

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4503972号
(P4503972)

(45) 発行日 平成22年7月14日 (2010. 7. 14)

(24) 登録日 平成22年4月30日 (2010. 4. 30)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N 27/83 (2006.01)

GO 1 N 27/83

請求項の数 6 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2003-353058 (P2003-353058)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成15年10月14日 (2003. 10. 14)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2004-151094 (P2004-151094A)		GENERAL ELECTRIC CO
(43) 公開日	平成16年5月27日 (2004. 5. 27)		MPANY
審査請求日	平成18年10月12日 (2006. 10. 12)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
(31) 優先権主張番号	10/270, 326		クタデイ、リバーロード、1 番
(32) 優先日	平成14年10月15日 (2002. 10. 15)	(74) 代理人	100137545
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 荒川 聡志
		(74) 代理人	100105588
			弁理士 小倉 博
		(74) 代理人	100106541
			弁理士 伊藤 信和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 試験プローブ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気装置における欠陥を検出する装置であって、
 中実のコア（102）と前記コア（102）と共に配設されたコイル（104）とを有する
 プローブ（100）を、前記コアの感知端部分が、前記装置の一部を形成する部材の漏
 れ磁束が通る隣接する歯（37）の対向表面の間に、接触のない間隔をもった関係で維持
 されるよう支持するための手段（200）と、前記装置（30）に通常の作動水準より低
 い所定の水準までの励起状態を誘起するための手段（31、190）と、
 前記プローブ（100）に応答して前記対向表面の間に生じる漏れ磁束を検出する手段（
 106）と、
 前記プローブ（100）を前記対向表面に対して新しい位置に移動させ、前記新しい位置
 における漏れ磁束を検出するための手段（200）と、
 プローブの出力変動を監視し、異常な漏れ磁束の変動の検出に応答して欠陥の有無及び位
 置を求めるための手段（106）と、
 を備え、
 前記励磁手段（31、190）が、前記電気装置（30）の構造により定められた回路に
 おいて磁束を誘起させるために前記装置の所定の部分の周りに配設された巻線（31）を
 備え、
 前記プローブを移動させるための前記手段（200）が、前記プローブを前記隣接する歯
 （37）の間に吊り下げるキャリッジ（200）を備え、

10

20

前記キャリッジが、前記隣接する歯（３７）の外側に対して嵌る案内プレート（２１４）を含み、前記プローブを前記装置（３０）の一部を形成する表面に沿って移動させることを特徴とする装置。

【請求項２】

前記キャリッジ（２００）は、プローブを固定的に取り付けるプローブ延長部片（２１６）と、トロリーホイール（２１３）と、前記隣接する歯（３７）の外側に対して前記案内プレート（２１４）が嵌まるように該トロリーホイールの幅及び角度を調整するようための調整ねじ（２１０、２１２）とを備えることを特徴とする請求項１に記載の装置。

【請求項３】

電気装置における欠陥を検出する装置であって、高い初期透磁率及び高い抵抗性特性を有する材料のコア（１０２）と、前記コアと共に配設されたコイル（１０４）とを有する単一のプローブ（１００）を備え、

前記プローブ（１００）が、前記コアのすべての感知部分が電気装置の隣接する歯（３７）の対向表面の間に接触のない間隔をもった関係に維持され、前記コアの前記感知部分が、前記電気装置により生成され、前記対向する表面の間を通り、前記対向表面と前記コアの前記感知部分との間に定められたエアギャップ（１０８、１０９）を通る漏れ磁束にさらされるように支持されるよう適合されており、

前記電気装置に取り外し可能に配設され、前記電気装置の電気回路において磁束を誘起させるために励起電圧源と作動的に連結された励起巻線（３１）と、

前記励起巻線と感知コイルとに作動的に連結され、前記センサの出力を監視し、前記漏れ磁束の変化を生じさせる前記電気装置の欠陥を検出するデータ収集システム（１０６）と

、
前記プローブ（１００）を前記対向表面に対して新しい位置に移動させ、前記新しい位置における漏れ磁束を検出するための手段（２００）と

が設けられ、

前記プローブを移動させるための前記手段（２００）が、前記プローブを前記隣接する歯（３７）の間に吊り下げるキャリッジ（２００）を備え、

前記キャリッジが、前記隣接する歯（３７）の外側に対して嵌る案内プレート（２１４）を含み、前記プローブを前記装置（３０）の一部を形成する表面に沿って移動させることを特徴とする装置。

【請求項４】

前記キャリッジ（２００）は、プローブを固定的に取り付けるプローブ延長部片（２１６）と、トロリーホイール（２１３）と、前記隣接する歯（３７）の外側に対して前記案内プレート（２１４）が嵌まるように該トロリーホイールの幅及び角度を調整するようための調整ねじ（２１０、２１２）とを備えることを特徴とする請求項３に記載の装置。

【請求項５】

電気装置における欠陥を検出する方法であって、

中実のコア（１０２）と前記コア（１０２）と共に配設されたコイル（１０４）とを有するプローブ（１００）を、前記コアの感知部分が、前記装置（３０）の一部を形成する部材（３７）の漏れ磁束が通る隣接する歯（３７）の対向する表面の間に、接触のない間隔をもった関係で維持されるように支持し、

通常の作動水準より低い所定の水準まで前記装置の励起状態を誘起して、これにより漏れ磁束を生成し、

前記プローブを用いて前記対向する表面の間に生じる漏れ磁束を検出し、

前記プローブ（１００）を前記対向する表面（３７）に対して新しい位置に移動させ、前記新しい位置において漏れ磁束を検出し、

プローブの出力変動を監視し、異常な漏れ磁束の検出に応答して欠陥を検出する、

段階を含み、

プローブ（１００）を移動させる前記段階が、前記プローブを前記隣接する歯（３７）の間に吊り下げるキャリッジ（２００）に固定し、前記隣接する歯（３７）の外側に対して

10

20

30

40

50

嵌る案内プレート（２１４）を用いて前記キャリッジを前記装置の一部を形成する表面に沿って移動させることによって、前記プローブを前記新しい位置に移動させることにより実行される

方法。

【請求項６】

励起する前記段階が、励磁巻線（３１）を前記電気装置（３０）の所定の部分の周りに配設し、前記装置の構造により定められた回路において磁束を誘起させることにより実行される請求項５に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【０００１】

本発明は、一般に、電気装置の作動を診断及び監視することに関する。より具体的には、本発明は、大きな発電機のステータコアのような電気装置における傷／欠陥の検出を助け、検出目的のために、該ステータが低い水準までだけに励起されることを必要とするプローブ又はセンサの構成に関する。

