

(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2013-7649

(P2013-7649A)

(43) 公開日 平成25年1月10日(2013.1.10)

(51) Int.Cl.  
G01R 33/02 (2006.01)

F I  
G O 1 R 33/02

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 7 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2011-140523 (P2011-140523)  
(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

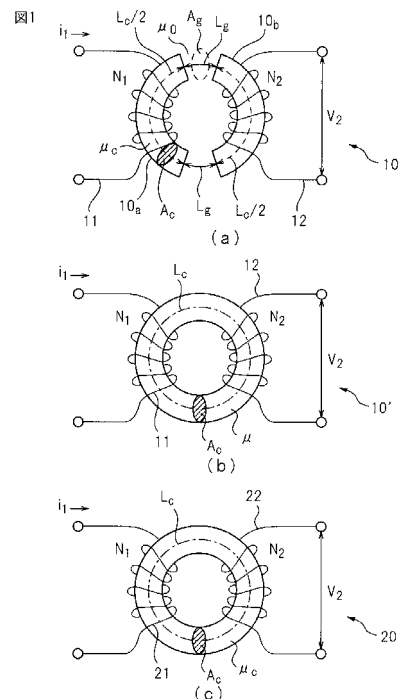
(54) 【発明の名称】 磁化曲線の算定方法

(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】 磁性体コア10の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、及び磁性体コアの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し、磁路中にギャップを有しないギャップなし磁性体コア20の1次巻線に第2の励磁電流を印加して、該第2の励磁電流、及び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ことを有し、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ことを特徴とする方法。

【選択図】 図1



## 【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、

前記磁性体コアの 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、及び前記磁性体コアの 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第 1 算定ステップと、

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、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、

10

を有し、前記磁性体コアの断面積、及び断面形状は、前記磁路に亘り一定であり、

前記ギャップなし磁性体コアは、前記磁性体コアの磁性体と同一の磁性体から形成されることを特徴とする方法。

## 【請求項 2】

演算式

## 【数 1】

20

$$H = \left\{ n \left( \frac{L_g}{L_c} \right) H_g + H_c \right\}$$

を使用して、前記少なくとも 1 つのギャップの実効断面積を算定する第 3 算定ステップをさらに有する方法であって、

ここで、H 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、

$L_c$  は、前記磁性体コアを形成する磁性体の実効磁路長であり、

30

$H_c$  は、前記第 2 算出ステップで測定される前記ギャップなし磁性体コアの磁界の強さであり、

n は、前記少なくとも 1 つのギャップの数であり、

$H_g$ 、及び  $L_g$  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  $B_g$  を算定する第 4 算定ステップをさらに有する請求項 2 に記載の方法。

## 【請求項 4】

40

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】

前記磁性体コアの 2 次巻線の巻数と、前記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 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ことは、前記第 1 の 2 次電圧の最大電圧と、前記第 2 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。

## 【請求項 6】

前記ギャップなし磁性体コアは、第 1 算定ステップで使用された前記磁性体コアの前記

50

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 2 算定ステップにおいて、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、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 2 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 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法。

【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。 10

【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。 20

【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。 30

【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。 40

【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】

## 【 0 0 0 7 】

上記課題を解決するために、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、磁性体コアの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、及び磁性体コアの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第1算定ステップと、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、を有し、磁性体コアの断面積、及び断面形状は、磁路に亘り一定であり、ギャップなし磁性体コアは、磁性体コアの磁性体と同一の磁性体から形成されることを特徴とする。

10

## 【発明の効果】

## 【 0 0 0 8 】

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】

## 【 0 0 0 9 】

【図1】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。

20

【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2の磁化曲線算定のフローを示す図である。

【図7】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8】図7の測定装置を利用する第2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第2の測定装置を示す図である。

30

【図10】本発明に係る他の実施形態における第2の磁化曲線算定のフローを示す図である。

【図11】本発明に係る1つの実施例における第1の測定装置を示す図である。

【図12】本発明に係る他の実施例における第1の1次電圧、及び2次電圧の測定結果を示す図である。

【図13】本発明に係る他の実施例における第2の1次電圧、及び2次電圧の測定結果を示す図である。

【図14】本発明に係る1つの実施例における磁化曲線を示す図である。

【図15】本発明に係る1つの実施例における磁化曲線を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

40

## 【 0 0 1 0 】

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も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。

## 【 0 0 1 1 】

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、2つ

50

のギャップを形成するため、磁性体 10 a、及び 10 b を有する。磁性体 10 a、及び 10 b の実効磁路長はそれぞれ、 $L_c / 2$  であり、合計の実効磁路長は、 $L_c$  になる。

【0012】

また、磁性体 10 a、及び 10 b 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  $A_c$  であり、磁性体 10 a、及び 10 b 内の磁路に亘って一定である。さらに、磁性体 10 a、及び 10 b の断面の形状は、磁性体 10 a、及び 10 b 内の磁路に亘って一定である。さらに、磁性体 10 a、及び 10 b の透磁率は、 $\mu_c$  である。磁性体コア 10 に形成される 2 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 2 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。

10

【0013】

磁性体コア 10 には、励磁電流  $i_1$  を印加する 1 次巻線 11 と、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 がそれぞれ、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。

【0014】

図 1 (b) において、図 1 (a) の磁性体コア 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  $A_c$  であり、実効磁路長が  $L_c$  であり、かつ透磁率が  $\mu$  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。

