

(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2004-508563

(P2004-508563A)

(43) 公表日 平成16年3月18日(2004.3.18)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 1 D 5/241

F I

G O 1 D 5/24

A

テーマコード (参考)

2 F O 7 7

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 80 頁)

(21) 出願番号 特願2002-525451 (P2002-525451)
 (86) (22) 出願日 平成13年8月20日 (2001.8.20)
 (85) 翻訳文提出日 平成15年3月3日 (2003.3.3)
 (86) 国際出願番号 PCT/SE2001/001773
 (87) 国際公開番号 W02002/021081
 (87) 国際公開日 平成14年3月14日 (2002.3.14)
 (31) 優先権主張番号 0003110-4
 (32) 優先日 平成12年9月4日 (2000.9.4)
 (33) 優先権主張国 スウェーデン (SE)

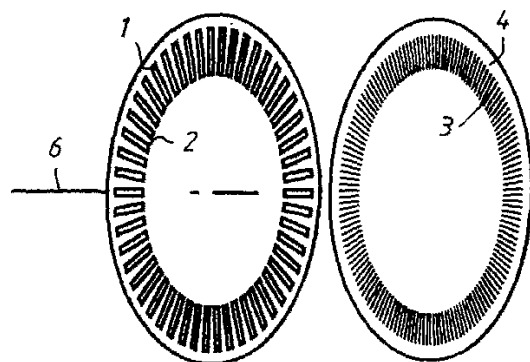
(71) 出願人 592031514
 シー. イー. ヨハンソン アクチーボラ
 グ
 スウェーデン国 エスキルスツナ (番地
 なし)
 (74) 代理人 100066692
 弁理士 浅村 皓
 (74) 代理人 100072040
 弁理士 浅村 肇
 (74) 代理人 100091339
 弁理士 清水 邦明
 (74) 代理人 100094673
 弁理士 林 拓三

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 角度変換器

(57) 【要約】

第1のディスク、円形に配置され半径方向に向かう受信機電極(2)をもった回転子(1)、及び第2のディスク、円形に配置され、また前記受信機電極と同じ半径に配置され、かつ半径方向に向かう送信機電極(3)をもった固定子(4)を含み、また前記ディスク上の前記受信機電極と送信機電極の間に固定された間隔の設けられた角度変換器にして、前記ディスク(1、4)は同心(6)に配置され、相対的に回転可能であり、前記受信機ディスク(1)と送信機ディスク(4)上の電極システムの間の容量的または誘導的結合を可能にするように、前記両ディスクは狭い空隙で隔離され、さらに前記送信機電極(3)は各々異なる位相をもった交流電圧が供給され、供給位相の数Φが2より大きく、送信機電極の間隔=受信機電極の間隔/Φである。また、受信機電極(2)の幾何学的配列に対する送信機電極(3)の相対的幾何学的配列の誤差が回転子(1)の受信機電極(2)に同じ大きさ、かつ反対の誤差信号を発生するように、前記固定子(4)の送信機電極(3)が幾何学的に配列されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 のディスク、円形に配列され半径方向に向く受信機電極 (2) をもった回転子 (1) と、第 2 のディスク、円形に配列され半径方向に向き、前記受信機電極 (2) と同じ半径に配置された送信機電極 (3) をもった固定子 (4) を備えた角度変換器において、前記 2 つのディスク (1、4) 上の前記受信機電極 (2) と送信機電極 (3) の間に固定の間隔をもち、前記ディスク (1、4) は同心に配置され、互いに相対的に回転可能であり、前記ディスク (1、4) はさらに薄い空隙で分離されて前記回転子ディスク (1) と固定子ディスク (4) 上の前記電極システムの間の容量的または誘導的結合を可能にし、また送信機電極 (3) は隣接する電極に対して各々異なる位相の交流位相が供給され、供給される位相の数 Φ は 2 より大きく、送信機電極の間隔 = 受信機電極の間隔 / Φ 、であるものにおいて、前記受信機電極 (2) の幾何学的配列に対する前記固定子 (4) の送信機電極 (3) の相対的な配列の誤差が、前記回転子 (1) の前記受信機電極 (2) に同じ大きさで反対の誤差信号を発生するように、前記固定子の送信機電極 (3) が幾何学的に配列されていることを特徴とする前記角度変換器。

【請求項 2】

n 個の受信機電極 (2) が前記回転子 (1) の全周辺に均等に分布され、ここに n は整数であり、また $n * \Phi$ の送信機電極 (3) が固定子 (4) の全周辺に均等に分布されている、ことを特徴とする請求項 1 に記載の角度変換器。

【請求項 3】

前記送信機電極 (3) がグループに分割され、各グループが少なくとも Φ の電極を含み、各電極は異なる位相の交流電圧が供給され、前記固定子 (4) は送信機電極のそのような少なくとも 3 つのグループを含むことを特徴とする、請求項 2 に記載の角度変換器。

【請求項 4】

回転子電極の数が $n = z * (2\Phi + 1)$ 、ここに z は 1 に等しいか、それより大きい整数である、ことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の角度変換器。

【請求項 5】

n が 2 で均等に分割できる数であることを特徴とする請求項 2 乃至 4 の任意の 1 つに記載の角度変換器。

【請求項 6】

固定子 (4) の電極 (3) における位相の順序は、固定子 (4) 周期の 2 次分割に $(2\Phi + 1) * \text{回転子電極の間隔の大きさ}$ を付加するため、幾何学的連続な順列に従う、ことを特徴とする先行請求項の任意の 1 つに記載の角度変換器。(図 17)