【背景技術】

【０００２】

商業規模で電気を生成する分野において、例えば、５０から１０００ＭＶＡの発電装置の一部を形成する発電システムの要素は、予期せぬダウタイム及び／又は突発故障を避けるようにするために、その予想される作動寿命にわたり完全に機能的であるように維持されることが重要である。そのような問題を避けるためには、上述の生成システムの一部を形成する大きなステータのような要素を、定期の周期的な保守管理において、又は販売されて発電設備に取り付けられる前のいずれかにおいて注意深く検査し試験することが重要である。

20

【特許文献１】米国特許４８０３５６３号明細書

【特許文献２】米国特許４９７０８９０号明細書

【特許文献３】米国特許４９９６４８６号明細書

【特許文献４】米国特許５２５２９２７号明細書

【特許文献５】米国特許５２９５３８８号明細書

【特許文献６】米国特許５３４１０９５号明細書

30

【特許文献７】米国特許５５５７２１６号明細書

【特許文献８】米国特許５９９０６８８号明細書

【特許文献９】米国特許６４６９５０４号明細書

【特許文献１０】米国特許６４８９７８１号明細書

【特許文献１１】米国特許出願公開第２００３／０１１７１４４号明細書

【特許文献１２】欧州特許第１３１８４１１号明細書

【特許文献１３】ロシア特許２０８２２７４号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００３】

40

電気機械のステータコア３０（図１に概略的に示されるような）は、より高い効率的な運転のために渦電流の流れが減少するように薄い絶縁鋼の積層体３２を利用する。積層体は、図２及び図３に示されるように、積層体のダブテール溝３４を、フレームに取り付けられたキーバー３６のダブテール部に置くことにより、垂直に積み重ねられる。積層体を互いに保持し、積層体の振動を阻止するために、コアは約３００から３５０ｐｓｉの力で軸方向にクランプされる。

【０００４】

積層体３２の短絡は、製造欠陥、組み立て／検査／巻き付け中における損傷、ステータとロータとの接触、緩んだコイル・ウェッジ／積層体の振動、異質の磁性材料などにより生じることがある。積層体３２が何らかの理由により短絡すると、大きな循環電流が欠陥

50

- 積層体 - キーバーからなる欠陥ループに誘起される（図 2 参照）。典型的な欠陥位置が図 3 に示される。循環障害電流は、短絡した積層体の数、及び該積層体と短絡ノキーバーとの間の導電性ととともに増加する。障害電流はステータコアにおける電力損失を増加させ、局部加熱を生じさせる。ホットスポットは、より厳しい局部加熱に進み、最終的には積層体の燃焼又は融解を生じさせる。その結果、ステータバーの絶縁及び巻線も損傷し、ステータコアを通して接地電流の流れが生じるようになる。したがって、層間コア欠陥は、さらなる損傷が阻止されるように、及び発電機の運転の信頼性が改善されるように、検出されかつ修理されるべきである。

【 0 0 0 5 】

ステータコアの構成上の欠陥を検出するために、種々の試験が行われてきた。いわゆる「リングテスト」は、短絡電流により生じた渦電流加熱の検出を行うものである。発電機のコアは、トロイダル形の励起巻線 3 1 が形成されるように、図 1 に概略的に示される方法によりケーブルの多数の（典型的には 1 0 より少ない）巻囲部分が巻かれている。巻線における電流水準は、コアで駆動される磁束が通常の作動水準（おおよそ 1 から 1 . 5 T e s l a ）に近くなるように選択される。コイルにおいて数百アンペア及びボルトが所望の磁束を得るのに必要であるため、励起要求は数 M V A 水準である。コア 3 0 は数時間だけこの方法により作動される。次いで、赤外線撮像カメラが、ステータの内面上の「ホットスポット」を見出すために用いられる。これらのホットスポットは、層間短絡の位置を示す。

【 0 0 0 6 】

しかしながら、ステータ歯 3 7 及びスロットの表面の下に位置する短絡は、熱拡散によって表面温度上昇が拡散し / 拡がるため、発見が困難である。リングテストにおいて用いられる高い電力水準のために、作業員は試験中にステータコアの孔に入ることができない。さらに、試験に用いられるケーブルは、M V A 水準のために適切に寸法決めされなくてはならず、これは設定及び取り外し時間が長くなることにつながる。

【 0 0 0 7 】

この種の試験においては、高い磁束を用いることは、高電流（1 0 0 アンペア台及び数 K V ）を必要とし、数 M V A にも達する試験電源を必要とすることになるため、懸念の原因となる。高い電流及び電圧水準は、発電機のコアにおける励起巻線の選択及び取り付けにおいて注意を必要とし、該コアの部品を覆い隠す。加熱試験は、通常の冷却システムのないコア上で行われるため、過度の加熱がコアの損傷をもたらす恐れがある。高い電流及び電圧水準はオペレータの安全性に影響を与え、上述のように、作業員は、リングテストが行われているときにはコア内部に入ることができない。

【 0 0 0 8 】

リングテストにより遭遇する傾向がある上述の欠点を克服するために、いわゆる「E L C I D」（電磁コア欠点検出）が開発された。

【 0 0 0 9 】

この試験は、層間短絡に起因して流れる短絡電流により生じた磁場の検出を行うものである。リングテストにおけるように、発電機のコアは、トロイド形状で、多数の巻囲部分が巻かれている。巻線における電流水準は、コアが通常の動作磁束のおおよそ 4 % で動作するように選択される。これは、コア表面に沿って誘起される約 5 ボルト / メータの電界に対応するものである。電力要求は 1 0 ないし 3 0 アンペアの範囲にあるため、割に単純な数 k V A の電源を用いることができる。その発明者の名をとってチャトックコイルと呼ばれる磁位計を用いて、層間絶縁欠陥のために誘起された短絡電流により 2 つの隣接する歯の間で生成された磁場が感知される。

【 0 0 1 0 】

チャトックコイル（別名マクスウェル・ワーム又は磁位計）は、あらゆる誘起された層間電流により生成された磁場の直角位相成分を感知するように用いられる。1 0 0 m A 又はそれ以上の試験電流により生成されたものと等価なチャトックコイル電圧は、4 % の磁束励起水準の厳しい層間短絡についての指標として用いられる。