20

【0015】

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、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。

【0016】

図 1 (a) の磁性体 10 a、及び 10 b に印加される磁界の強さを  $H_c$  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 2 である。

30

【数 1】

$$N_1 i_1 = n H_g L_g + H_c L_c \quad (1)$$

式 (1) を磁性体コア 10 の実効磁路長  $L_c$  を抜き出すように変形すると、式 (1) は

40

【数 2】

$$N_1 i_1 = \left\{ n \left( \frac{L_g}{L_c} \right) H_g + H_c \right\} L_c \quad (2)$$

で示される。

【0017】

一方、図 1 (b) の磁性体コア 10' に印加される磁界の強さを  $H$  とすると、アンペー

50

ルの法則から以下の式(3)の関係が成り立つ。

【数3】

$$H = \frac{N_1 i_1}{L_c} = \frac{N_1 V_1}{L_c R_s} \quad (3)$$

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、磁性体コア10'に生じる磁界の強さ $H$ は、

【数4】

$$H = \left\{ n \left( \frac{L_g}{L_c} \right) H_g + H_c \right\} \quad (4)$$

20

で示されることが理解される。

【0018】

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

【数5】

$$B = \mu H \quad (5)$$

30

で示される。ここで、 $\mu$ は、磁性体コア10'の透磁率である。磁性体コア10'の透磁率 $\mu$ は、磁性体コア10の実効断面積 $A_c$ 、実効磁路長 $L_c$ 、及び透磁率 $\mu_c$ 、並びに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 $\mu_0$ により、以下のように算出される。

【0019】

まず、磁性体コア10'に形成される磁路の磁気抵抗 $R_c$ は、

【数6】

$$R_c = \frac{L_c}{\mu A_c} \quad (6)$$

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】

$$R_m = \frac{nL_g}{\mu_0 A_g} + \frac{L_c}{\mu_c A_c} \quad (7)$$

で示される。さらに、磁気抵抗  $R_m$  は、磁性体コア 10 の実効断面積  $A_c$ 、及び実効磁路長  $L_c$  を抜き出すように変形すると、

【数 8】

10

$$R_m = \frac{L_c}{A_c} \left\{ \frac{n \left( \frac{L_g}{L_c} \right) \left( \frac{A_c}{A_g} \right)}{\mu_0} + \frac{1}{\mu_c} \right\} \quad (8)$$

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  $R_c$  とは等しくなる。すなわち、

20

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

が成り立つ。式 (9) に式 (6)、及び (8) を代入すると、

【数 9】

$$\frac{L_c}{\mu A_c} = \frac{L_c}{A_c} \left\{ \frac{n \left( \frac{L_g}{L_c} \right) \left( \frac{A_c}{A_g} \right)}{\mu_0} + \frac{1}{\mu_c} \right\} \quad (10)$$

30

となる。これから、両辺から  $L_c$ 、及び  $A_c$  を除することにより、磁性体コア 10' の透磁率  $\mu$  は、

【数 10】

$$\mu = \frac{1}{\left\{ \frac{n \left( \frac{L_g}{L_c} \right) \left( \frac{A_c}{A_g} \right)}{\mu_0} + \frac{1}{\mu_c} \right\}} \quad (11)$$

40

となる。

【0020】

このように、磁性体コア 10 を、ギャップを有しない磁性体コア 10' であると仮定す

50

ることによって、磁性体コア 10 に励磁電流  $i_1$  を印加することにより算定される磁化曲線の物理的な意味が明確になる。

【0021】

図 1 (c) 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 20 が示される。ギャップなし磁性体コア 20 は、磁路中にギャップを有しない円環状の形状を有する。磁性体コア 20 の透磁率は、図 1 (a) の磁性体コア 10 と同一の透磁率  $\mu_c$  である。また、ギャップなし磁性体コア 20 の断面は、図 1 (a) の磁性体コア 10 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 20 の断面の実効断面積は、 $A_c$  である。また、ギャップなし磁性体コア 20 の実効磁路長は、 $L_c$  である。

10

【0022】

図 1 (c) のギャップなし磁性体コア 20 を使用して、透磁率  $\mu_c$  を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 20 の磁束密度の最大値、すなわち最大磁束密度  $B_{cm}$  を、図 1 (b) の磁性体コア 10' の磁化曲線の最大磁束密度  $B_m$  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。

【0023】

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、

$$= \mu_c H_c A_c = \mu_0 H_g A_g = \mu H A_c \quad (12)$$

20

となる。ここで、 $\mu_c H_c A_c$  は、磁性体コア 10 の磁性体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、 $\mu H A_c$  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磁性体コア 10' に生じる磁束である。式 (12) では、磁性体コア 10 の磁性体に生じる磁束  $\mu_c H_c A_c$  と、磁性体コア 10' に生じる磁束  $\mu H A_c$  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  $A_c$  を除すると、

$$\mu_c H_c = \mu H \quad (13)$$

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 20 の磁束密度  $B_c$  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  $B$  である。これから、ギャップなし磁性体コア 20 の最大磁束密度  $B_{cm}$  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' の最大磁束密度  $B_m$  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に、図 1 (c) のギャップなし磁性体コア 20 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。

