \frac{H_2 - H_\beta - \left( \frac{L_\alpha}{L_\beta} \right) H_\alpha}{n} \quad (33)$$

30

ここで、磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 の合計の実効磁路長  $L$ 、磁性体 1 0 1、及び 1 0 2 の合計の実効磁路長  $L$ 、1 つ当たりのギャップの実効磁路長  $L_g$ 、及びギャップの数  $n$  は、既知である。また、ギャップを有しない磁性体コアであると仮定した磁性体コア 1 0 ' の磁界の強さ  $H_1$ 、及びギャップなし磁性体コア 3 0 の磁界の強さ  $H$  はそれぞれ、最大磁束密度  $B_{1m}$ 、及び  $B_m$  が同一になるように測定した時の、ギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア 1 0 '、及びギャップなし磁性体コア 3 0 のそれぞれの磁界の強さである。さらに、ギャップを有しない磁性体コアであると仮定した磁性体コア 2 0 ' の磁界の強さ  $H_2$ 、及びギャップなし磁性体コア 4 0 の磁界の強さ  $H$  はそれぞれ、最大磁束密度  $B_{2m}$ 、及び  $B_m$  が同一になるように測定した時の、ギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア 2 0 '、及びギャップなし磁性体コア 4 0 のそれぞれの磁界の強さである。次いで、ギャップの磁束密度  $B_g$  が式 ( 3 4 ) から算出される。

40

【数 2 6】

$$B_g = \mu_0 H_g \quad (34)$$

そして、式(21)を変形した式(35)にそれぞれの磁気特性値、及び試料定数を代入することにより、ギャップの実効断面積  $A_g$  が算定される。

【数 2 7】

$$A_g = \frac{B_1 A_{\alpha}}{B_g} = \frac{B_2 A_{\beta}}{B_g} = \frac{B_{\alpha} A_{\alpha}}{B_g} = \frac{B_{\beta} A_{\beta}}{B_g} \quad (35)$$

ここで、 $A_{101}$  は、磁性体 101、及び 102 の実効断面積であり、 $A_{102}$  は、磁性体 101、及び 102 の実効断面積である。また、 $B_1$  は、例えばステップ S101 で算定された磁化曲線の最大磁束密度  $B_{1m}$  であり、 $B_2$  は、例えば最大磁束密度  $B_{1m}$  に対応するステップ S103 で算定された磁化曲線の最大磁束密度  $B_{2m}$  である。さらに、 $B_{\alpha}$  は、例えばステップ S102 で算定された磁化曲線の最大磁束密度  $B_{2m}$  であり、 $B_{\beta}$  は、例えば最大磁束密度  $B_{2m}$  に対応するステップ S104 で算定された磁化曲線の最大磁束密度  $B_{1m}$  である。

【0093】

また、透磁率  $\mu_1$ 、及び  $\mu_2$ 、並びに  $\mu_3$ 、及び  $\mu_4$  を使用して、実効断面積  $A_g$  を算出できる。まず、磁性体コアのギャップの実効断面積  $A_g$  を算定するために、透磁率  $\mu_1$ 、及び  $\mu_2$  と、の透磁率  $\mu_3$ 、及び  $\mu_4$  とが算出される。当業者に周知であるように、透磁率は、磁化曲線、すなわち B-H 曲線の傾きから算出される。

【0094】

次いで、算出された透磁率  $\mu_1$ 、及び  $\mu_2$ 、並びに  $\mu_3$ 、及び  $\mu_4$  を式(11)、及び(20)にそれぞれ代入する。式(11)、及び(20)の磁気特性値、及び試料定数の中で、磁性体 101、及び 102 の実効断面積  $A_{101}$ 、及び合計の実効磁路長  $L_{101}$ 、磁性体 101、及び 102 の実効断面積  $A_{102}$ 、及び合計の実効磁路長  $L_{102}$ 、並びに 1 つ当たりのギャップの実効磁路長  $L_g$  はそれぞれ既知である。式(11)、及び(20)にこれらの値を代入することにより、ギャップの実効断面積  $A_g$  が算出される。