【 0 0 1 1 】

チャトックコイル 3 8 は、典型的には図 4 及び図 5 において示される方法により、2 つの隣接する歯 3 7 の幅にわたり、手によるか又はロボットキャリッジによるかのいずれかで、ステータの表面に沿って移動させられる。短絡電流経路はほとんどが抵抗性であるため、短絡により生成された磁束は励起磁束に対し直交する位相関係にある。チャトックコイルからの信号は、励起電流から引き出された基準信号と組み合わせられ、位相弁別検出方法を用いてバックグラウンドノイズからの欠陥信号を抽出することができる。

【 0 0 1 2 】

完全にデジタルの E L C I D システムが開発された。このシステムは、以前のアナログ装置に対して、改善された雑音抑制を示す。それにもかかわらず、E L C I D 試験を行う場合に生じることがある多くの異常及び歪みがあり、これらは、コア構成における知識及び経験を用いて解釈しなければならない。

10

【 0 0 1 3 】

E L C I D 試験は、リングテストの方法と同様の方法によりコアを励起することを含むが、よりずっと低い電圧及び電流水準が用いられる。通常、4 ないし 5 % の磁束である。E L C I D 試験の手順は、以下の特性を示す。この磁束のために必要とされる電流は、標準的な電気コンセントから供給される可変変圧器から得ることができる。この低い磁束により誘起される電圧は、約 5 ボルト / メータに維持されるため、作業員は観察のために E L C I D 試験中にコアに入ることができる。この磁束における誘起電流は、過度の加熱を生じさせないほど十分に低いため、試験に起因する付加的なコアの損傷は懸念なくよい。

20

【 0 0 1 4 】

E L C I D 試験は、表面の下に位置している層間欠陥を見出すのにより向いている。これは、検出をもたらすために、内側のホットスポットからの熱拡散を行うリングテストに対して顕著な利点となる。しかしながら、この試験は、コイルにおける信号水準が、特に端部ステップ領域において走査をしているときに、高い雑音水準をもたらすものである。

【 0 0 1 5 】

別の種類のセンサ装置が特許文献 1 に開示されている。この装置は、方法の感度を改善し、結果の解釈及び信頼性を改善することに関する。図 6 及び図 7 に示されるように、これは磁化巻線 4 0、該巻線における電流を調整するための装置 4 2、及び 2 つのセンサ 4 4、4 6 からなる。これら 2 つのセンサ 4 4、4 6 の各々は、図 6 に示されるように、高い透磁率をもった強磁性材料の薄いプレートコア 5 0 に巻かれたコイル 4 8 を備える。センサ 4 4、4 6 は同じ構成を有するが、一方は基準プローブとして用いられ、他方は走査プローブとして用いられる。

30

【 0 0 1 6 】

2 つのセンサ 4 4、4 6 の出力は、位相監視装置として働く位相シフト装置 5 2 の独立した入力に連結され、2 つのセンサユニットの電圧間の位相差は欠陥指標として用いられる。位相シフト装置の出力は、A / D 変換器 5 4 を介して、パーソナルコンピュータ (P C) 又は同様の種類の装置に供給されている。

40

【 0 0 1 7 】

2 つのセンサ 4 4、4 6 は、図 8 に示される三角形のキャリッジ装置 5 6 上に支持することができ、これにより特許文献 1 に示される位置制御装置 5 8 の制御のもとで該センサがステータの内側を通過して移動する。

【 0 0 1 8 】

しかしながら、この装置には幾つかの欠点がある。これは、プローブ位置に起因するギャップ変動に敏感である。測定された信号の大きさ及び位相は、積層体とプローブとの間のギャップに非常に敏感である (ギャップの変動には、積層体の表面荒さに起因する固有の限界がある)。すなわち、

【 0 0 1 9 】

50

【数 1】

$$V_{\text{感知}} \propto 1/\text{間隙}$$

【 0 0 2 0 】

の大きさ

【 0 0 2 1 】

【数 2】

$$V_{\text{感知}} \propto \tan^{-1}(\text{一定}/\text{間隙})$$

【 0 0 2 2 】

の位相である。

【 0 0 2 3 】

ステータコアの端部ステップ領域（例えば図 1 2 参照）において一定のギャップを維持しながら走査するのは困難であるため、該位置で走査及び診断することはさらに困難である。

【 0 0 2 4 】

さらに、不可能ではないが、汎用的なプローブ設計を構成することは困難である。歯はステータの円筒形の内面から内側内部に向かって突出するため、それらは互いに所定の量だけ傾斜される。したがって、特許文献 1 の各々の端部が歯の上部上に平らに位置するようにするためには、平らな強磁性のコア部材 5 0 は僅かに角度を持ち、非常に浅い V 字形をでなければならない。ステータコアの直径変化により、歯の間の角度及び距離が変化し、浅い V 字形の長さ及び角度の両方が変化することが必要になる。歯数の変化はさらに、2 つの隣接する歯の上部の間に定められた角度の変化を誘起し、これにより同じ問題が誘起されることになる。

【特許文献 1】US S R 発明者証番号 R U 2 0 8 2 2 7 4 C 1

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 5 】

本発明の第 1 の態様は、漏れ磁束が通る構造を有する電気装置における異常を検出するプローブにあり、該プローブは、感知コイルと、該感知コイルと共に配設されたプローブコアとを備え、該プローブコアは、該コアの第 1 及び第 2 の感知端部分が前記電気装置の部分の対向する隣接表面との間に間隔をもって接触のない関係で支持されて、該コアの第 1 及び第 2 の感知端部分とそれに隣接するそれぞれの表面との間に第 1 及び第 2 のエアギャップが形成されるように構成されている。

【 0 0 2 6 】

本発明の第 2 の態様は、中実のコアと該コアと共に配設されたコイルとを有するプローブを、該コアの感知部分が、電気装置の一部を形成する部材の漏れ磁束が通る隣接表面の間に接触のない間隔をもった関係で維持されるように支持し、通常の作動水準より低い所定の水準まで前記装置の励起状態を誘起して、これにより漏れ磁束を生成し、該プローブを用いて該対向する表面の間に生じる漏れ磁束を検出し、該プローブを該対向する表面に対して新しい位置に移動させ、該新しい位置において漏れ磁束を検出し、プローブの出力変動を監視し、異常な漏れ磁束の検出に応答して欠陥を検出する、段階を含む電気装置における欠陥を検出する方法にある。