30

【0024】

図 1 (c) のギャップなし磁性体コア 20 の磁界の強さ  $H_c$  は、励磁電流  $i_1$  を、

【数 11】

$$H_c = \frac{N_1 i_1}{L_c} = \frac{N_1 V_1}{L_c R_s} \quad (14)$$

40

に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 20 の磁束密度  $B_c$  は、2 次電圧  $V_2$  を



【数 1 2】

$$B_c = \frac{1}{N_2 A_c} \int_0^T V_2 dt \quad (15)$$

に代入することにより算出される。ここで、ギャップなし磁性体コア 2 0 の最大磁束密度  $B_{cm}$  は、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 ' の最大磁束密度  $B_m$  に等しくなるように調整される。なお、式 ( 1 5 ) において、 $T$  は、励磁電流の 1 周期に相当する。

10

【 0 0 2 5 】

以上、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した。次に図 2 ~ 6 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。

【 0 0 2 6 】

図 2 に示す方法では、まずステップ S 1 0 1 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 1 0 に励磁電流を印加して、図 1 ( b ) の磁性体コア 1 0 ' 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。

20

【 0 0 2 7 】

次いで、ステップ S 1 0 2 において、処理は、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 2 0 の磁化曲線を算定することに対応する。

【 0 0 2 8 】

そして、ステップ S 1 0 3 において、処理は、磁性体コア 1 0 の試料定数を算定する。具体的には、ステップ S 1 0 1、及び S 1 0 2 で算定された磁化曲線により、式 ( 4 )、又は ( 1 2 ) などを使用して、磁性体コア 1 0 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 S 1 0 3 において実施される。

30

【 0 0 2 9 】

以下、ステップ S 1 0 1 ~ S 1 0 3 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 S 1 0 1 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。

【 0 0 3 0 】

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、磁性体コア 1 0 と、磁性体コア 1 0 に巻回される 1 次巻線 1 1、及び 2 次巻線 1 2 と、1 次巻線 1 1 に励磁電流  $i_1$  を印加する信号発生器 3 0 と、1 次巻線 1 1 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 3 1 と、2 次巻線 1 2 に発生する 2 次電圧  $V_2$  を測定する 2 次電圧計 3 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 3 3 とを有する。

40

【 0 0 3 1 】

磁性体コア 1 0 は、一部が欠切した円環状の形状を有する。磁性体コア 1 0 の部材の欠切部は、ギャップである。磁性体コア 1 0 の断面の面積及び形状は、一定である。したがって、磁性体コア 1 0 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、磁性体コア 1 0 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。例えば、磁性体コア 1 0 として、断面の面積、及び形状が一定のトロイダルコアを使用することができる。

【 0 0 3 2 】

1 次巻線 1 1 は、磁性体コア 1 0 に励磁電流  $i_1$  を印加するために、磁性体コア 1 0 に

50

巻回される。また、2次巻線12は、磁束密度を算定するために使用される2次電圧 $V_2$ を検出するために、磁性体コア10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。

【0033】

信号発生器30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30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。

【0034】

1次電圧計31は、1次巻線11の口出し線と信号発生器30との間に電氣的に接続されるシャント抵抗33の両端に生じる電圧を測定する。好適には、1次電圧計31は、シャント抵抗33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。

10

【0035】

2次電圧計32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32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。

【0036】

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。

20

【0037】

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30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。

【0038】

次いで、ステップS202において、処理は、1次電圧計31、及び2次電圧計32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10を、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H、及び磁束密度Bを算定する。

30

【0039】

磁性体コア10'の磁界の強さHは、1次電圧計31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、磁性体コア10'の磁束密度Bは、マックスウェルの方程式から導かれる、

【数13】

$$B = \frac{1}{N_2 A_c} \int_0^T V_2 dt \quad (16)$$

40

に2次電圧計32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32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32は、磁性体コア10'の磁束密度B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。

【0040】

次いで、処理は、ステップS203において、磁性体コア10'の磁化曲線、及び最大磁束密度 $B_m$ を算定する。磁性体コア10'の磁化曲線は、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 $i_1$ の1周期(式(16)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 $B_m$ は、ステップS202において算出さ

50

れた磁束密度  $B$  の中で最大値を算定することにより算定される。

【0041】

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、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S102について説明する。

【0042】

図2に示すように、ステップS102において、処理は、磁路中にギャップを有しないギャップなし磁性体コア20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5、及び6を参照して、ステップS102における磁化曲線の算定方法を説明する。

10

【0043】

図5は、ギャップなし磁性体コア20の1次電圧  $V_1$ 、及び2次電圧  $V_2$  を測定する測定装置2を示す図である。測定装置2は、ギャップなし磁性体コア20と、ギャップなし磁性体コア20に巻回される1次巻線21、及び2次巻線22と、1次巻線21に励磁電流  $i_1$  を印加する信号発生器30と、1次巻線21に生じる1次電圧  $V_1$  を測定する1次電圧計31と、2次巻線22に発生する2次電圧  $V_2$  を測定する2次電圧計32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33とを有する。

【0044】

ギャップなし磁性体コア20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20の断面は、図3に示される測定装置1の磁性体コア10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

【0045】

ギャップなし磁性体コア20は、測定装置1の磁性体コア10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素材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20は、漏れ磁束がないため、測定確度が向上する。