【0095】

以上、図 2 ~ 8 を参照して、本発明の第 1 の実施形態について説明した。次に、第 1 の実施形態と異なる種々の実施形態について、説明する。

【0096】

まず、本発明の第 2 の実施形態について説明する。第 2 の実施形態は、磁性体コアを形成する 2 つの透磁率を有する磁性体の実効断面積がそれぞれ等しい実施形態である。すなわち、第 2 の実施形態では、透磁率が  $\mu_1$  である磁性体の実効断面積  $A_{101}$  が、透磁率が  $\mu_2$  である磁性体の実効断面積  $A_{102}$  に等しい。

【0097】

図 9 を参照して、本発明の第 2 の実施形態について説明する。図 9 は、第 2 の実施形態に従って、磁化曲線を算定するフローを示す図である。図 9 に示すように、第 2 の実施形態の算定フローは、図 2 に示す第 1 の実施形態の算定フローと比較して、測定対象の磁性体コアの磁化曲線を 1 つの方法のみで算定していることが異なる。これは、磁性体コアを形成する異なる透磁率を有する 2 つの磁性体の実効断面積がそれぞれ等しい場合には、式

10

20

30

40

50

(25)に示されるように、測定対象の磁性体コアの磁束密度が、磁路に亘って保存されるためである。

【0098】

具体的には、ステップS401において、処理は、ステップS101と同様に、図3の測定装置1を使用して、磁性体102に巻回される2次巻線12により2次電圧を測定できる。また、処理は、ステップS102と同様に、図4の測定装置2を使用して、磁性体102に巻回される2次巻線12により2次電圧を測定できる。

【0099】

ステップS402～S404はそれぞれ、図2に示すステップS103～S105にそれぞれ対応する。このようにAとA'とが等しい場合には、第1の実施形態と比較して、処理ステップを1つ省略することができる。

10

【0100】

次に、本発明の第3の実施形態について説明する。第3の実施形態は、ステップS103において使用される測定装置を形成する方法が第1の実施形態と相違する。すなわち、図2のステップS102において、透磁率が $\mu$ であり、かつギャップを有しないギャップなし磁性体コアの測定を行うために、磁性体101、および102を除去し、磁性体101、および102の間に形成されるギャップを詰める。すなわち、磁性体101、および102の間に形成されていたギャップの実効磁路長をそれぞれ0にすることにより、ギャップなし磁性体コアが形成される。

【0101】

20

図10は、第3の実施形態において、透磁率が $\mu$ であり、かつギャップを有しないギャップなし磁性体コアを測定する測定装置5を示す図である。図5に示されるように、透磁率が $\mu$ である磁性体101、および102の端面をそれぞれ接触させることにより、ギャップなし磁性体コアが形成される。このため、ギャップなし磁性体コアを新たに製造する必要がなく、算定に必要なコストを低減することができる。

【0102】

次に、本発明の第4の実施形態について説明する。第4の実施形態では、透磁率が $\mu$ であり、かつギャップを有しないギャップなし磁性体コアの実効磁路長が第1の実施形態と異なる。

【0103】

30

図11は、第4の実施形態において使用される透磁率が $\mu$ であり、かつギャップを有しないギャップなし磁性体コアを測定する測定装置6を示す図である。図9に示されるように、ギャップなし磁性体コア60の実効磁路長 $L'$ は、図3に示す磁性体101、及び102の合計の実効磁路長 $L$ よりも長い。本実施形態では、ステップS305において、ギャップなし磁性体コア50の実効磁路長 $L'$ を使用して磁界の強さが算出される。そして、ステップS306において、ギャップなし磁性体コア50の実効磁路長 $L'$ を使用して算出された磁界の強さと、磁束密度とを相関させることにより、磁化曲線が算定される。このように、ギャップなし磁性体コアの実効磁路長 $L'$ は、図11の磁性体コア60のように磁性体101、及び102の合計の実効磁路長 $L$ とは異なってもよい。しかしながら、第1のギャップなし磁性体コアの断面積、及び断面形状は、一

40

【0104】

さらに、ギャップなし磁性体コア60の実効断面積 $A'$ 、及びギャップなし磁性体コア60に巻回される2次巻線32の巻数 $N_2'$ はそれぞれ、ギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア10'の実効断面積 $A$ 、及びギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア10'に巻回される2次巻線12の巻数 $N_2$ と異なってもよい。いずれの場合も、図7のステップS301～S304において、ギャップなし磁性体コア60の最大磁束密度 $B_{m'}$ が、ギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア10'の最大磁束密度 $B_{1m}$ に等しくなるように励磁電流 $i_1$ を調整すれば所望の磁化曲線を取得できる。さらに、ギャップなし磁性体コア60の断面の形状もまた、磁性体101、及び1