【 0 0 2 7 】

本発明のさらに別の態様は、電気装置における欠陥を検出する装置にあり、この装置は、中実のコアと該コアと共に配設されたコイルとを有するプローブを、該コアの感知端部分が、電気装置の一部を形成する部材の漏れ磁束が通る対向表面の間に接触のない間隔をもった関係で維持されるように支持するための手段と、該装置に、通常の作動水準より低い所定の水準までの励起状態を誘起するための手段と、該プローブに応答して該対向表面の間に生じる漏れ磁束を検出する手段と、該プローブを該対向表面に対して新しい位置に移動させ、該新しい位置における漏れ磁束を検出するための手段と、プローブの出力変動

10

20

30

40

50

を監視し、異常な漏れ磁束の変動の検出に応答して欠陥の有無及び位置を求めるための手段と、を備える。

【 0 0 2 8 】

本発明の別の態様は、電気装置における欠陥を検出する装置にあり、この装置は、高い初期透磁率及び高い抵抗性特性を有する材料のコアと、該コアと共に配設されたコイルとを有する単一のプローブを備え、該プローブが、該コアのすべての感知部分が電気装置の所定の対向表面の間に接触のない間隔をもった関係に維持され、該コアの該感知部分が、該電気装置により生成され、該対向表面の間を通り、該対向表面と該コアの該感知部分との間に定められたエアギャップを通る漏れ磁束にさらされるように支持されるよう適合されており、該電気装置に取り外し可能に配設され、該電気装置の電気回路において磁束を誘起させるために励起電圧源と作動的に連結された励起巻線と、該励起巻線と感知コイルとに作動的に連結され、該センサの出力を監視し、該漏れ磁束の変化を生じさせる該電気装置における欠陥を検出するデータ取得システムと、が設けられている。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 9 】

要約すると、開示される本発明の実施の形態は、コア及び該コアを取り囲む感知コイルを含むプローブを備える。コアは、装置の対向表面の間に接触のない、間隔を置いた関係で配設される。これらの表面は、隣接するステータの積層歯の側壁とすることができる。小さなエアギャップがコアの端部と対向表面との間に注意深く維持される。プローブ位置の影響は、正味のギャップが一定であるために最小にされる。プローブは、キャリア装置上に支持され、歯の間に沿って移動する。励磁巻線により通常の励磁水準の数パーセントにまで励起されたステータを用いて生成された漏れ磁束の変動が監視される。

20

【 0 0 3 0 】

図 9 ないし図 1 3 は本発明の好ましい実施の形態を示す。この構成においては、センサ又はプローブ 1 0 0 は、感知コイル 1 0 4 を通して配設された強磁性の感知コア 1 0 2 からなる。感知コイル 1 0 4 は、図 1 3 に概略的に示されるような性質の回路構成 1 0 6 に接続される。感知コア 1 0 2 は、その間にプローブ 1 0 0 が配設される隣接する歯の対向表面と、該感知コア 1 0 2 のそれぞれの端部との間にエアギャップ 1 0 8、1 0 9 (図 1 1 において最もよく見られる) が定められるように、積層された歯 3 7 に対して配置される。

30

【 0 0 3 1 】

このプローブ装置は、高い融通性と信頼性をもって欠陥を検出することができ、走査時間を減らし、取り扱いを容易にするものである。ステータコアの低水準励起の基本原理は、上述の E L C I D の基本原理と同様であるが、楔状の凹み領域において信号を感知するために鉄芯プローブが用いられる。

【 0 0 3 2 】

磁気材料で形成されたコアを有するプローブを用いると、該プローブが磁束のための低い磁気抵抗経路を形成することにより、信号水準の大幅な増大をもたらす。測定されるプローブ電圧は、プローブにおける高い磁束集中に起因して、チャトックコイルのような空心プローブの場合よりも 2、3 桁大きく、電圧測定における信号雑音比が改善されるようになる。プローブは楔状の凹み領域に配設され、該プローブの両側には最大 2 0 0 ミルの合計エアギャップが設けられる。

40

【 0 0 3 3 】

これらのエアギャップを維持することは、プローブの出力中に誘導されている雑音を最小にするために重要である。

【 0 0 3 4 】

励起システム

図 1 3 に示されるように、ステータコア 3 0 は励起システム 1 9 0 と作動的に連結される。この励起システム 1 9 0 は、障害電流励起のために、循環磁束をステータコアのヨークに与える。励起システムは、単相バリアック 1 9 1 と励起巻線 (3 1) とを備える。 1

50

20 / 240 V の単相バリアックと励起巻線を備える励起システムを用いることができる。或いはまた、コアを励起するために単相バリアックと少なくとも 20 A の通電能力をもつケーブルを用いることもできる。

【0035】

回路構成 106 の一部を形成するパーソナルコンピュータ (PC) 内で実行されるソフトウェアプログラムが、励起巻線の巻き数 (2 から 7) とコアにおいて望ましい磁束を生成する励起電圧とを計算して表示する。例示的な調査を行うために、励起磁束を、例えば、約 0.075 T (定格磁束の 3 から 4 %) まで制御することができ、励起周波数を約 50 / 60 Hz まで制御することができる。しかしながら、本発明の実施の形態は、これらのパラメータに限定されるものではなく、本発明の技術的範囲から逸脱することなく、種々の他のものを用いることができる。

10

【0036】

本発明のこの実施の形態において、励起電圧及び巻数の計算は、発電機のステータコアの寸法に基づいている。以下に例示する電圧及び巻数の計算についてのパラメータは、循環磁束について有効領域を計算するために必要なものである。

- 1) 内側直径 / 半径 (ID / IR (in))
- 2) 外側直径 / 半径 (OD / OR (in))
- 3) 歯長さ (TL (in))
- 4) コア長さ (CL (in))

すべてのパラメータは、発電機の設計シートから得ることができ、又は容易に測定することができる。有効コア長さは、内側空間ブロック及び絶縁を考慮しなければならないため、特別の定めのない限りコア長さのおおよそ 10 ~ 90 % までと仮定することができる。

20

【0037】

現場試験において、励起巻線 31 の近くにおいてスロットの走査を行うか、又は内部照明を用いるときには、干渉によりプローブから得られた信号が雑音によって歪むことが観察された。したがって、すべての照明 (又は同様のタイプの電気装置) を除去し、図 14 及び図 15 に示されるように、走査中に、励起巻線 31 を少なくとも 1 回、走査されているステータコア 30 の側から反対側に移動させて、プローブから離れるようにし、これにより正確な測定を可能にするようにすることが推奨される。

30

【0038】

プローブ・キャリッジ・システム

走査を容易にするために、プローブがキャリッジ・システム上に支持される。キャリッジ・システムの実施例は図 11 に示される。この構成において、キャリッジ 200 は、軸方向の走査に際して、プローブを適当な位置に吊り下げるように設計されている。1) 発電機の歯に対するトロリー (キャリッジ・システムの一部を形成する)、及び 2) 該トロリーに対するプローブの位置決め及び整列は、正確な測定値を得るために重要である。

