

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2013-501931

(P2013-501931A)

(43) 公表日 平成25年1月17日 (2013.1.17)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO 1 R 19/20 (2006.01)</b>	GO 1 R 19/20	2 G O 2 5
<b>GO 1 R 15/20 (2006.01)</b>	GO 1 R 15/02 A	2 G O 3 5

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2012-524323 (P2012-524323)	(71) 出願人	395021491
(86) (22) 出願日	平成22年8月10日 (2010.8.10)		リエゾン、エレクトロニクスメカニク、エ
(85) 翻訳文提出日	平成24年2月9日 (2012.2.9)		ルウエム、ソシエテ、アノニム
(86) 国際出願番号	PCT/IB2010/053616		スイス国、1 2 2 8 プランレーズアト
(87) 国際公開番号	W02011/018754		、シュマン、デ、ゾール、8
(87) 国際公開日	平成23年2月17日 (2011.2.17)	(74) 代理人	100102048
(31) 優先権主張番号	09167672.6		弁理士 北村 光司
(32) 優先日	平成21年8月11日 (2009.8.11)	(74) 代理人	100146503
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)		弁理士 高尾 俊雄
		(72) 発明者	テパン・ウォルフラム
			フランス国 F-7 4 1 6 0 コロンジュ
			ースーサレーブ ルート ドゥ クレツ
			1 5 0

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 混合モードフラックスゲート電流変換器

## (57) 【要約】

一次導体 (2) 内を流れる一次電流  $I_p$  を測定するための測定回路 (6) とインダクタ (4) とを備える電流変換器であって、インダクタは、高透磁性の磁性材によって形成される可飽和磁気コア (10) と、磁気コアを交互に飽和させるように構成される交流励磁電流  $i$  を流す二次コイル (12) とを備え、コイルは測定回路に接続されている。測定回路は、小さい一次電流振幅の場合には二次コイル内の励磁電流の平均値を測定し且つそこから一次電流の値を求めるように構成され、大電流の場合には励磁電流  $i$  の周波数を計算し且つそこから一次電流の値を求めるように更に構成される。

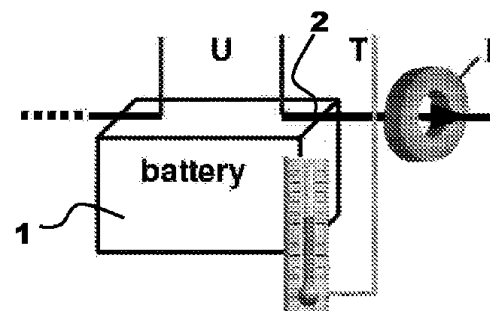


Fig. 1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

一次導体内を流れる一次電流  $I_p$  を測定するための測定回路とインダクタとを備える電流変換器であって、前記インダクタは、高透磁性の磁性材によって形成される可飽和磁気コアと、前記磁気コアを交互に飽和させるように構成される交流励磁電流  $i$  を印加する、前記測定回路の自動発振回路に接続された二次コイルとを備え、

前記測定回路は、小さい一次電流振幅の場合には前記交流励磁電流  $i$  の平均値を測定し且つそこから前記一次電流の値を求めるように構成され、大電流の場合には前記励磁電流  $i$  の周波数を計算し且つそこから前記一次電流の値を求めるように更に構成される電流変換器。

10

## 【請求項 2】

前記測定回路は、バイポーラ DC 電圧源  $V_o$  と、一方又は他方の極性に交互に切り替えてこの電圧源を可飽和インダクタに接続する手段と、前記接続手段に影響を与える前記インダクタを流れる電流の閾値を検出する手段と、この電流の平均値を測定する回路と、発振の周波数を測定する回路と、これらの測定値を線形化し合成する手段と、前記一次電流の計算された値を伝達する出力回路とを含む請求項 1 記載の電流変換器。

## 【請求項 3】

前記電圧源を前記可飽和インダクタに接続する前記手段及び電流閾値検出器は比較器回路である請求項 2 記載の電流変換器。

## 【請求項 4】

前記平均値測定回路はローパスフィルタとアナログ - デジタル変換器とを備える請求項 2 又は 3 記載の電流変換器。

20

## 【請求項 5】

前記発振の周波数を測定する前記回路は、前記電圧接続手段のスイッチング期間の間に既知の周波数の周期をカウントすることにより周波数測定を実行するように構成される請求項 2、3 又は 4 記載の電流変換器。

## 【請求項 6】

信号を線形化し合成する前記手段は、デジタル - アナログ変換器及び / 又はデジタルインターフェースを有するシステムである請求項 2、3、4 又は 5 記載の電流変換器。

## 【請求項 7】

前記測定回路は前記励磁電流を測定する抵抗  $R_m$  を備える前出の請求項のいずれかに記載の電流変換器。

30

## 【請求項 8】

前記可飽和磁気コアは環状で閉じている前出の請求項のいずれかに記載の電流変換器。

## 【請求項 9】

前記測定回路が接続されるマイクロコントローラを更に含み、前記マイクロコントローラは数値処理装置に加えて以下のブロック：アナログ - デジタル変換器、電圧基準器、時間（周期）測定用カウンタ、デジタル - アナログ変換器、及びデジタル出力のうちの一つ以上を備える前出の請求項のいずれかに記載の電流変換器。

## 【請求項 10】

一次導体内を流れる電流を測定する方法であって、  
- 自動発振励磁回路を有する測定回路と可飽和磁気コアの周囲に巻かれた二次コイルを備えるインダクタとを含む電流変換器を提供することと、  
- 前記磁気コアを交互に飽和させるように構成された前記二次コイルに励磁電圧を印加することと、  
- 小さい一次電流振幅の場合には交流励磁電流  $i$  を測定し、そこから一次電流の値を求めることと、  
- 大きい一次電流振幅の場合には前記インダクタを流れる前記励磁電流を駆動する前記自動発振回路の周波数を測定し、そこから前記一次電流の値を求めることと、  
を含む方法。

40

50

## 【請求項 1 1】

小さい一次電流の場合には前記一次電流の前記測定は前記励磁電流の平均値の計算に基づく前出の請求項に記載の方法。

## 【請求項 1 2】

小電流の場合の前記測定方法は、以下の条件：

$$\left| \frac{I_p}{N} \right| < i_{s0}$$

に従う一次電流の場合に採用され、ここで  $I_p$  は一次電流、 $N$  は前記二次コイルのターン数、 $i_{s0}$  は一次電流が 0 である場合の飽和励磁電流の値である請求項 1 0 又は 1 1 記載の測定方法。

10

## 【請求項 1 3】

値  $i = 0$  周辺の転移領域における一次電流の場合、出力値は前記励磁電流の平均値と共振周波数の両方の関数として計算される前出の請求項のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 1 4】

前記変換器は請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の前記変換器のいずれか一つ又は複数の特徴を有する、請求項 1 0 ~ 1 3 のいずれかに記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