50



0 2の断面の形状と同一でなくてもよい。

【0105】

同様に、図8に示すギャップなし磁性体コア40の実効断面積 $A_4'$ 、及びギャップなし磁性体コア40に巻回される2次巻線32の巻数 $N_2'$ はそれぞれ、ギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア20'の実効断面積 $A_2'$ 、及びギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア10'に巻回される2次巻線12の巻数 $N_2$ と異なってもよい。いずれの場合も、図7のステップS301~S304において、ギャップなし磁性体コア20の最大磁束密度 $B_m$ が、ギャップを有しない磁性体コアと仮定した磁性体コア20'の最大磁束密度 $B_{2m}$ に等しくなるように励磁電流 $i_1$ を調整すれば所望の磁化曲線を取得できる。さらに、ギャップなし磁性体コア40の断面の形状もまた、磁性体101、及び102の断面の形状と同一でなくてもよい。

10

【0106】

次に、本発明の第5の実施形態について説明する。第5の実施形態では、測定装置3、及び4により、ギャップなし磁性体コア30、及び40の磁化曲線をそれぞれ算定する方法において、第1の実施形態と相違する。以下、図12を参照しながら、第1の実施形態との相違点を簡単に説明する。

【0107】

図12は、第5の実施形態において測定装置2により磁化曲線を算定するフローを示す図である。図12のフローのステップS502、及びS503はそれぞれ、図7のフローのステップS302、及びS303と相違する。すなわち、図7のフローのステップ302では、磁性体コア20に発生する最大磁束密度を算出していたのに対し、図12のフローのステップS502では、2次電圧の最大値を測定する。次いで、ステップS202で測定した2次電圧の最大値と、S502で測定した2次電圧の最大値との差がしきい値以下か否かを判定する。

20

【0108】

このように、第5の実施形態では、2次電圧の差に基づいて、磁性体コア、及びギャップなし磁性体コアの磁束密度の大きさが同一であるか否かが判断される。このため、第5の実施形態では、最大磁束密度を算出する必要がなく、1次量である2次電圧の測定のみに基づいて励磁電流を調整できる。この結果、第1の実施形態よりも、処理工程が簡便になる。なお、第5の実施形態では、磁性体101、及び102の実効断面積と、磁性体コア30の実効断面積とが同一であること、及び測定装置1の2次巻線の巻数と、測定装置3の2次巻線の巻数とは、同一であることが必要である。また、磁性体101、及び102の実効断面積と、磁性体コア40の実効断面積とが同一であること、及び測定装置2の2次巻線の巻数と、測定装置4の2次巻線の巻数とは、同一であることが必要である。

30

【0109】

次に、本発明の第6の実施形態について説明する。第6の実施形態では、図2に示すステップS101、及びS102に対応する処理を同時に行うことが第1の実施形態と相違する。以下、図13、及び14を参照しながら、第1の実施形態との相違点を簡単に説明する。

40

【0110】

図13は、第6の実施形態において測定対象の磁性体コアの1次電圧 $V_1$ 、及び2次電圧 $V_2$ を測定する測定装置7を示す図である。図13に示される測定装置7は、2次巻線12が磁性体102に巻回されるとともに、2次巻線12が磁性体102に巻回される。このため、1次巻線11に励磁電流 $i_1$ を印加して、1次電圧計91、並びに2次電圧計92、及び92に生じる電圧を測定できる。したがって、磁性体コア10を、透磁率が $\mu_1$ であり、かつギャップを有しない磁性体コア10'であると仮定した磁界の強さ $H_1$ 、及び磁束密度 $B_1$ 並びに磁性体コア20を、透磁率が $\mu_2$ であり、かつギャップを有しない磁性体コア20'であると仮定した磁界の強さ $H_2$ 、及び磁束密度 $B_2$ を同時に測定することができる。このように、測定装置7を使用することにより、図2に示され