【0046】

1次巻線21、及び2次巻線22はそれぞれ、図3に示される測定装置1の1次巻線11、及び2次巻線12と同様な構成、及び機能を有する。

【0047】

次に図6を参照して、測定装置2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6は、測定装置2により磁化曲線算定のフローを示す図である。

30

【0048】

まず、ステップS301に示すように、処理は、1次巻線21に信号発生器30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、図4に示すステップS201において1次巻線11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。

【0049】

次いで、ステップS302において、磁性体コア20に発生する最大磁束密度  $B_{cm}$  を算出する。具体的には、式(15)に2次電圧  $V_2$  を代入することにより、磁性体コア20に発生する磁束密度  $B_c$  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  $B_{cm}$  を抽出する。

40

【0050】

次いで、ステップS303において、ステップS302で算出された最大磁束密度  $B_{cm}$  と、ステップS203で算出された最大磁束密度  $B_m$  との差が所定のしきい値以下かであるか否かを判定する。最大磁束密度  $B_{cm}$ 、及び  $B_m$  の差が所定のしきい値より大きい場合、処理は、ステップS304において、ステップS302で算出される最大磁束密度  $B_{cm}$  と、ステップS203で算出された最大磁束密度  $B_m$  と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S301に戻る。

50

## 【 0 0 5 1 】

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  $H_c$ 、及び磁束密度  $B_c$  を算出する。ステップ S 2 0 2 において先に説明したように、磁界の強さ  $H_c$  は、1 次電圧計 3 1 で測定される 1 次電圧  $V_1$  を、式 ( 1 4 ) に代入することにより算出される。また、磁束密度  $B_c$  は、2 次電圧計 3 2 で測定される 2 次電圧  $V_2$  を、式 ( 1 5 ) に代入することにより算出される。

## 【 0 0 5 2 】

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  $H_c$  と、磁束密度  $B_c$  とを励磁電流の 1 周期に亘って関連させることにより算定される。

10

## 【 0 0 5 3 】

ここまで、図 5、及び 6 を参照して、図 2 に示されるステップ S 1 0 2 において、ギャップなし磁性体コア 2 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 5 4 】

次に、ステップ S 1 0 3 において、処理は、磁性体コア 1 0 の試料定数を算定する。具体的には、ステップ S 1 0 3 において、磁性体コア 1 0 のギャップの実効断面積  $A_g$  を算定する。

## 【 0 0 5 5 】

まず、磁性体コア 1 0 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 ) を変形した式 ( 1 7 ) 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。

20

## 【 数 1 4 】

$$H_g = \left( \frac{L_c}{L_g} \right) \frac{H - H_c}{n} \quad (17)$$

30

ここで、ギャップなし磁性体コア 2 0 の磁路長  $L_c$ 、1 つ当たりのギャップの磁路長  $L_g$ 、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  $H$ 、及びギャップなし磁性体コア 2 0 の磁界の強さ  $H_c$  はそれぞれ、最大磁束密度  $B_m$ 、及び  $B_{cm}$  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 2 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 ( 1 8 ) から算出される。

## 【 数 1 5 】

$$B_g = \mu_0 H_g \quad (18)$$

40

そして、式 ( 1 2 ) を変形した式 ( 1 9 ) 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 16】

$$A_g = \frac{BA_c}{B_g} = \frac{B_c A_c}{B_g} \quad (19)$$

ここで、 $A_c$ は、ギャップなし磁性体コア20の実効断面積であり、 $B$ 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 $B_m$ であり、 $B_c$ は、例えば最大磁束密度 $B_m$ に対応するステップS102で算定された磁化曲線の最大磁束密度 $B_{cm}$ である。

10

【0056】

また、磁性体コア10'の透磁率 $\mu$ と、ギャップなし磁性体コア20の透磁率 $\mu_c$ とを使用して、実効断面積 $A_g$ を算出できる。まず、磁性体コア10'の透磁率 $\mu$ と、ギャップなし磁性体コア20の透磁率 $\mu_c$ とを算出する。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。次いで、算出された透磁率 $\mu$ 、及び $\mu_c$ を式(11)に代入する。式(11)の磁気特性値、及び試料定数の中で、磁性体コア10の実効断面積 $A_c$ 、及び実効磁路長 $L_c$ 、並びに1つ当たりのギャップの実効磁路長 $L_g$ は既知である。式(11)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。

20

【0057】

以上、図2～6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。

【0058】

まず、図7、及び8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7は、測定対象の磁性体コアの1次電圧 $V_1$ 、及び2次電圧 $V_2$ を測定する測定装置4を示す図である。磁性体コアを形成する磁性体40a～40fの断面積及び断面形状は、磁路に亘って同一である。また、磁性体40a～40fにより、6つのギャップが形成されるが、これらのギャップの実効磁路長は、全て同一である。まず、図2のステップS101において、ギャップを有する磁性体コアの磁化曲線を算定する。

30

【0059】

次いで、図2のステップS102において、ギャップなし磁性体コアの測定を行うために、磁性体40a～40fの間に形成されるギャップを詰める。すなわち、磁性体40a～40fのそれぞれ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。図8に、ギャップが詰められた磁性体40a～40fによる測定装置4を示される。このように、第2の実施形態では、ギャップなし磁性体コアを新たに製造することなく、磁性体40a～40fの間のギャップを詰めることにより、測定を行うことができる。このため、算定に必要なコストを低減することができる。