【0039】

適当なプローブ幅を選択することは、信号水準と走査を容易にすることとの間のトレードオフである。プローブ幅を増加させること (つまり、エアギャップを減少させること) は、信号水準を増大させるが、プローブのコア 102 と該コアが配設されている歯との間の接触の可能性も増大する。接触は、もちろん、信号に雑音を生じさせる。良好な信号測定及び容易な走査 (接触がない) が確実になるように実験的に示されたプローブ幅は、スロット幅から 150 ないし 200 ミルを引いた値である。例えば、スロット厚さが 1.286 インチである場合には、適切に寸法決めされたプローブは、1.10 インチから 1.15 インチの間の幅のいずれかとなる。

40

【0040】

図 11 に示されるように、トロリーホイール 213 の幅及び角度は、対応する調整ねじ 210、212 を回転させることにより、間にプローブが吊り下げられている歯 37 の外側に対してトロリーの案内プレート 214 がぴったりと嵌まるように調整することができ

50

、該トロリーの傾斜を阻止することができる。プローブ100は、傾斜及び測定データに一貫性がなくなること避けるため、プローブ延長部片216に固定的に取り付けられるべきである。

【0041】

プローブ100がプローブ延長部216に取り付けられると、該プローブ100は、図11に示されるように、2つのプローブ位置調整ねじ218を調整することにより、楔状の凹み領域に位置付けられる。プローブ100の鋼部分をスロットの中心で及びスロット・ウェッジの僅か上方に配置することが望ましい。

【0042】

データ収集システム

本発明の実施の形態に従って行われる2つの測定は、プローブ電圧及び励起電流である。これらのパラメータは、IOTECH（登録商標）により販売されているWavebook（登録商標）516携帯用データ収集システムのような市販のハードウェアを用いて測定することができる。

【0043】

ソフトウェアプログラムは、データ収集システムの設定を制御し、さらに各々のスロットを走査することにより収集されたデータを処理し、表示し、格納する。ソフトウェアは、パラメータ入力スクリーン及びメインプログラムスクリーンからなる。パラメータ入力スクリーンは試験情報及び発電機の寸法に関する詳細を記録する。励起巻線の巻数及び励起電圧が計算され、発電機の寸法に基づいて表示される。メインプログラムスクリーンは、測定され処理された信号を表示する。

【0044】

結果の解釈

フェーザー図が層間コア欠陥系の状態を示すために用いられる。このようなフェーザー図の例が図16に示される。この系においては、 V_e 、 I_e 、及び θ_e が励起電圧、電流、及び磁束をそれぞれ表し、 V_s 、 V_{se} は、測定されたプローブ電圧及び励起に起因するプローブ電圧である。

【0045】

適切に構成された、故障を伴わず欠陥のない（正常な）積層体においては、図16に示されるように、 V_s 及び V_{se} は等しくなる。

【0046】

ソフトウェアは、RMSにおける測定されたプローブ電圧の大きさ V_s 、及びプローブ電圧と励起電流の微分との間の位相角 θ を表示する。両信号は、測定されたプローブ電圧及び電流に基づいて計算され、欠陥の有無、程度、及び位置を求めるために両方の信号が考慮される。正常な積層体について、理想的な信号及び磁束の分布が図17に示される。電圧の大きさにおける一時的な低下は、内側空間ブロックにより生じたものである。電圧の大きさは、内側空間ブロックを通過するとき以外は一定であり、角度は走査全体にわたり一定である。内側空間ブロックにおけるこの一時的な低下をカウントして、不審な信号が見出されたときに欠陥のおおよその位置を推定することができる。

【0047】

スロット内部に欠陥がある場合には、欠陥において誘起された電圧 V_f が障害電流 I_f の流れを生じさせ、これがプローブを通る磁束を変化させる付加的な欠陥磁束成分 θ_f を誘起するため、磁束の分布は変化する。サブウェッジ欠陥条件のもとでのフェーザー図が図18に示されており、ここで、 V_{sf} が欠陥に起因する測定されたプローブ電圧成分であり、 V_s が測定されたプローブ電圧である。

【0048】

測定されたプローブ電圧は、サブウェッジ欠陥によりもたらされる図18に示される励起磁束及び欠陥磁束に起因して誘起される電圧成分のフェーザー合計として仮定することができる。この欠陥条件のもとでの典型的な波形及び磁束分布が図19に示される。図19において、プローブ電圧の大きさの変化（すなわち、増加）がこの欠陥条件のもとで著

10

20

30

40

50

しいが、角度の変化は非常に小さいことが分かる。欠陥の形跡は、欠陥がスロットの楔状ダブル部と歯の根との間にある場合も同様である。

【 0 0 4 9 】

表面欠陥条件（歯の先端上の欠陥）のもとでのフェーザー図が図 2 0 に示される。表面欠陥とサブウェッジ欠陥との間の主な違いは、プローブにおける欠陥磁束が図 2 1 に示されるように、励起磁束に対向することである。結果として、プローブ電圧の大きさが減少し、角度が大幅に変化することになる。

【 0 0 5 0 】

上記の例から分かるように、欠陥の存在は、正常な形跡からの何らかの偏位によって判断することができる。欠陥の位置は、大きさ及び角度の形跡に基づいて求めることができる。大きさ及び角度の変化の両方は、欠陥の程度に伴って増大することが観察された。

10

【 0 0 5 1 】

開示されたプローブのトロリー装置に対する代替技術として、図 2 2 及び図 2 3 に概略的に示される方法により、トロリー又は同様の種類の小さなロボット移動体をスロット・ウェッジの上部に沿って動かすように構成することが可能である。この例におけるトロリーすなわち移動体 2 0 0 5 は、ローラ 2 2 3 上に支持され、さらに、間にプローブ 1 0 0 が配設される歯 3 7 の内側の面に沿って回転する側部ローラ 2 2 4 が設けられ、該ローラは、面の間の距離の変化を吸収するように調整することができる。側部ローラ 2 2 4 は、異なる間隔に配設された歯についての自動調整を可能にするようにばね荷重することができる。プローブのコアの長さは、調整可能にすることができる。

20

【 0 0 5 2 】

このトロリー装置は、完全にロボット化し、自己の独立電源（例えば、バッテリー）及び感知された磁束データを遠隔ステーションに取り次ぐためのトランスミッタを設けるようにすることができる。適当な周波数帯域で伝送することにより、雑音などに影響を受けることなくデータを遠隔ステーションに伝送することができる。