50

るステップ S 1 0 1、及び S 1 0 2 の処理を同時に実行することができる。

【 0 1 1 1 】

図 1 4 は、第 6 の実施形態において測定装置 7 により磁化曲線を算定するフローを示す図である。上述のように、ステップ S 7 0 1 において、磁性体コア 1 0 を、透磁率が  $\mu_1$  であり、かつギャップを有しない磁性体コア 1 0' であると仮定した磁界の強さ  $H_1$ 、及び磁束密度  $B_1$  並びに磁性体コア 2 0 を、透磁率が  $\mu_2$  であり、かつギャップを有しない磁性体コア 2 0' であると仮定した磁界の強さ  $H_2$ 、及び磁束密度  $B_2$  を同時に測定する。そして、測定された磁界の強さ  $H_1$ 、及び磁束密度  $B_1$  並びに磁界の強さ  $H_2$ 、及び磁束密度  $B_2$  から、最大磁束密度  $B_{1m}$ 、及び  $B_{2m}$ 、並びに対応する磁化曲線をそれぞれ算定する。なお、図 1 4 のステップ S 7 0 2 ~ S 7 0 4 はそれぞれ、図 2 のステップ S 1 0 3 ~ S 1 0 5 に対応する。

10

【 0 1 1 2 】

これまで、図 1 ~ 1 4 を参照して、本発明の様々な実施形態について説明してきた。しかしながら、本発明は、上述の実施形態に限定して解釈されるものではない。例えば、上述の実施形態では、信号発生器 9 0、1 次電圧計 9 1、2 次電圧計 9 2、及びシャント抵抗 9 3 は、個別の装置である。しかしながら、これらの装置は、岩通計測（株）から入手可能な B - H アナライザに代替することができる。

【 0 1 1 3 】

また、図 2 に示すステップ S 1 0 1、及び S 1 0 2 の前に、ステップ S 1 0 3、及び S 1 0 4 をそれぞれ実行することができる。この場合、最大磁束密度  $B_{1m}$ 、及び  $B_m$  が同一になるように、ステップ S 1 0 3 において励磁電流を調整する代わりに、ステップ S 1 0 1 において励磁電流を調整することができる。さらに、最大磁束密度  $B_{2m}$ 、及び  $B_m$  が同一になるように、ステップ S 1 0 4 において励磁電流を調整する代わりに、ステップ S 1 0 2 において励磁電流を調整することができる。

20

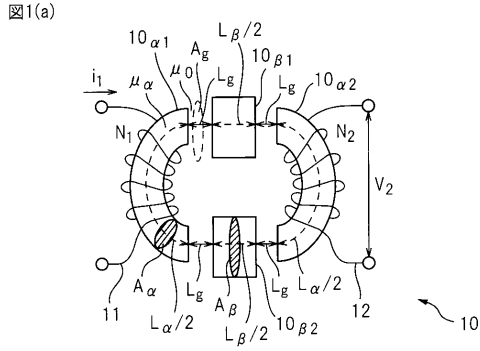
【 符号の説明 】

【 0 1 1 4 】

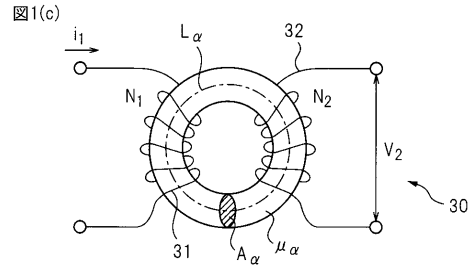
- 1 0、2 0      ギャップあり磁性体コア
- 1 1、3 1      1 次巻線
- 1 2、3 2      2 次巻線
- 3 0、4 0、6 0      ギャップなし磁性体コア
- 9 0      信号発生器
- 9 1      1 次電圧計
- 9 2      2 次電圧計
- 9 3      シャント抵抗