【0060】

次に、本発明の第3の実施形態について説明する。第3の実施形態では、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。図9に第3の実施形態におけるギャップなし磁性体コア50を測定する測定装置5を示す。図9に示されるように、ギャップなし磁性体コア50の実効磁路長 $L_c'$ は、図3に示す磁性体コア10の実効磁路長 $L_c$ 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 $L_c'$ 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 $L_c'$ 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は、図9の磁性体コア50のように測定対象の磁性体コアの実効磁路長 $L_c$ と異なってもよい。しかしながら、ギャップなし磁性体コアの断面積、及び断面形状は、磁路に亘り一定でなければならない。

40

【0061】

50

さらに、ギャップなし磁性体コア 50 の実効断面積  $A_{c1}$ 、及びギャップなし磁性体コア 50 に巻回される 2 次巻線 22 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  $A_c$ 、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 6 のステップ S 301 ~ S 304 において、ギャップなし磁性体コア 20 の最大磁束密度  $B_{cm}$  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  $B_m$  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 50 の断面の形状もまた、磁性体コア 10 の断面の形状と同一でなくてもよい。

#### 【0062】

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、測定装置 2 により、ギャップなし磁性体コア 20 の磁化曲線を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 10 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。

#### 【0063】

図 10 は、第 4 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 10 のフローのステップ S 402、及び S 403 はそれぞれ、図 6 のフローのステップ S 302、及び S 303 と相違する。すなわち、図 6 のフローのステップ S 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 10 のフローのステップ S 402 では、2 次電圧の最大値を測定する。次いで、ステップ S 202 で測定した 2 次電圧の最大値と、S 402 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。

#### 【0064】

このように、第 4 の実施形態では、2 次電圧の差に基づいて、磁性体コア 10、及びギャップなし磁性体コア 20 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 4 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 次電圧の測定にのみ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 4 の実施形態では、磁性体コア 10 の実効断面積と、磁性体コア 20 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 2 の 2 次巻線の巻数とは、同一であることが必要である。

#### 【0065】

これまで、図 1 ~ 10 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 30、1 次電圧計 31、2 次電圧計 32、及びシャント抵抗 33 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。

#### 【0066】

また、図 2 に示すステップ S 101 の前に、ステップ S 102 を実行することができる。この場合、最大磁束密度  $B_m$ 、及び  $B_{cm}$  が同一になるように、ステップ S 102 において励磁電流を調整する代わりに、ステップ S 101 において励磁電流を調整する。

#### 【0067】

さらに、本発明に係る方法は、様々な種類の磁性体コアの磁化曲線を算定することができる。例えば、本発明に係る方法によって、UU コアの磁化曲線を算定することができる。

#### 【実施例 1】

#### 【0068】

以下、本発明の実施例について説明する。

図 11 に本実施例における測定装置 6 を示す。図 11 に示すように、被測定試料であるリング状の磁性体 10a、及び 10b により形成される磁性体コアは、磁路中に 2 つのギャップを有する。磁性体 10a、及び 10b の断面は一辺の長さ  $r$  が 19.87 [mm]

10

20

30

40

50

の正方形で、断面積は磁路に亘って一定である。したがって、磁性体 10 a、及び 10 b の実効断面積  $A_g$  は、395 [mm<sup>2</sup>] である。また、磁性体 10 a、及び 10 b の合計の実効磁路長  $L_g$  は、191 [mm] である。さらに 1 つ当たりのギャップの実効磁路長  $L_g$  は、0.075 [mm] であり、透磁率  $\mu_0$  は、 $4 \times 10^{-7}$  [H/m] である。また、1 次巻線、及び 2 次巻線の巻線数  $N_1$ 、及び  $N_2$  はそれぞれ、10 である。

【0069】

実施例において、磁化曲線の算定は、図 2、4、及び 6 に示すフローに従って実施された。

まず、信号発生器 30 で 1 [kHz] の周波数を有する正弦波を発生させて、1 次巻線 11 に励磁電流  $i_1$  を印加した。図 12 に 1 次電圧計 31 で測定される 1 次電圧  $V_1$  と、2 次電圧計 32 で測定される 2 次電圧  $V_2$  とを示す。ここで、シャント抵抗 33 の抵抗値  $R_s$  は、1 [ ] である。これらの測定結果を、図 4 を参照して説明したように処理して算定された磁化曲線を図 14 の曲線 a に示す。図 14 の曲線 a から理解されるように、曲線 a で示される磁化曲線の最大磁束密度  $B_m$  は、49.0 [mT] であった。

【0070】

次いで、磁性体 10 a、及び 10 b の端面をそれぞれ密着させることにより、ギャップなし磁性体コア 20 を形成した。これは、磁性体コア 10 のギャップをなくし、1 つ当たりのギャップの実効磁路長  $L_g$  が 0 になったことに相当する。

【0071】

次いで、信号発生器 30 で 1 [kHz] の周波数を有する正弦波を発生させて、1 次巻線 11 に励磁電流  $i_1$  を印加した。図 13 に 1 次電圧計 31 で測定される 1 次電圧  $V_1$  と、2 次電圧計 32 で測定される 2 次電圧  $V_2$  とを示す。これらの測定結果を、図 6 を参照して説明したように処理して算定された磁化曲線を図 14、及び 15 の曲線 b に示す。このとき、最大磁束密度  $B_{cm}$  は、測定対象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 の最大磁束密度  $B_m$  と同様に、49.0 [mT] になるように調整された。