【 0 0 5 3 】

プローブは、歯 3 7 の側壁により完全に囲まれた構造に限られるものではない。プローブ 1 0 0 のコイル 1 0 4 及び他の部分は、所望のように構成でき、かつ、歯の高さより上方に配置して、コア 1 0 2 の適当な延長部が、歯の側壁間に定められた空間の中に下向きに突出し、このようにしてエアギャップ 1 0 8 及び 1 0 9 が確立される構成とすることができる。

30

【 0 0 5 4 】

E L C I D センサの構成において用いられるような空気コアとは異なる中実のプローブコアは、作業が容易な材料、つまり硬すぎず柔らかすぎず、成形が困難ではなく、かつ高い抵抗性特性と併せて、低磁束のもとで高い初期透磁率を示す材料で作られるのが好ましい。コア 1 0 2 は、複合材料、金属のような適当な単一材料で作ることができ、又は互いに固定された積層体で形成することができる。例えば、適当な鋼を用いることができ、所望の形状及び耐久性の両方、並びに、上述の低磁束のもとでの高い初期透磁率及び高い抵抗性特性を得るために、この種類の材料のプレート（又は異なる材料からなる混合体のプレート）を互いに結合することができる。コアは如何なる適当な形状にも構成することができ、図を単純化するためにほぼ円筒形に描かれた図示の形状に限定されるものではない。

40

【 0 0 5 5 】

プローブは、単一のコア又は単一のコイルの使用に限られるものではなく、多数のコア及びコイルを用いることができる。すべてのコアがコイルを通る必要はなく、エアギャップ 1 0 8 及び 1 0 9 において必要とされる磁束の感度を可能にする構成は本発明の範囲にある。プローブのコイル自体は歯の間に配設される必要はなく、コアは、その感知部分を隣接する歯の間の空間の中に延ばして必要な感知部分 - エアギャップ関係を確立する構成にすることができる。

【 0 0 5 6 】

50

エアギャップ１０８及び１０９は等しい必要はなく、したがって、歯３７の側部に対するプローブの制限された量の移動が可能になることに留意されたい。エアギャップ１０８及び１０９の合計が一定であり、コアの端部及び歯の間に直接接触がない場合には、正確な磁束の検知結果が可能になる。

【００５７】

本発明は、限られた数の実施の形態だけに関して述べられたことが分かるであろう。特許請求の範囲に示される参照番号は本発明の技術的範囲を狭めるものではなく、それらを容易に理解することを意図するものである。

【図面の簡単な説明】

【００５８】

10

【図１】センサ装置の実施の形態を適用することができるステータコアの概略斜視図。

【図２】ステータコアが、ダブテール溝及びキーバーによりステータのフレームに連結された複数の薄い絶縁鋼の積層体から構成される方法を示すステータ積層体の側面図。

【図３】ステータコアが、ダブテール溝及びキーバーによりステータのフレームに連結された複数の薄い絶縁鋼の積層体から構成される方法を示すステータ積層体の正面図。

【図４】歯と関連する欠陥がない場合に生成される漏れ磁束を示す、ＥＬＣＩＤ型のセンサ装置を用いて検査されている状態の２つのステータ歯の概略正面図。

【図５】歯と関連する欠陥がある場合に生成される漏れ磁束を示す、ＥＬＣＩＤ型のセンサ装置を用いて検査されている状態の２つのステータ歯の概略正面図。

【図６】本開示において参照されたＲＵ ２０８２２７４ Ｃ１（特許文献１）の従来技術を示す斜視図。

20

【図７】ＲＵ ２０８２２７４ Ｃ１（特許文献１）の装置により用いられた２つのセンサが、試験手順と関連した回路構成と共にステータコアに配置される方法を示す概略図。

【図８】ＲＵ ２０８２２７４ Ｃ１（特許文献１）に開示された、センサと関連して用いられる従来技術のキャリッジ装置。

【図９】本発明の実施の形態によるプローブ又はセンサの配置、及び欠陥がないときに生じる漏れ磁束を示す概略正面図。

【図１０】図９と同様であるが、欠陥が生じ、これにしたがって漏れ磁束が変化した状態を示す概略正面図。

【図１１】本発明の好ましい実施の形態により、センサ／プローブ装置を支持し移動させるように用いることができるキャリッジ装置の実施例を示す概略正面図。

30

【図１２】歯の直径が減少する端部ステップ領域の方向にステータを通して移動している状態のセンサを示す概略図。

【図１３】漏れ磁束における変動が検出されるように、センサ／プローブ装置と併せて用いることができる回路構成の実施例を示す図。

【図１４】ステータの検査中に、どのように励起コイルをセンサ位置に対して配設することができるかを示すステータの概略表示。

【図１５】ステータの検査中に、どのように励起コイルをセンサ位置に対して配設することができるかを示すステータの概略表示。

【図１６】欠陥のない、すなわち正常なコアシステムにより得られる特性を示すフェーザー図の実施例。

40

【図１７】センサ位置及び正常な積層構成により得られる信号を示す複合概略図。

【図１８】サブウェッジ欠陥が検出されたときに生成されるフェーザー図の実施例。

【図１９】センサ位置及びサブウェッジ欠陥が検出されたときに得られる信号を示す複合概略図。

【図２０】表面欠陥条件が検出されたときに生成されるフェーザー図の実施例。

【図２１】センサ位置及び表面欠陥条件が存在するときに得られる信号を示す複合概略図。

。

【図２２】本発明の好ましい実施の形態により、センサ／プローブ装置を支持し移動させるように用いることができるキャリッジ装置の代替的な実施の形態を示す平面図。

50

【図 2 3】本発明の好ましい実施の形態により、センサ/プローブ装置を支持し移動させるように用いることができるキャリッジ装置の代替的な実施の形態を示す正面図。

【符号の説明】

【 0 0 5 9 】

3 0 ステータ

3 7 歯

1 0 0 プローブ

1 0 2 コア

1 0 4 感知コイル

1 0 8、1 0 9 エアギャップ

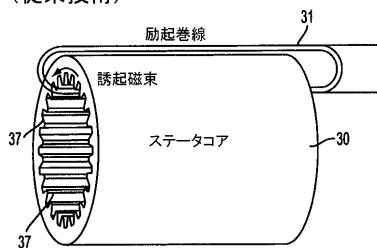
2 0 0 キャリッジ

3 1 励磁巻線

10

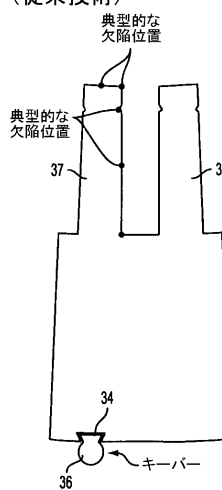
【図 1】

(従来技術)