30

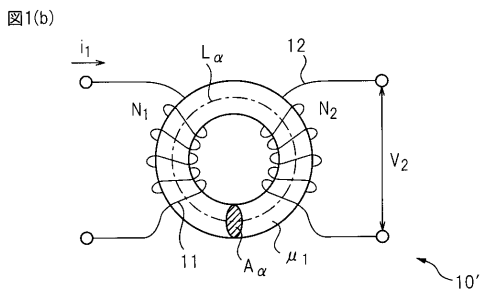
【 図 1 ( a ) 】



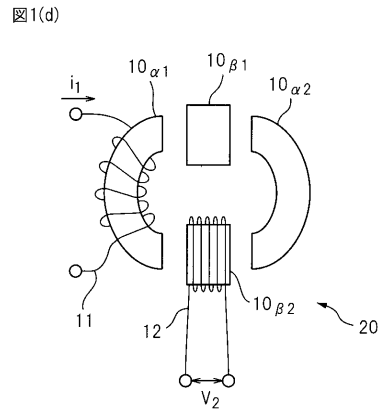
【 図 1 ( c ) 】



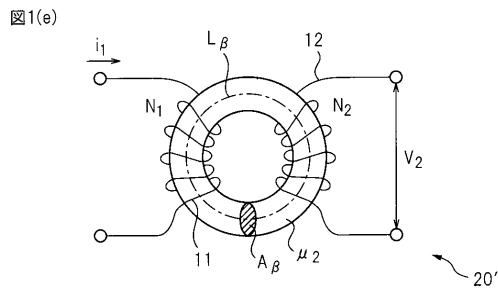
【 図 1 ( b ) 】



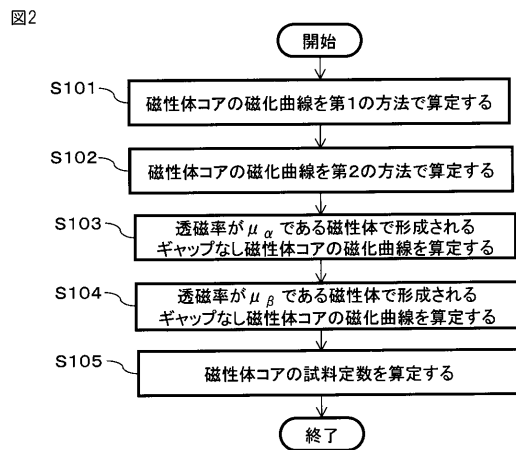
【 図 1 ( d ) 】



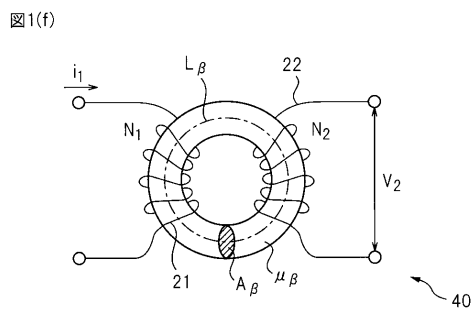
【 図 1 ( e ) 】



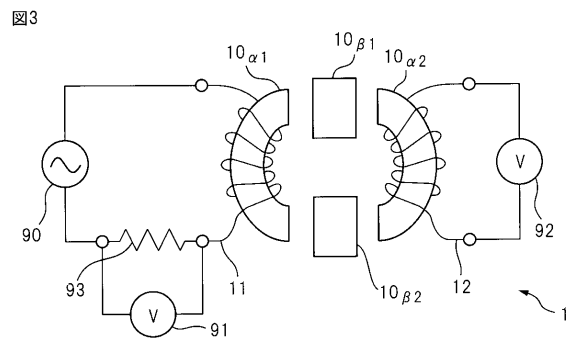
【 図 2 】



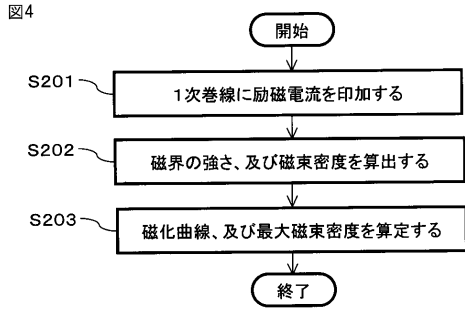
【 図 1 ( f ) 】



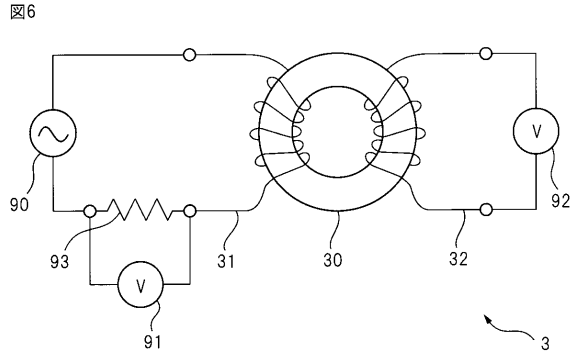