【0072】

また、図 15 の曲線 c は、式 (17)、及び (18) から算定されるギャップの磁化曲線である。

【0073】

これらの結果を使用して、図 11 に示す磁性体コア 10 のギャップの実効断面積  $A_g$  を算出する。

図 15 に示す磁化曲線 c 上の点 x において、磁界の強さ  $H_g$  は、37069 [A/m] であり、磁束密度  $B_g$  は、46.6 [mT] である。また、図 14、及び 15 の磁化曲線 b 上の点 x に時間的に対応する点 y において、磁界の強さ  $H_c$  は、17.4 [A/m] であり、磁束密度  $B_c$  は、48.2 [mT] である。これらの値を式 (19) に代入することにより、ギャップ部の実効断面積  $A_g = 409$  [mm<sup>2</sup>] が得られた。

【0074】

次に、本実施例の算定結果を評価する。本実施例の評価のために以下の式 (21) を使用する。

【数 17】

$$a_g = (r + L_g)^2 \quad (21)$$

【0075】

一般に、磁路中にギャップを有する磁性体コアにおいて、1 つ当たりのギャップ長  $L_g$  がギャップ面のコア断面積に比べて十分に小さく、かつギャップ面を挟んだコアの構造が対称である場合は、磁束のフリッジング量が  $L_g / 2$  で近似できることが知られる。式 (21) は、コアの断面が一辺の長さ  $r$  の正方形である場合の近似式である。

【0076】

本実施例測定される磁性体コアでは、1つ当たりのギャップ長 $L_g$ は、 $0.075$  [mm]であり、 $395$  [mm<sup>2</sup>]であるコアの断面積 $A_c$ に比べて十分に小さい。また、ギャップ面を挟んだコアの構造が対称であり、かつコアの断面が一辺の長さ $r$ が、 $19.87$  [mm]の正方形である。したがって、本実施例との比較のため、式(21)を用いてギャップの実効断面積 $a_g$ を近似的に算出することが可能である。式(21)に上記の値を代入した結果、 $a_g = 398$  [mm<sup>2</sup>]が得られた。一方、先に本実施例で算定されたギャップの実効断面積 $A_g$ は、 $409$  [mm<sup>2</sup>]であった。これから、本実施例により算定されたギャップの実効断面積と、周知の近似式により算出された実効断面積との差異は、約3 [%]程度であることが分かる。

10

【0077】

以上、本明細書で詳細に説明されるように、本発明によれば、磁路中にギャップを有する磁性体コアのギャップ、及びコア中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は、シミュレーションによらず、計測結果に基づいて容易に算定することができる。さらに、ギャップの実効断面積もまた算定することができる。

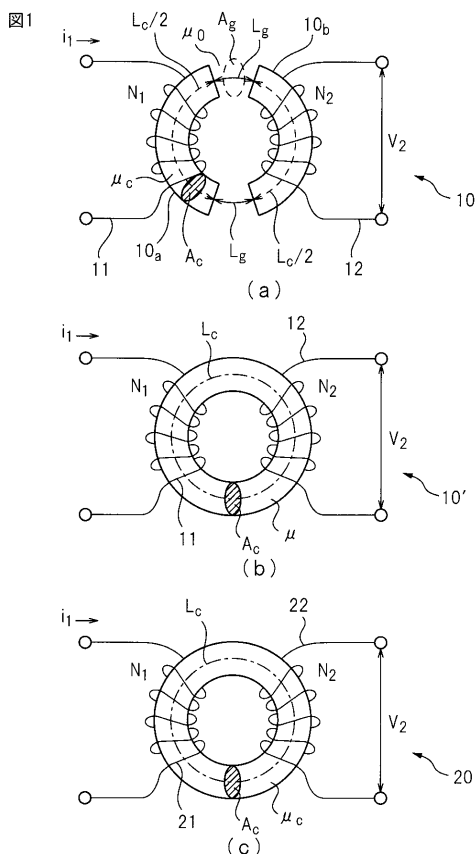
【符号の説明】

【0078】

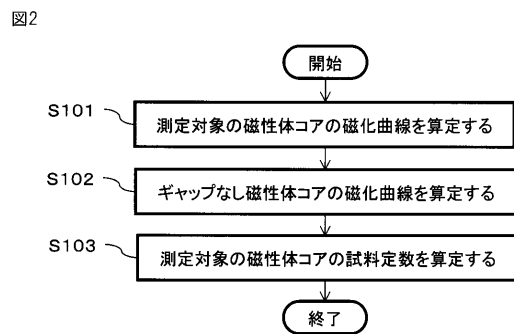
- 10      ギャップあり磁性体コア
- 11、21      1次巻線
- 12、22      2次巻線
- 20、50      ギャップなし磁性体コア
- 30      信号発生器
- 31      1次電圧計
- 32      2次電圧計
- 33      ショント抵抗