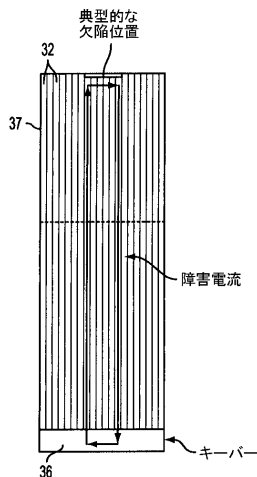
【図 3】

(従来技術)



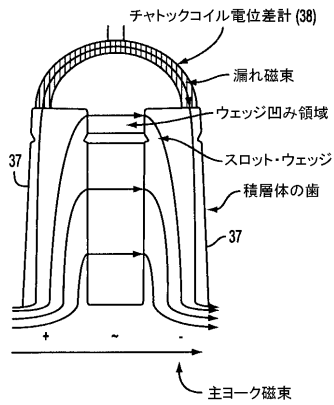
【図 2】

(従来技術)



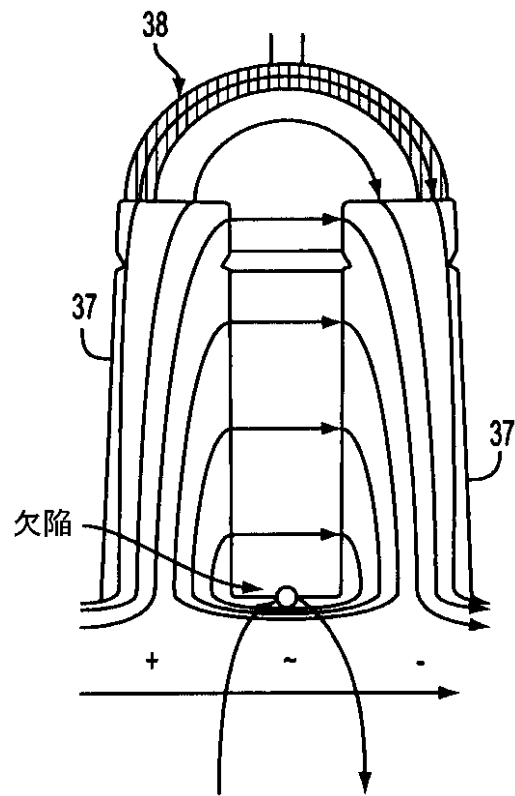
【図 4】

(従来技術)



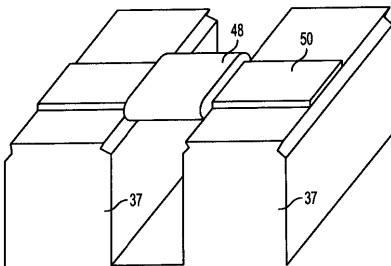
【図 5】

(従来技術)



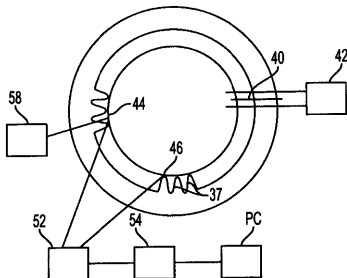
【図 6】

(従来技術)



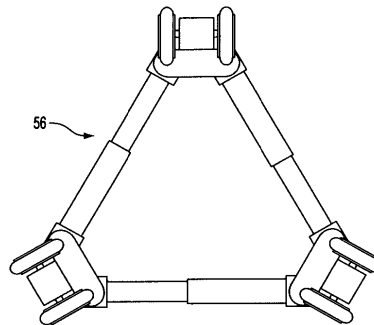
【図 7】

(従来技術)

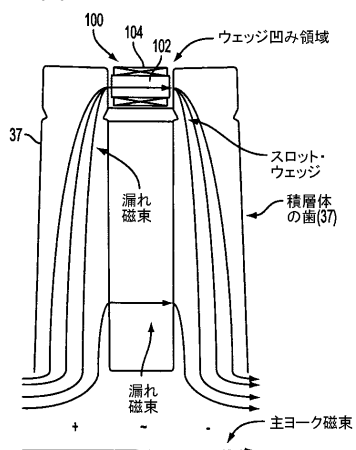


【図 8】

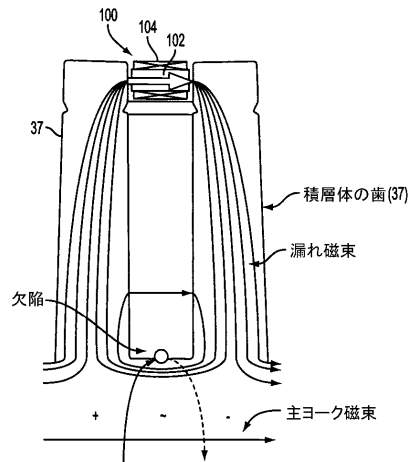
(従来技術)