【 図 3 】



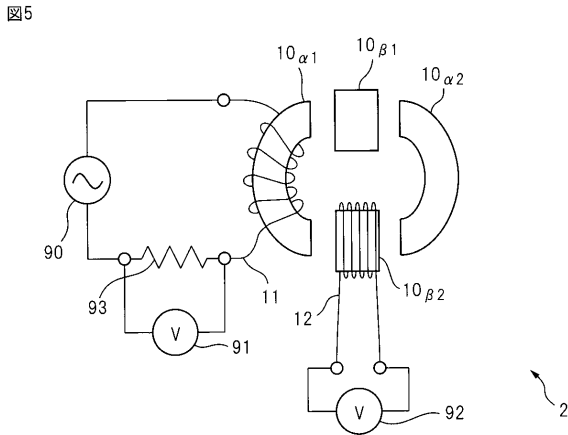
【 図 4 】



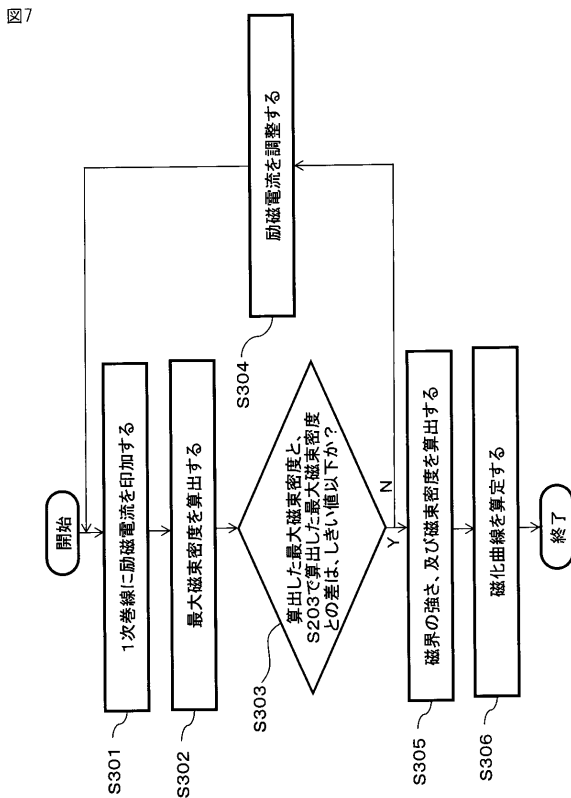
【 図 6 】



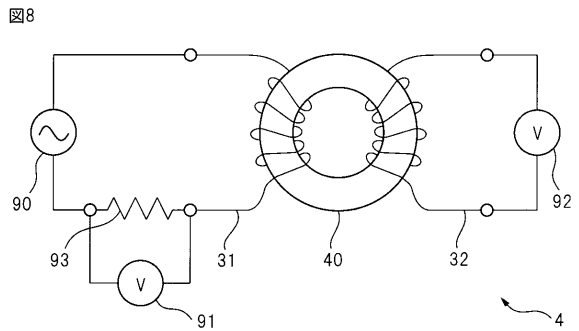
【 図 5 】



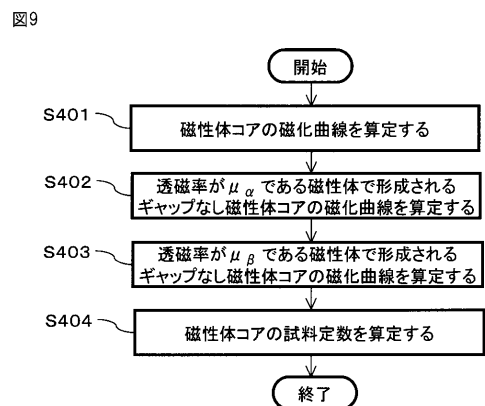
【 図 7 】



【 図 8 】

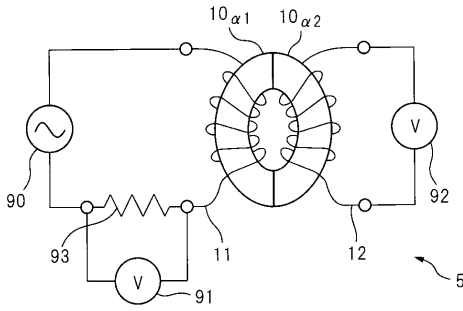


【 図 9 】



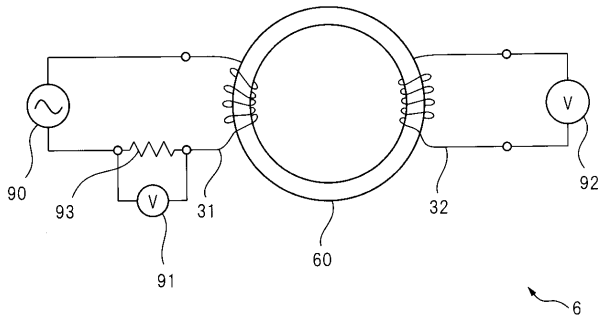
【 図 1 0 】

図10



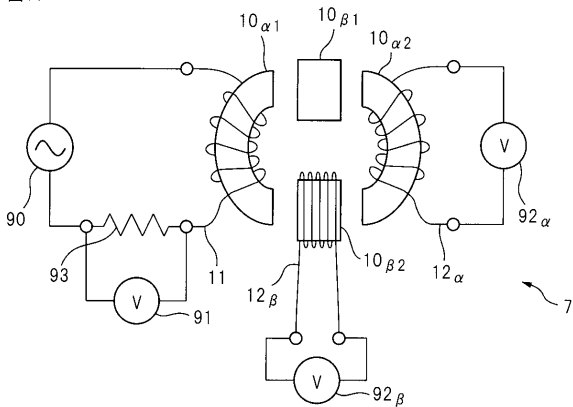
【 図 1 1 】

図11



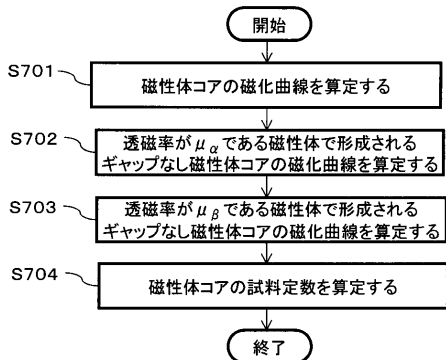