20

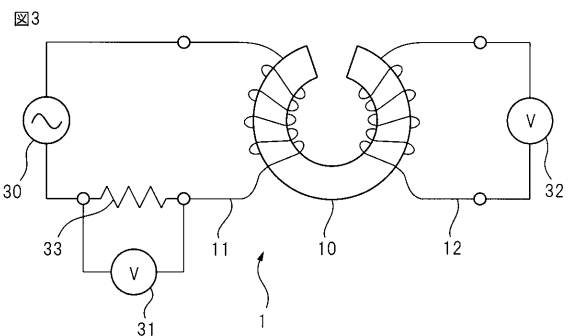
【図1】



【図2】

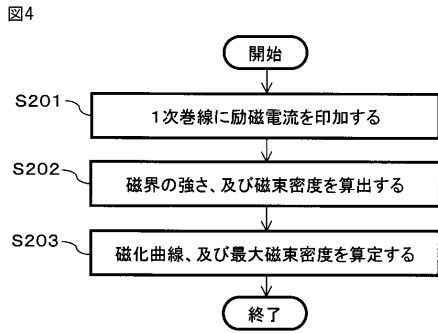


【図3】

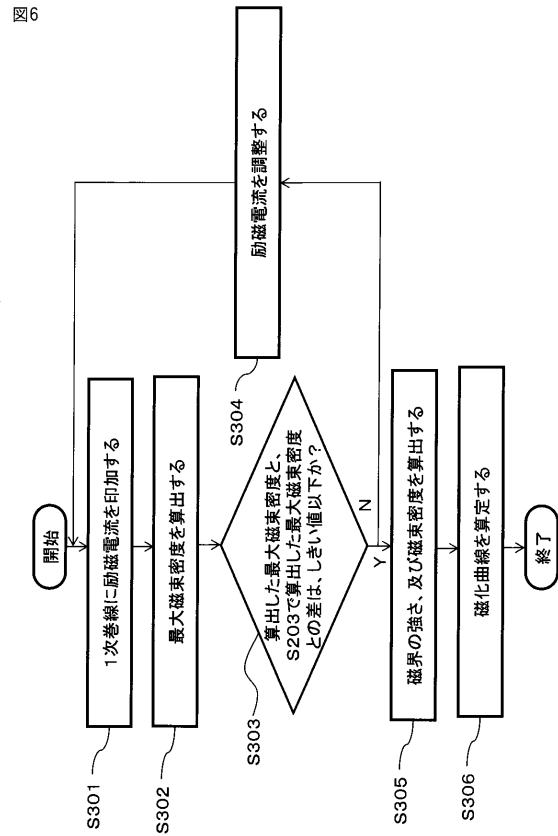




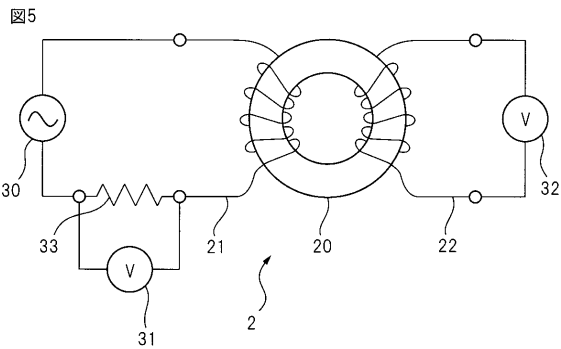
【 図 4 】



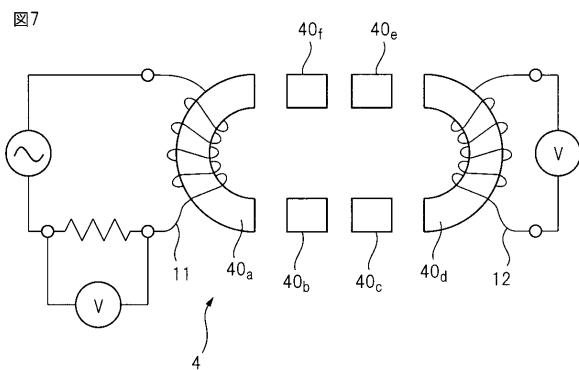
【 図 6 】



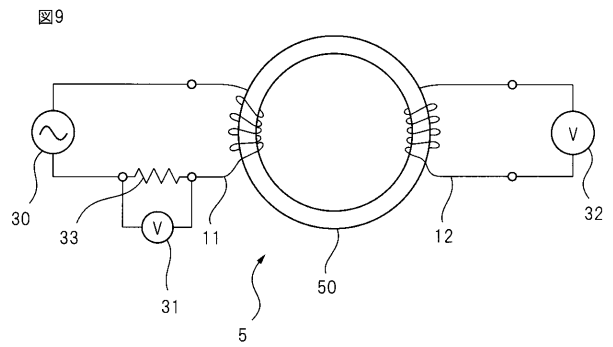
【 図 5 】



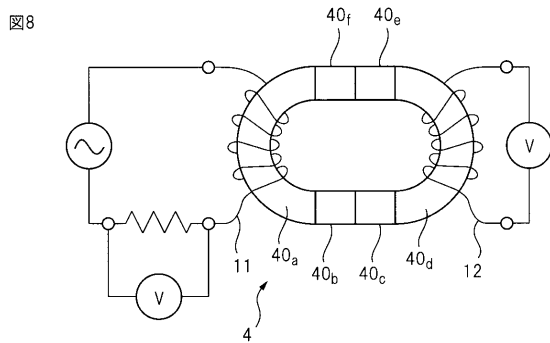
【 図 7 】



【 図 9 】

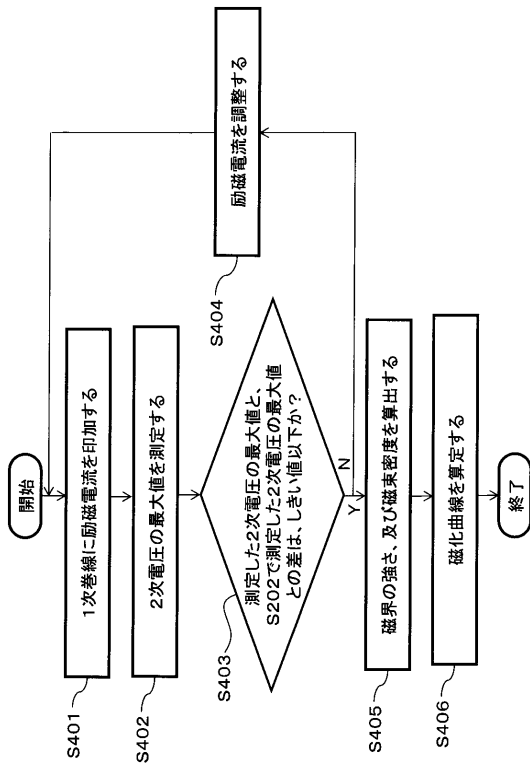


【 図 8 】