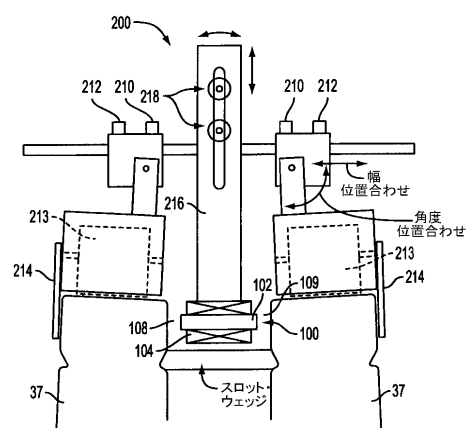
【図 9】



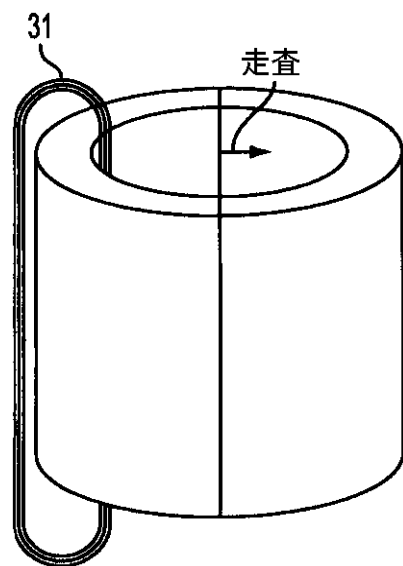
【図 10】



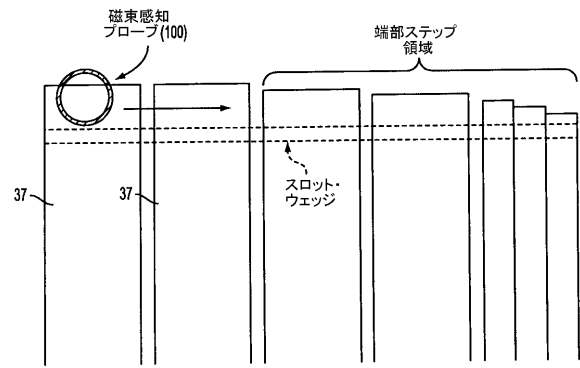
【図 11】



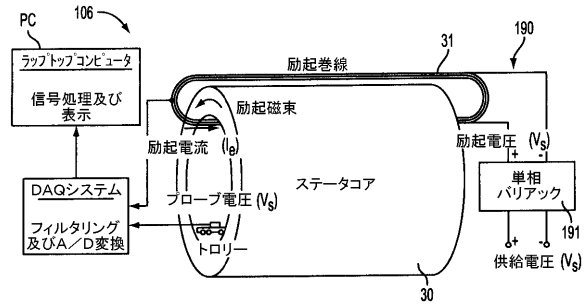
【図 14】



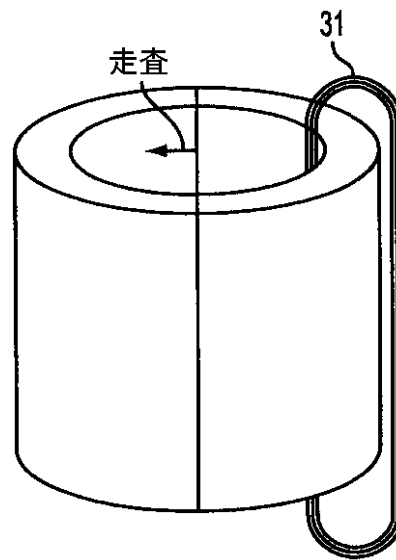
【図 12】



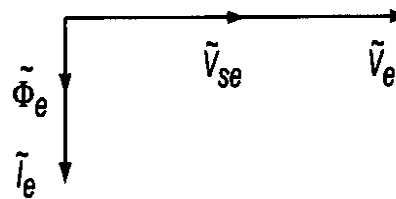
【図 13】



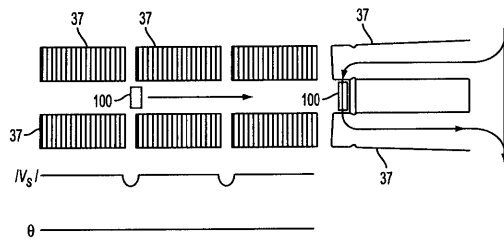
【図 15】



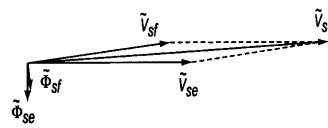
【図 16】



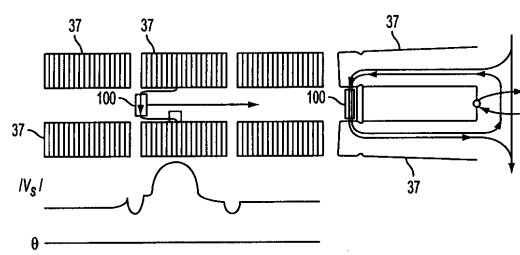
【図 17】



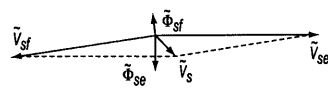
【図 18】



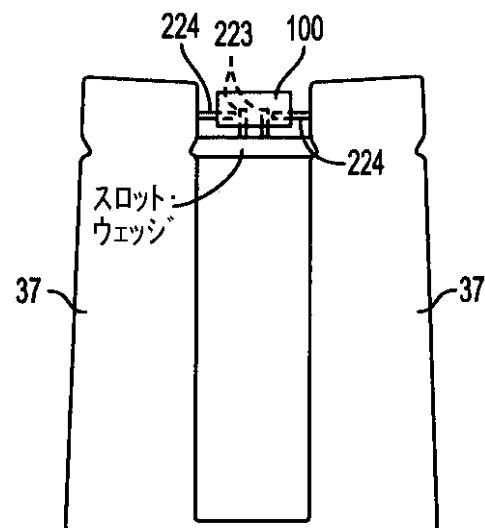
【図 19】



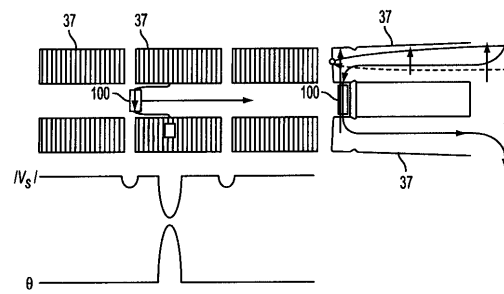
【図 20】



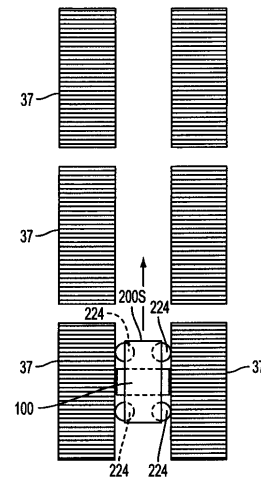
【図 23】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

- (72)発明者 サン・ビン・リー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、シェリダン・ビレッジ、12・エー4番
- (72)発明者 ジェラルド・パート・クリマン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、スイートブライア・ロード、2263番
- (72)発明者 マノージ・ランブラサド・シャー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ラザム、チップエンデル・コート、4番
- (72)発明者 ティモシー・ジェラルド・リクター
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ワイナンツキル、パーシング・アベニュー、214番

審査官 田中 洋介

- (56)参考文献 特開平06-194342(JP,A)
特許第3119854(JP,B2)
国際公開第02/010737(WO,A2)
特開平08-193980(JP,A)
特開昭63-228948(JP,A)
実公平03-038692(JP,Y2)
米国特許第05341095(US,A)
特許第2861581(JP,B2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 27/72 - 27/90