20

## 【0 0 0 1】

本発明は電流変換器に関し、特にフラックスゲート型のものに関する。

## 【背景技術】

## 【0 0 0 2】

従来のフラックスゲート電流変換器は、典型的には、そのフラックスゲートの励磁コイルによって交番磁界にさらされる高透磁率の軟磁性材料のコアを備える。励磁コイルの磁界によってこのコアは交互に飽和状態となる。例えば一次導体内を流れる電流によって生じる外部磁界等の磁界の存在下で、軟磁性のコアの飽和特性は（見掛け上、二次側から見て）非対称となり、フラックスゲートコイルを駆動する回路において対応する信号が生成される。結果として生じた信号は外部磁界の振幅に相関性を有する。クローズドループ電流変換器においてこの信号は、一次電流の鎖交磁束によってもたらされた外部磁界の影響を打ち消すように構成される磁気回路上で二次コイルを駆動するためにフィードバックループにおいて使用される。クローズドループフラックスゲート変換器の主な利点は、測定の安定性、振幅の小さい電流を高精度に測定できる点、ならびに大きなダイナミックレンジを有する点にある。一方、一般的にこのような変換器は構築が比較的高価であり、したがって費用重視の一般的な電流測定用途には最適とはいえない。

30

## 【0 0 0 3】

ある特定の用途においては、限られた費用で広範囲の電流を測定する必要がある。振幅の小さい電流を高精度に測定することと広い測定範囲とを必要とする用途の一例としてバッテリーの監視がある。バッテリーの監視には、バッテリーの状態（充電、健全性）を評価するためにバッテリーシステムの異なるパラメータ、温度、電圧、インピーダンス及び電流を測定することが含まれる [ 2 ]。多くの場合、例えば工業用 UPS、電気通信システム又はバッテリーの蓄電システム等において数百ブロックからなる複雑なシステムを監視する必要がある。バッテリーを監視する用途に関する問題の一つとして電流の測定があり、ここで典型的には測定範囲（DC）は 1 0 m A から 1 0 0 0 A まで多様でありうる。今日入手可能な低コストの電流変換器は、数ミリアンペアの細流充電（フロート）電流から数百アンペアのバッテリーの放電電流及び再充電電流まで多様でありうる極めて広い測定範囲をサポートしつつ、振幅の小さい電流の場合に十分な精度で動作するようにはうまく適応しているとはいえない。

40

## 【0 0 0 4】

50

ある特定の電気モータ、発電機及びその他の電気駆動装置においても、その駆動装置又は発電機に対して精度が高く且つ信頼性の高い制御を行うために、極めて広い範囲にわたる電流の測定が必要となることがある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の目的は、小電流を高精度で測定し且つ広い測定範囲を有する電流変換器を提供することである。

【0006】

経済的に製造できる電流変換器を提供することは有利である。

10

【0007】

精度が高く且つ経済的に製造できるバッテリー監視用電流変換器を提供することは有利である。

【0008】

実施が容易である電流変換器を提供することは有利である。

【0009】

コンパクトで信頼性の高い電流変換器を提供することは有利である。

【0010】

本発明の目的は、請求項1に記載の混合モードフラックスゲート変換器及び請求項10に記載の電流の測定方法を提供することによって達成された。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

本明細書で開示するのは、一次導体内を流れる一次電流  $I_p$  を測定するための測定回路とインダクタとを備えるフラックスゲート電流変換器であって、前記インダクタは、高透磁性の磁性材によって形成される可飽和磁気コアと、前記磁気コアを交互に飽和させるように構成される交流励磁電流  $i$  を印加する、前記測定回路の自動発振回路に接続された二次コイルとを備える。上記計算回路は、小さい電流振幅の場合には上記励磁電流  $i$  の平均値を測定し且つそこから上記一次電流の値を求めるように構成され、大電流の場合には上記励磁電流  $i$  の周波数を測定し且つそこから上記一次電流の値を求めるように更に構成されている。

30

【0012】

好ましくは、上記電流変換器は、上記測定回路であって、バイポーラDC電圧源  $V_o$  と、一方又は他方の極性に交互に切り替えてこの電圧源を上記可飽和インダクタに接続する手段と、上記接続手段に影響を与える上記インダクタを流れる上記電流の閾値を検出する手段と、この電流の平均値を測定する回路と、上記発振の周波数を測定する回路と、これらの測定値を線形化し合成する手段と、上記一次電流の上記計算された値を伝達する出力回路とを含む測定回路を有する。上記電圧源を上記可飽和インダクタに接続する上記手段及び上記電流閾値検出器は、比較器回路であってもよい。上記平均値測定回路は、ローパスフィルタとアナログ-デジタル変換器とを備えてもよい。上記発振の周波数を測定する上記回路は、上記電圧接続手段のスイッチング期間の間に既知の周波数の周期をカウントすることにより周波数測定を実行するように構成されてもよい。上記信号を線形化し合成する上記手段は、デジタル-アナログ変換器及び/又はデジタルインターフェースを有するシステムであってもよい。上記測定回路は、上記励磁電流を測定する抵抗  $R_m$  を備えてもよい。

40

【0013】

上記電流変換器は、上記測定回路が接続されるマイクロコントローラを更に含んでもよく、上記マイクロコントローラは数値処理装置に加えて以下のブロック：アナログ-デジタル変換器、電圧基準器、時間（周期）測定用カウンタ、デジタル-アナログ変換器、及びデジタル出力のうちの一つ以上を備える。

【0014】

50

本発明に係る一次導体内を流れる電流を測定する方法は、

- 自動発振励磁回路を有する測定回路と可飽和磁気コアの周囲に巻かれた二次コイルを備えるインダクタとを含む電流変換器を提供することと、
- 上記磁気コアを交互に飽和させるように構成された上記二次コイルに励磁電圧を印加することと、
- 小さい一次電流振幅の場合には上記励磁電流  $i$  の平均値を測定し、そこから上記一次電流の値を求めることと、
- 大きい一次電流振幅の場合には上記インダクタを流れる上記励磁電流を駆動する上記自動発振回路の周波数を測定し、そこから上記一次電流の値を求めることを含む。

【0015】

10

上記値  $i = 0$  周辺の転移領域における一次電流の場合、上記出力値は上記励磁電流の平均値と上記発振周波数の両方の関数として計算されてもよい。

【0016】

「フラックスゲート」型の技術に基づく本発明に係る電流変換器は、経済的に製造及び実施でき且つ十分な精度を実現しつつ広い測定範囲を有する。この変換器は、一次電流が可飽和インダクタに対して作用することによって生じる磁界を使用している。低い一次電流振幅では、二次コイル内を流れる励磁電流の平均値は、一次電流によって生じた磁界を打ち消す傾向のある平均磁界を生じさせる。したがって、交流励磁電流の平均値は一次電流の平均値と相関性を有する。大きな一次電流では、磁気コアは、励磁電流方向の変化の間で完全に非飽和にならず、その結果交流励磁電流の平均値はもはや一次電流と相関性を有さなくなる。大きな一次電流では、一次電流に相関する交流励磁電流の励磁周波数が測定され、適切なマイクロコントローラを利用することによって、非常に広い測定範囲にわたって高い電流レベルと低い電流レベルの両方の場合に一次電流の値を高精度に計算することができる。