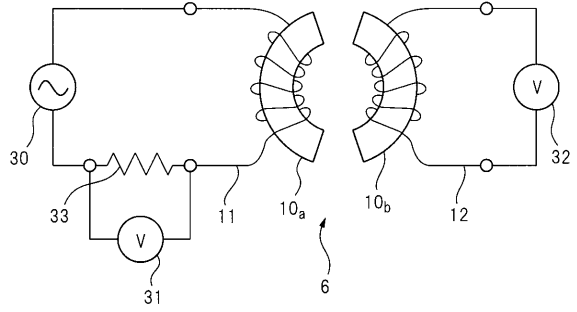
【 図 1 0 】

図10



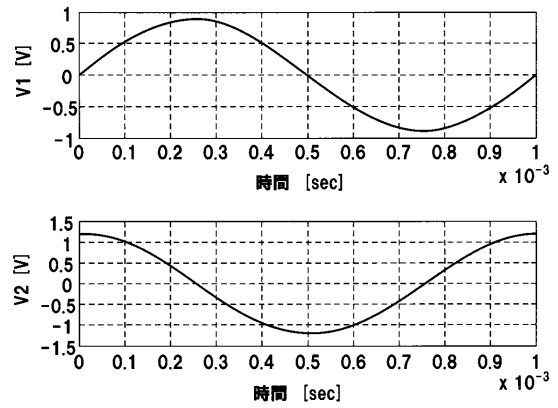
【 図 1 1 】

図11



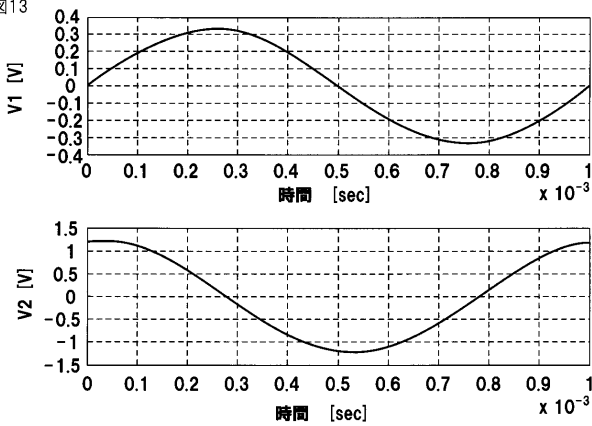
【 図 1 2 】

図12



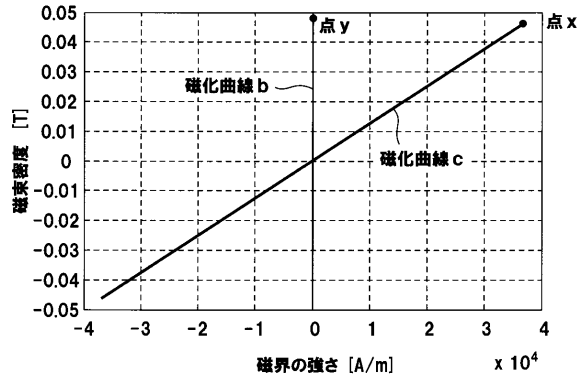
【 図 1 3 】

図13



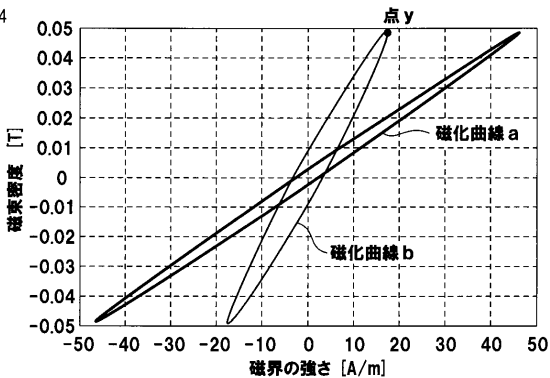
【 図 1 5 】

図15



【 図 1 4 】

図14



---

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 AA01 AA02 AA07 AD01 AD04 AD05 BA01 BA03 BA05 CA02  
CB01 CB21 CC02