【 図 1 3 】

図13



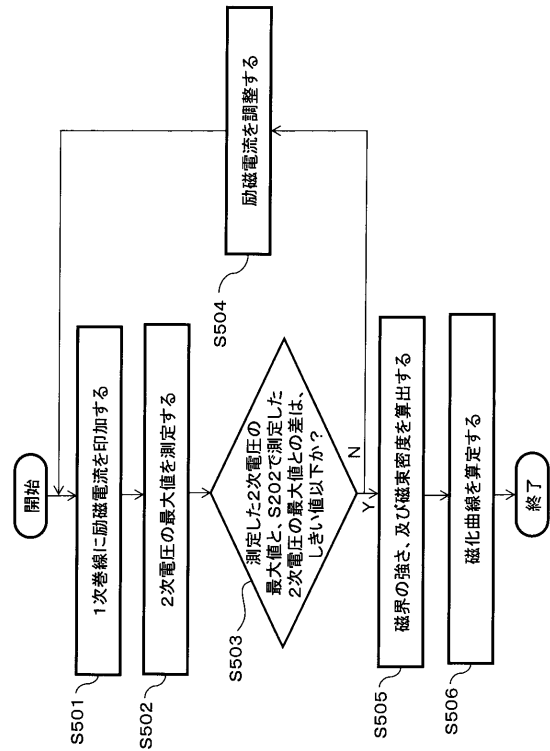
【 図 1 4 】

図14



【 図 1 2 】

図12



---

フロントページの続き

(74)代理人 100160716

弁理士 遠藤 力

(72)発明者 清水 敏久

東京都八王子市南大沢 1 丁目 1 番地 首都大学東京 南大沢キャンパス内

(72)発明者 高野 耕至

東京都杉並区久我山 1 丁目 7 番 4 1 号 岩通計測株式会社内

(72)発明者 齋藤 泰典

東京都杉並区久我山 1 丁目 7 番 4 1 号 岩通計測株式会社内

(72)発明者 石井 仁

東京都杉並区久我山 1 丁目 7 番 4 1 号 岩通計測株式会社内

Fターム(参考) 2G017 AA07 AA10 AD01 AD04 AD05 BA01 BA03 CA02 CB02 CB15  
CB20