20

【0017】

小さい一次電流  $I_p$  の場合、一次電流の値は、二次コイル内を流れる励磁電流の平均値の値に基づいて決定すればよい。

【0018】

小電流の測定方法は、以下の条件：

$$\left| \frac{I_p}{N} \right| < i_{s0}$$

30

に従う一次電流の場合に採用されることが好ましく、ここでは、 $I_p$  は一次電流、 $N$  は二次コイルのターン数、 $i_{s0}$  は、一次電流が 0 である場合の磁気コアを飽和させる励磁電流の振幅である。

【0019】

大きい一次電流の場合、一次電流の測定は二次コイル内の交流励磁電流  $i$  を駆動する自動発振回路の励磁周波数の計算に基づく。

【0020】

40

本発明の更なる目的及び有利な特徴は、請求項、実施形態の以下の詳細な説明、並びに添付図面からも明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図 1】図 1 は測定パラメータを示すバッテリー監視システムの簡略図である。

【図 2】図 2 は本発明の実施形態に係る電流変換器の可飽和インダクタとそのメインパラメータとを示している。

【図 3】図 3 は二次（すなわち励磁）コイル内の電流の周波数の変動を測定した値を一次電流の関数としてグラフで示したものである。

【図 4 a】図 4 a は、電流源がフラックスゲート変換器の等価電気回路と電子測定回路と

50

に接続されている、本発明の実施形態に係るフラックスゲート電流変換器のシミュレーションモデルの回路図を示している。

【図４ｂ】図４ｂは、フラックスゲートを流れる電流の平均値及びその発振周波数を計算するための、本発明に係る一例としての測定回路のシミュレーションモデルの機能ブロック図である。

【図４ｃ】図４ｃは当該シミュレーションモデルの幾何学的パラメータ及び磁気パラメータと電子比較器に必要な電圧源とを示す図である。

【図５ａ】図５ａは一次電流が小さいときの二次フラックスゲート巻線内を流れる電流を示すグラフである。

【図５ｂ】図５ｂは一次電流が大きいときの二次フラックスゲート巻線内を流れる電流のスイッチング周波数を示すグラフである。

【図６ａ】図６ａは一次電流に対する当該回路の二つの出力信号を示すグラフである。

【図６ｂ】図６ｂは図６ａの拡大図である。

【図６ｃ】図６ｃは図６ａの別の拡大図である。

【図７】図７は本発明に係る電流変換器の測定回路の実施形態の回路図を示す。

【発明を実施するための形態】

【００２２】

図１、２及び７を参照すると、一次導体２内を流れる一次電流 $I_p$ を測定するための本発明に係る電流変換器の実施形態は、例えばバッテリー１やその他の電気装置やモータ等に接続されており、この一次電流はバッテリーの充電電流又は放電電流あるいは電気モータの駆動電流に対応している。この変換器は測定回路６に接続されるインダクタ４（インダクタンス $L$ を示す）を備える。このインダクタは高透磁率材料（軟磁性材）によって形成される磁気コア１０を有する磁気回路８と、可飽和磁気コア１０の少なくとも一部に巻かれた二次コイル（本願明細書においては励磁コイルとも呼ぶ）１２とを備える。二次コイル１２はこの二次コイルに励磁電流 $+i$ 、 $-i$ を供給する測定回路６に接続され、この励磁電流は磁気コアを一方向に、その次に反対方向に、交互に飽和させるように構成されている。示される実施形態において磁気コアは、一次導体が貫通して延在する中央通路１４を有する環状の閉じたリングの形状である。

【００２３】

一次導体は磁気コアの中央通路を一直線に貫通する単一の導体として示されているが、一次導体は可飽和コアの一部に巻かれた一つ以上のターン（巻線）を有するものでもよい。一次導体の部分は電流変換器に組み込まれていてもよく、測定対象となるシステムの外部一次導体に接続するための複数の接続端子を備える。一次導体は変換器とは別体であっても変換器を貫通するように挿入されてもよい。磁気コアは円形以外の他の形状であってもよく、例えば四角形、正方形、多角形又は他の形状等であってもよい。更には、インダクタの磁気コアは、例えば棒の形状やエアギャップを有するほぼ閉じた磁気コアの形態等の閉じていない回路を形成してもよい。磁気コアは、例えば一次導体の周囲に組立てられた二つの半体部分又は二つの部分等の一つ以上の部分によって形成されてもよい。また電流変換器は、一次導体が貫通して延在する中央通路を有さない磁気コアを備えてもよく、これによって磁気コアの近傍に一次導体を位置させることもできるし、磁気コアの一部分の周囲に一つ以上のターンの形で一次導体を巻くこともできる。これらの様々な構成において、機能原理は実質的に同一のままであり、これによって二次コイルにおける励磁電流は磁気コアを交互の方向に飽和させる交互の電流となり、磁気コアの見かけ上の飽和特性に影響を与える磁界が一次電流によって生じることとなる。

【００２４】

本発明において、小電流の場合には測定回路は励磁電流の平均値を測定するが、この平均値は一次電流の振幅に実質的に比例する。しかしながら、大きい一次電流の場合にはこの測定原理が採用されることはない。これは、二次（励磁）電流がなくてもコアは飽和状態にあり、二次電流の平均値はもはや一次電流を反映しなくなるからである。このため、大電流の場合には測定回路は他の測定方法を採用するが、この方法は、以下に詳しく説明

10

20

30

40

50

するように一次電流の振幅に対応する二次コイル励磁電流の周波数を計算するものである。

#### 【 0 0 2 5 】

これにより、有利には、極めて広い電流範囲の測定のために単一で簡素で低コストの変換器を使用することができる。

#### 【 0 0 2 6 】

図 1 及び 2 はクローズドループ電流変換器を有するバッテリー監視システムにおける以下のパラメータを示している。

$N$  は二次ターン数であり、

$I_{Fe}$  は平均磁気回路長であり、

$S_{Fe}$  は磁気回路断面であり、

$i$  は励磁電流であり、

$I_p$  は一次電流（測定対象）であり

は磁束である。

この種の用途における主な問題は電流の測定である。これは、細流充電（フロート）電流の数ミリアンペアからバッテリーの放電電流及び再充電電流の数百アンペアまでの極めて広い範囲において電流が多様でありうるためである。

#### 【 0 0 2 7 】

図 4 a はフラックスゲート変換器の等価電気回路（フラックスゲートモデル）と電子測定回路とに接続された電流源  $C S$  を示す。この電流源は、フラックスゲート発振周波数の大きなダイナミックレンジに適合する形式での当該シミュレーションのために単調に増大する電流を供給する。フラックスゲートモデルは、 $i / (1 + i^2)$  の型のシグモイド関数  $(i)$ （鎖交磁束対電流）を含む可飽和インダクティビティ  $L_{nonlinear}$  と、コアが完全に飽和したときのフラックスゲートの残留インダクタンスを表す一定インダクティビティ  $L_{sat}$  と、磁性材の動的損失を表す抵抗  $R_{Fe}$  と、二次ターン数  $n$ （一次ターンカウントは 1）を有する理想的な変圧器  $T$  と、二次巻線の銅損を表す抵抗を含む。

#### 【 0 0 2 8 】

フラックスゲートに二次電流を供給するこの電子回路は、極めて単純な自動発振構造になっており、電子比較器  $comp$  と、フラックスゲート巻線内を流れる二次電流を測定する抵抗  $R_{shunt}$  と、比較器の出力電圧の一部をフィードバックする分圧器（ $R_{fb1}$ ,  $R_{fb2}$ ）とを含む。

#### 【 0 0 2 9 】

この構造は、広いダイナミックレンジを有する電流変換器としてこの回路を使用可能にする基本動作を示す。

#### 【 0 0 3 0 】

図 4 b はフラックスゲートを流れる電流の平均値とその発振周波数とを計算するブロックのアセンブリを示す。

この情報は信号  $Out\_mean$  及び  $Out\_freq$  によって提供される。

$Out\_mean$  は、 $S/H1$  でサンプリングされ、フラックスゲート電流（ $R_{shunt}$  で測定した電圧）の各スイッチング期間における積分値（ $Int1$ ）として計算される。

$Out\_freq$  は、 $S/H2$  でサンプリングされ、上記期間において定数を積分する（ $Int2$ ）ことによって求めた各スイッチング期間の逆数（ $Div$ ）として計算される。フリップ・フロップ  $FF$  及びバッファ  $buf2$  は、各スイッチング期間の終わりに短いパルスを生じ生成してサンプルアンドホールド回路  $S/H1$  及び  $S/H2$  にゲートし、積分器をリセットする。

#### 【 0 0 3 1 】

実際の装置では、これらの機能はオペアンプ、レジスタ、コンデンサ、アナログ - デジタル変換器、ファームウェアを有するマイクロプロセッサ等の電子部品として実現されう

10

20

30

40

50

る。

#### 【 0 0 3 2 】

図 4 c は、一例としてのトロイダルフラックスゲートの幾何学的パラメータ及び磁気パラメータを定義したシミュレーションモデルのブロックと、電子比較器に必要な電圧源とを簡単に示したものである。

#### 【 0 0 3 3 】

図 5 a、5 b、及び 6 a ~ 6 c は、大きなダイナミックレンジを有する一次電流のイメージである各信号を当該回路が生成可能であることを示す。

#### 【 0 0 3 4 】

図 5 a は、一次電流が小さいときにシミュレーションの始めに二次フラックスゲート巻線内を流れる電流を示している。このシミュレーションにおけるスイッチング周波数は 5 0 0 H z 未満である。一次電流が標準的な方法（平均値計算）で計算できない高い値に到達する場合には、周波数は図 5 b に示すように 1 0 0 k H z より高い値に到達している。

#### 【 0 0 3 5 】

図 3 は、試験用プロトタイプにおいて二次（すなわち励磁）コイル内の電流の周波数の変動を測定した値を一次電流の関数として示したものである。ここで、約 7 アンペアより大きい電流については、二次コイルの周波数は一次電流が増大するにつれて測定可能に変動することが分かる。したがってこの例では、転移点 T 未満の一次電流の測定モードは低電流の測定用に構成され、転移点より後では、測定モードは二次回路励磁周波数の計算に基づく高電流の測定用に構成される。

#### 【 0 0 3 6 】

図 6 a は一次電流に対する当該回路の二つの出力信号を示す：小電流の場合は、出力周波数はほぼ一定であり、電流の平均値は上昇し、一次電流が 1 0 A を超えるとこの平均値は非常に小さい値に再び減少する。この値は、更なる情報なしでは一次電流を求めるために使用できない。なぜならばこれらの値は曖昧なものであり、また小さい一次電流においても存在するからである。約 5 A よりも大きい一次電流の場合に上昇するスイッチング周波数を利用すると、この曖昧さを解消することができる。図 6 b は図 6 a の拡大図であり、ここにおいて、スイッチング周波数は、小さい一次電流については比較的一定に保たれることが明らかである。図 6 c は図 6 a の別の拡大図であり、周波数測定が最高の結果をもたらすであろう電流範囲が示されている。約 7 A より小さい電流の場合、平均二次電流値と周波数とを合成計算してもよく、約 2 0 A より大きい電流の場合には、周波数上昇はますます小さくなり、測定精度はパラメータの変動、例えば温度変動などにより、影響を受けるであろう。

#### 【 0 0 3 7 】

##### 測定回路

図 7 は本発明に係る変換器の実施形態の測定回路図を示す。測定対象の電流は、適切なトロイダルコアを内蔵する電流変圧器の一次電流である。二次（測定）回路は、フラックスゲートに電力を供給する D C 電圧源  $V_c = 12 V$  によって形成される。図 4 b の各ブロックは、一体化されたアナログ - デジタル変換器とタイミングを計る目的のデジタル同期入力装置とを有するマイクロプロセッサによって置換される。小さい一次電流の場合、このマイクロプロセッサ装置はレジスタ R \_ s h u n t に存在する（内部でローパスフィルタにかけられた）励磁電流信号を使用し、大きい一次電流の場合には、フラックスゲート回路の発振周波数を表すデジタル入力監視される。転移領域における一次電流の場合には、両信号の合成を用いることができる。

#### 【 0 0 3 8 】

##### 低い一次電流の場合の測定方法

フラックスゲートの二次巻線を通る電流の平均値は、アナログローパスフィルタとアナログからデジタルへの変換とを利用して、又はオーバーサンプリングとそれに続く数値ローパスフィルタリングにより求められる。アナログフィルタは、フラックスゲートのスイッチング期間に同期させた簡単な R - C 回路、アクティブフィルタ、又はゲート積分器



回路であってよい。数値ローパスフィルタもまたスイッチング期間に同期させてよい。その後、平均値は入力電流に比例した値に調整される。

小さい一次電流の場合の上記測定方法は、以下の条件に従う一次電流の場合に使用することができる。

$$\left| \frac{I_P}{N} \right| < i_{s0} \quad (22)$$

一例として、試験用プロトタイプにおいてこの条件は±7 Aの測定範囲（一次電流）を指している。より高い一次電流の場合には異なる測定方法が用いられる。

10

#### 【0039】

高い一次電流の場合の測定方法

フラックスゲートの発振周波数を求めるために、比較器Compの出力信号は、必要に応じて信号レベルをマイクロプロセッサと互換性のある信号レベルに適合させる電圧制限ネットワーク（図示せず）を介して、マイクロプロセッサのデジタル入力に接続される。フラックスゲート励磁信号の周波数を求める最も速い方法は、“sync”入力の二つの上昇（又は下降）端の間で、例えばマイクロプロセッサ自体の、（内部）クロックサイクル数をカウントする方法である。次いで、カウントされた（多くのマイクロプロセッサはこの目的のための内部装置を備える）パルス数の逆数に定数をかけて周波数Hzを得ることができる。この周波数は入力電流の関数であるが線形関数ではない。従って、周波数信号に関して図6aに示す関数の近似逆関数が適用される。このような近似は、例えば区分的線形補間によって計算できるが、他の多くのアルゴリズムが知られている。

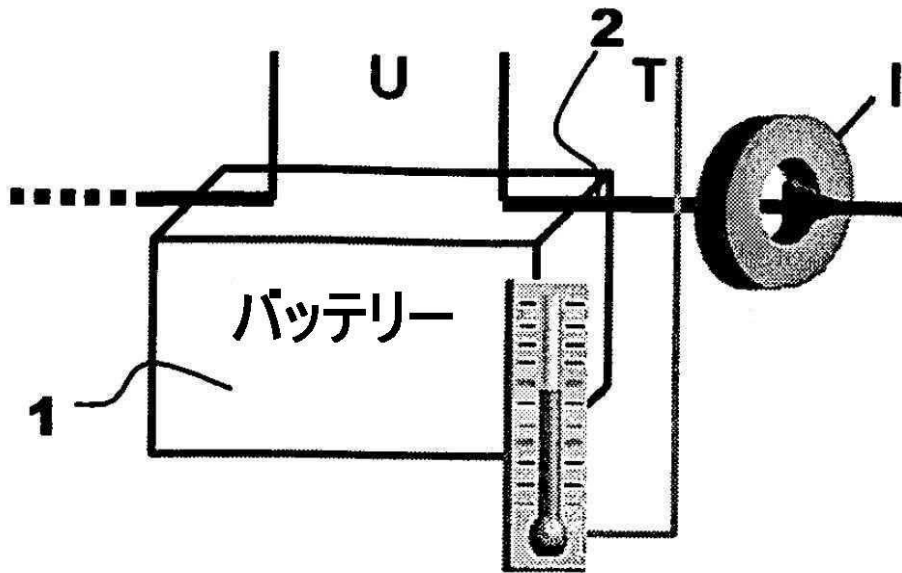
20

#### 【0040】

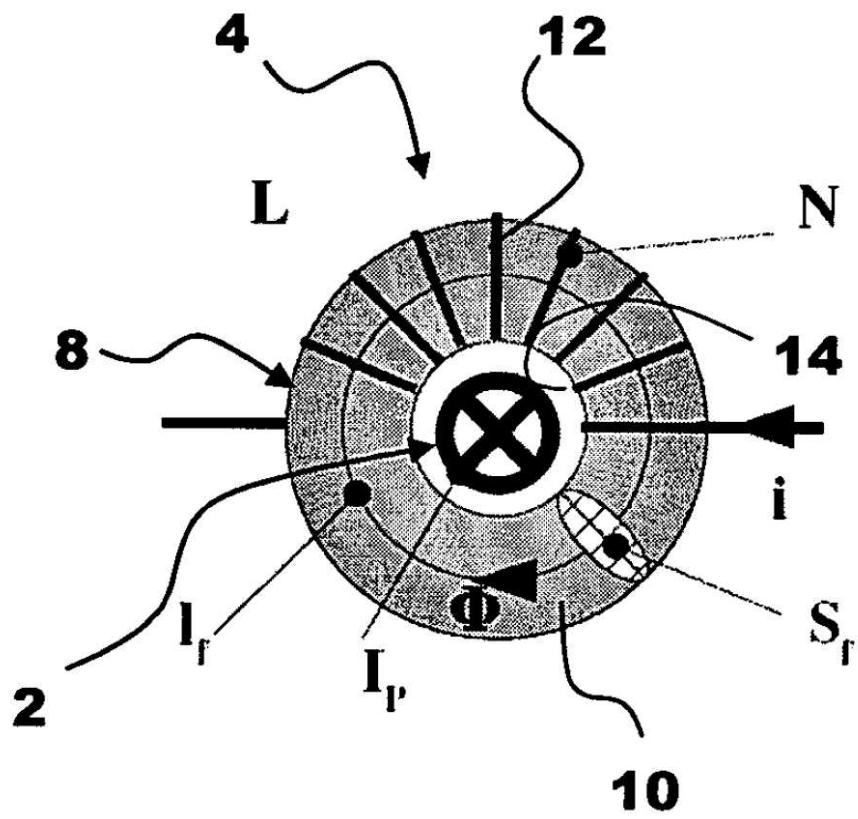
動作範囲に従って、出力信号“out”が生成される。この出力信号は電気量（電圧又は電流）であってもよいが、周波数、デューティサイクル又は他のRS-485のようなデジタルインターフェース、などとして符号化された値を有するデジタル出力もまた用いることができる。中間範囲では、出力信号は平均値と周波数両方の関数として計算できる。

。

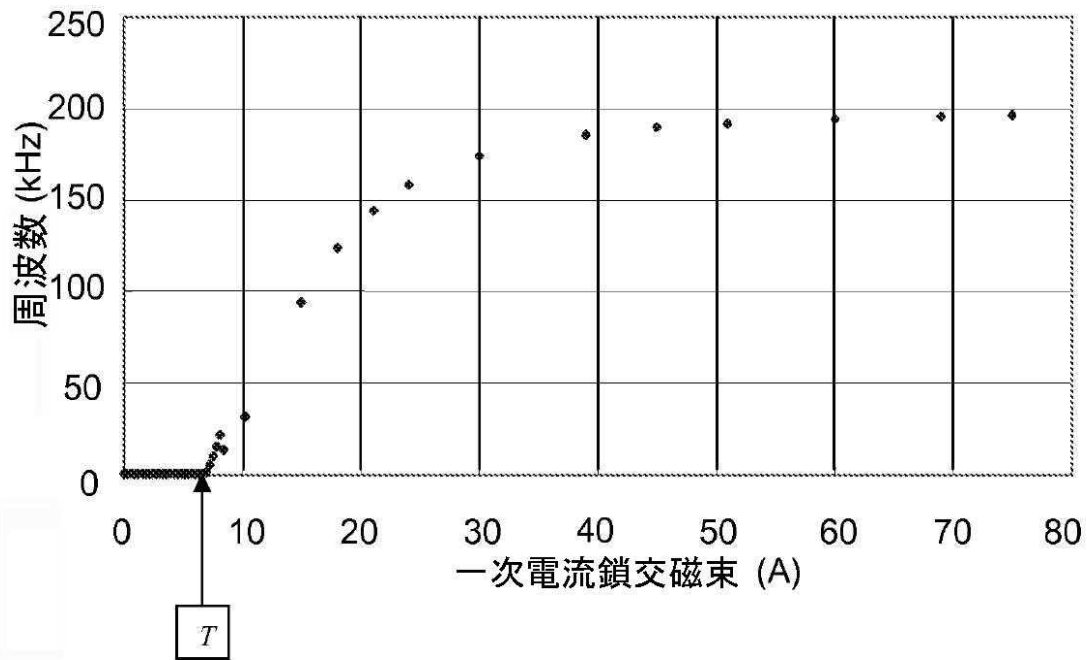
【図 1】



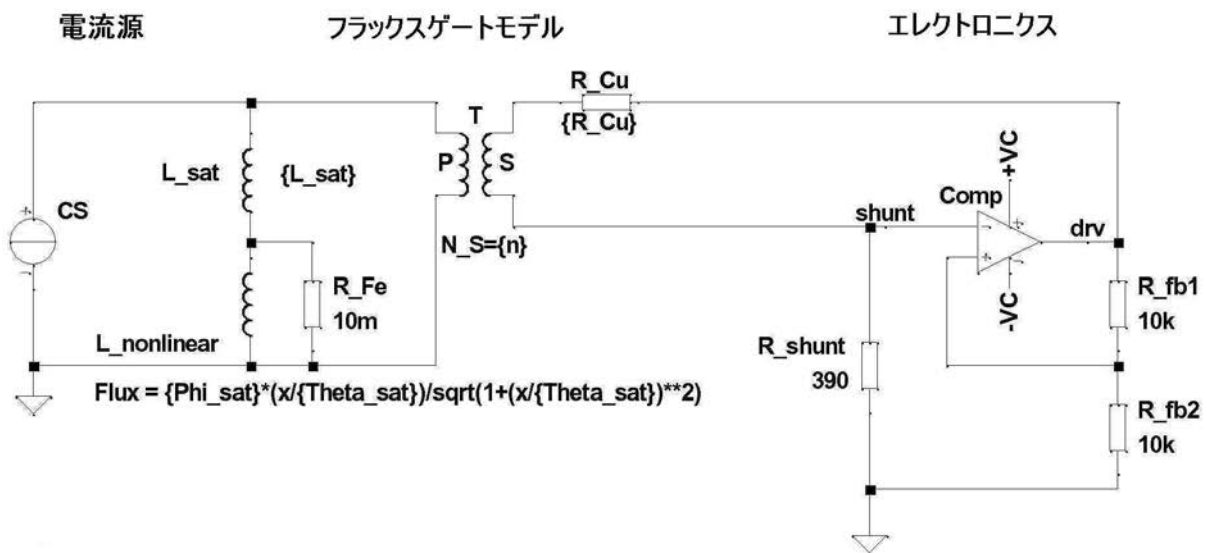
【図 2】



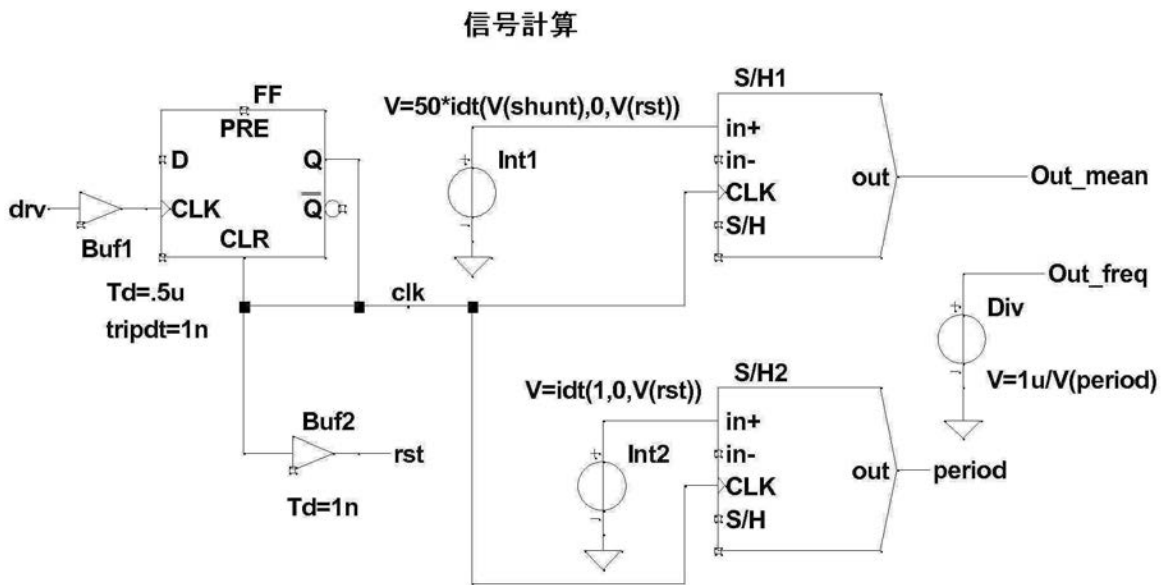
【 図 3 】



【 図 4 a 】



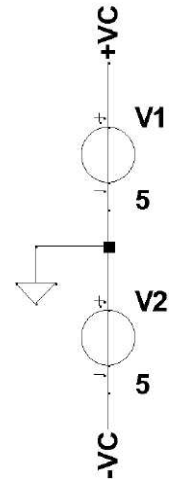
【図 4 b】



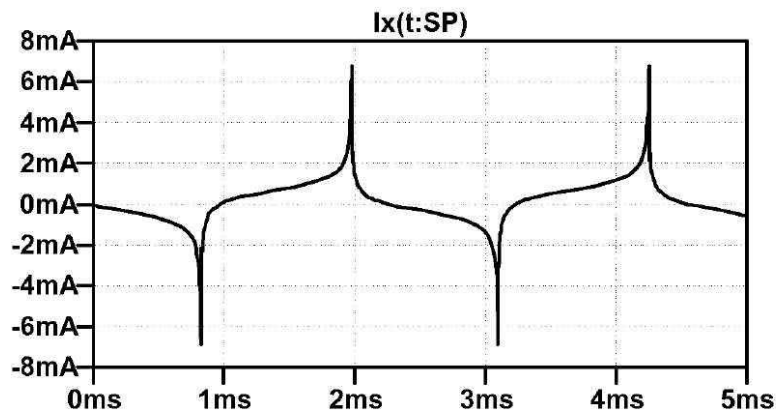
【図 4 c】

.tran 0 300m 10m uic

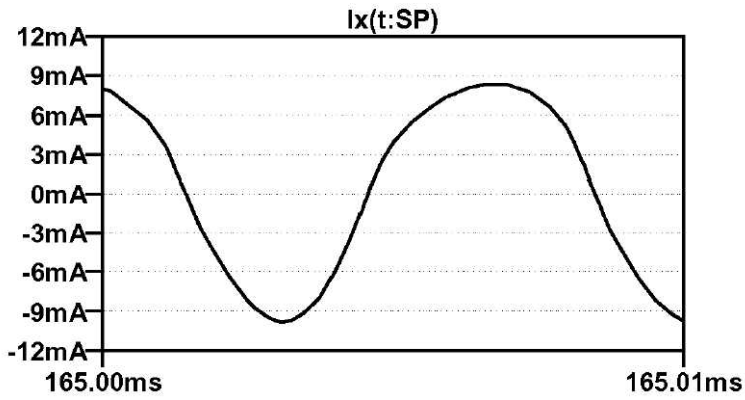
```
.Param n = 1000
.Param I_Fe = 64.5m
.Param A_Fe = 3.535u
.Param B_sat = 0.77
.Param H_sat = 10
.Param Phi_sat = B_sat * A_Fe
.Param Theta_sat = H_sat * I_Fe
.Param I_turn = 4m
.Param w_turn = 4m
.Param L_sat = 4e-7 * pi * I_turn * w_turn / I_Fe
.Param R_Cu_ = 0.3
.Param R_Cu = R_Cu_ * n * 2 * (I_turn + w_turn)
```



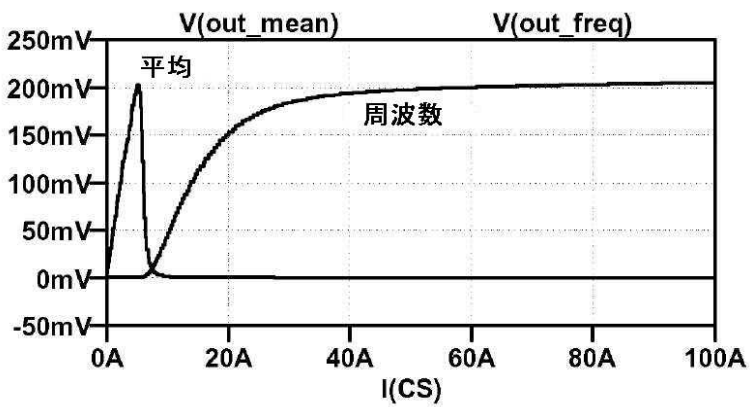
【図 5 a】



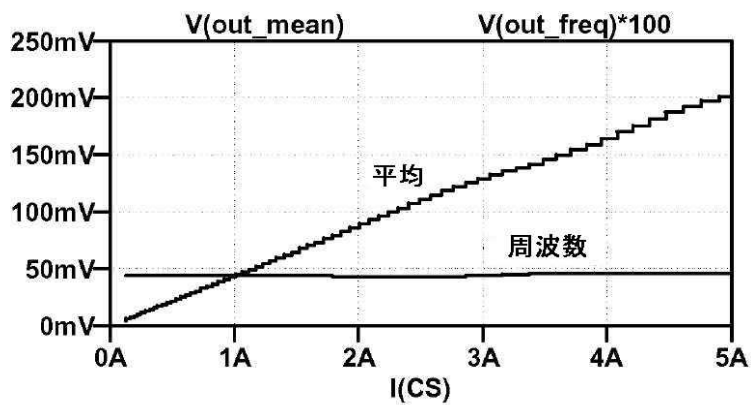
【 図 5 b 】



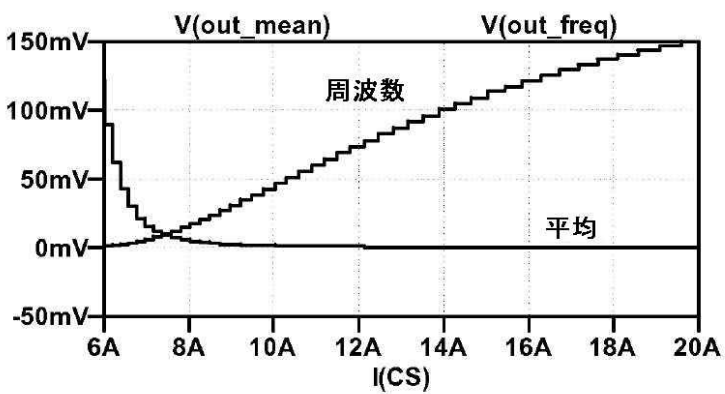
【 図 6 a 】



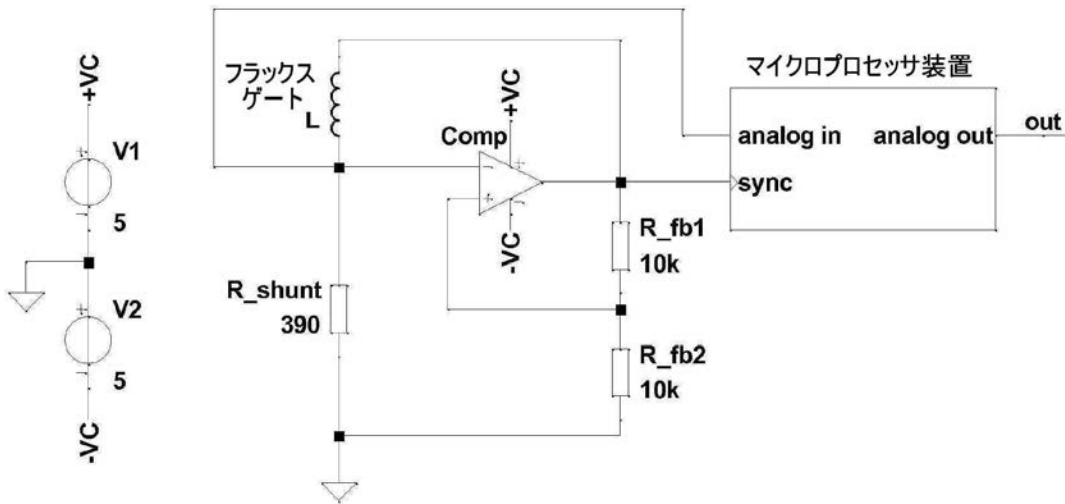
【 図 6 b 】



【 図 6 c 】



【図 7】



## 【手続補正書】

【提出日】平成24年2月15日(2012.2.15)

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一次導体内を流れる一次電流  $I_p$  を測定するための測定回路とインダクタとを備える電流変換器であって、前記インダクタは、高透磁性の磁性材によって形成される可飽和磁気コアと、前記磁気コアを交互に飽和させるように構成される交流励磁電流  $i$  を印加する、前記測定回路の自動発振回路に接続された二次コイルとを備え、

前記測定回路は、小さい一次電流振幅の場合には前記交流励磁電流  $i$  の平均値を測定し且つそこから前記一次電流の値を求めるように構成され、大電流の場合には前記励磁電流  $i$  の周波数を計算し且つそこから前記一次電流の値を求めるように更に構成される電流変換器。

【請求項 2】

前記測定回路は、バイポーラ DC 電圧源  $V_c$  と、一方又は他方の極性に交互に切り替えてこの電圧源を可飽和インダクタに接続する手段と、前記接続手段に影響を与える前記インダクタを流れる電流の閾値を検出する手段と、この電流の平均値を測定する回路と、発振の周波数を測定する回路と、これらの測定値を線形化し合成する手段と、前記一次電流の計算された値を伝達する出力回路とを含む請求項 1 記載の電流変換器。

【請求項 3】

前記電圧源を前記可飽和インダクタに接続する前記手段及び電流閾値検出器は比較器回路である請求項 2 記載の電流変換器。

【請求項 4】

前記平均値測定回路はローパスフィルタとアナログ - デジタル変換器とを備える請求項 2 又は 3 記載の電流変換器。

【請求項 5】

前記発振の周波数を測定する前記回路は、前記電圧接続手段のスイッチング期間の間に既知の周波数の周期をカウントすることにより周波数測定を実行するように構成される請求項 2、3 又は 4 記載の電流変換器。

【請求項 6】

信号を線形化し合成する前記手段は、デジタル - アナログ変換器及び / 又はデジタルインターフェースを有するシステムである請求項 2、3、4 又は 5 記載の電流変換器。

【請求項 7】

前記測定回路は前記励磁電流を測定する抵抗  $R_m$  を備える前出の請求項のいずれかに記載の電流変換器。

【請求項 8】

前記可飽和磁気コアは環状で閉じている前出の請求項のいずれかに記載の電流変換器。

【請求項 9】

前記測定回路が接続されるマイクロコントローラを更に含み、  
前記マイクロコントローラは数値処理装置に加えて以下のブロック：アナログ - デジタル変換器、電圧基準器、時間（周期）測定用カウンタ、デジタル - アナログ変換器、及びデジタル出力のうちの一つ以上を備える前出の請求項のいずれかに記載の電流変換器。

【請求項 10】

一次導体内を流れる電流を測定する方法であって、  
- 自動発振励磁回路を有する測定回路と可飽和磁気コアの周囲に巻かれた二次コイルを備えるインダクタとを含む電流変換器を提供することと、  
- 前記磁気コアを交互に飽和させるように構成された前記二次コイルに励磁電圧を印加することと、  
- 小さい一次電流振幅の場合には交流励磁電流  $i$  の平均値を測定し、そこから一次電流の値を求めることと、  
- 大きい一次電流振幅の場合には前記インダクタを流れる前記励磁電流を駆動する前記自動発振回路の周波数を測定し、そこから前記一次電流の値を求めることと、  
を含む方法。

【請求項 11】

小さい一次電流の場合には前記一次電流の前記測定は前記励磁電流の平均値の計算に基づく前出の請求項に記載の方法。

【請求項 12】

小電流の場合の前記測定方法は、以下の条件：

$$\left| \frac{I_p}{N} \right| < i_{s0}$$

に従う一次電流の場合に採用され、ここで  $I_p$  は一次電流、 $N$  は前記二次コイルのターン数、 $i_{s0}$  は一次電流が 0 である場合の飽和励磁電流の値である請求項 10 又は 11 記載の測定方法。

【請求項 13】

値  $i = 0$  周辺の転移領域における一次電流の場合、出力値は前記励磁電流の平均値と発振周波数の両方の関数として計算される前出の請求項のいずれかに記載の方法。

【請求項 14】

前記測定回路は、バイポーラ DC 電圧源  $V_c$  と、一方又は他方の極性に交互に切り替えてこの電圧源を可飽和インダクタに接続する手段と、前記接続手段に影響を与える前記インダクタを流れる電流の閾値を検出する手段と、この電流の平均値を測定する回路と、発振の周波数を測定する回路と、これらの測定値を線形化し合成する手段と、前記一次電流の計算された値を伝達する出力回路とを含む請求項 10 ~ 13 のいずれかに記載の方法。

【請求項 15】

前記電圧源を前記可飽和インダクタに接続する前記手段及び電流閾値検出器は比較器回路である請求項 14 記載の方法。

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/IB2010/053616

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. G01R19/20 G01R15/18 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01R		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MILAN M PONJAVIC ET AL: "Nonlinear Modeling of the Self-Oscillating Fluxgate Current Sensor" IEEE SENSORS JOURNAL, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US LNKD-DOI:10.1109/JSEN.2007.908234, vol. 7, no. 11, 1 November 2007 (2007-11-01), pages 1546-1553, XP011194280 ISSN: 1530-437X the whole document	1, 10
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
29 October 2010		05/11/2010
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer
		Hijazi, Ali



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2010/053616

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	XU ZELIANG ET AL: "Type B RCD with a simplified magnetic modulation/demodulation method" POWER ELECTRONICS AND MOTION CONTROL CONFERENCE, 2009. IPEMC '09. IEEE 6TH INTERNATIONAL, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 17 May 2009 (2009-05-17), pages 769-772, XP031484742 ISBN: 978-1-4244-3556-2 the whole document	1,10
A	PROSS A ET AL: "A low cost analogue current transducer" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH LNKD-DOI:10.1016/S0924-4247(98)00281-7, vol. 76, no. 1-3, 30 August 1999 (1999-08-30), pages 72-77, XP004184414 ISSN: 0924-4247 the whole document	1,10
A	US 7 541 799 B2 (HAUSPERGER CHRISTIAN [DE] ET AL) 2 June 2009 (2009-06-02) column 5, line 15 - column 7, line 54; figures 1-5	1,10
A	US 7 358 716 B2 (PREUSSE NORBERT [DE] ET AL) 15 April 2008 (2008-04-15) * abstract; figure 5	1,10
A	TANG S C ET AL: "Excitation circuit for fluxgate sensor using saturable inductor" 5 July 2004 (2004-07-05), SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, PAGE(S) 24 - 33 , XP004515681 ISSN: 0924-4247 the whole document	1,10
A	ROMAN M ET AL: "Low consumption Flux-gate transducer for AC and DC high-current measurement" POWER ELECTRONICS SPECIALISTS CONFERENCE, 2008. PESC 2008. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 15 June 2008 (2008-06-15), pages 535-540, XP031300027 ISBN: 978-1-4244-1667-7 the whole document	1,10

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2010/053616

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 7541799	B2	02-06-2009	DE 102005024075 A1	30-11-2006
			EP 1726967 A1	29-11-2006
			US 2006290341 A1	28-12-2006
US 7358716	B2	15-04-2008	DE 10331883 A1	10-02-2005
			EP 1644745 A1	12-04-2006
			WO 2005005998 A1	20-01-2005
			US 2006158176 A1	20-07-2006

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 小幡 寛  
神奈川県横須賀市光の丘 1 - 1 ハイム光の丘 1 0 6

(72)発明者 畠山 自  
神奈川県川崎市麻生区片平 4 - 7 - 2 8 - 1

Fターム(参考) 2G025 AB01 AB16 CC01  
2G035 AA01 AB01 AC02 AD10 AD18 AD23 AD25 AD27 AD28 AD48  
AD66