【請求項 7】

回転子ディスク (1) の角度位置を 360° の完全な 1 回転内に直接測定するため、回転子ディスク (1) と固定子ディスク (4) が 2 次の電極システムを含む、ことを特徴とする先行請求項の任意の 1 つに記載の角度変換器。(図 22、23)

【請求項 8】

さらに、システムの遊びから起こる含まれる機械部分の運動を測定するため特別の電極システム (13-17) を含む、ことを特徴とする先行請求項の任意の 1 つに記載の角度変換器。

【請求項 9】

前記運動が半径方向の確率的運動であることを特徴とする請求項 8 に記載の角度変換器。

【請求項 10】

前記特別の電極システムが、回転子と固定子ディスク (1; 4) に統合されて、固定子ディスク上の送信機電極 (16) により励起される電極 (17; 16) を含む、ことを特徴とする請求項 9 に記載の角度変換器。

【請求項 11】

前記運動が軸方向の運動である、ことを特徴とする請求項 8 乃至 10 の任意の 1 つに記載の角度変換器。

【請求項 1 2】

前記特別の電極システムが、回転子と固定子ディスク（1；4）に統合されて、固定子ディスク上の送信機電極（1 3）により励起される電極（1 4、1 5；1 3）を含む、ことを特徴とする請求項 1 1 に記載の角度変換器。

【請求項 1 3】

前記送信機電極が共通の送信機電極であることを特徴とする請求項 1 0 または 1 2 に記載の角度変換器。

【請求項 1 4】

前記運動が組み込まれた静止部分（1 0）に対して相対的な角度的振じりであることを特徴とする、請求項 8 乃至 1 3 の任意の 1 つに記載の角度変換器。

10

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

本発明は 2 つの相対的に回転可能な部分の間の回転角度の正確な決定に使用する角度変換器または角度エンコーダに関する。

【0 0 0 2】

角度変換器は工業における案内及び制御の目的で広く使用される機械的要素である。変換器の毎年の消費は非常に大きい。そのような変換器はしばしば案内され、または制御される軸の分解能を増加するために歯車装置と共に使用される。例えば、1 0, 0 0 0 増分／回転（i n c r e m e n t s / r e v o l u t i o n）の分解能と $i = 26$ 倍の歯車をもった角度変換器によって、ほぼ 5 秒の弧の出力軸の分解能を得ることができる。

20

【0 0 0 3】

この方法の欠点は、この方法が歯車の精度に依存し、伝達において遊び、磨耗等により影響されるので、システムの最終精度の制御が貧弱になることである。

【0 0 0 4】

そのような制御出来ない誤差の影響を避けるため、機会製造者は伝達系列の末端、すなわち制御され／監視される機械部分と直接関連して測定／角度変換器を配置せんと努力する。しかし、これは数秒のオーダの弧、またはそれ以上の分解能をもった高い分解能の角度変換器を必要とする。このような性能をもった幾つかの製品が市場で入手可能である。

【0 0 0 5】

しかしながら、現存の角度変換器の欠点はそれらが非常に高価であり、それらの取付けにおける精密性（p r e c i s i o n）と正確性（a c c u r a c y）に高い要求をもつことである。

30

【0 0 0 6】

現存の変換器の多くは、例えばシステムの電力消滅または電力遮断に続いて角度位置が変化すると全ての情報が失われるような光学的増分型（o p t i c a l i n c r e m e n t a l t y p e）である。従って角度変換機は絶対値を示すことが非常に要望されるものであり、すなわち電力の開閉の間に起こった事象に関係なく常に正確な情報が得られるべきである。これは安全の問題が大きな関心であるシステムにおいて利点となる。絶対測定の機能はまた、測定システムを測定動作と動作の間に全体的に電力遮断することができるので、長期測定の測定装置を小さな電力消費で設計することを可能とする。

40

【0 0 0 7】

本発明について、従来技術の背景とそれに関する問題点を考慮して添付の図面を参照して説明する。

【0 0 0 8】

（従来技術）

本発明は、基本的にスエーデン特許 7 7 1 4 0 1 0 - 1 に記載されている様な従来公知の容量性技術（c a p a c i t i v e t e c h n o l o g y）に基づく製造が容易で安価な角度変換器に関する。図 1 の第 1 のディスク 1 はスケールを形成する 1 組の電極 2 が設けられる。第 1 のディスク 1 の上に位置し、それから狭い空隙で分離されている第 2 のディスク 4 には第 2 の 1 組の電極 3 が設けられ、各電極 3 には交流電圧が供給される。交流

50

電圧の供給されるディスクは本明細書において以下しばしば“固定子”と表示する。第1のディスク1の電極の1つは適当な変位位置において第2のディスク4の電極の1つまたは2つとコンデンサを形成し、それにより第2のディスクの電極に印加された交流電圧が第1のディスク1の電極2の1つに転送される。第1、第2のディスクの何れの電極がコンデンサを形成するかは、両ディスクの相対的変位により決められる。このように、第1のディスクに転送される信号もまたディスク1、2の相対的位置に依存するので、両ディスク間の変位の大きさを決めるのに使用できる。

【0009】

この技術の主要な利点の1つは、組み込まれるスケールの要素が通常のプリント回路技術を用いて製造することができ、このため製造が容易で安価であることである。

10

【0010】

角度変換器の製造もまたスエーデン特許7714010-1により公知である。図2に示すように、半径方向に向けられた電極2、3が、スケールディスク1と供給パターンディスク4を形成するように、両電極パターンに共通の中心をもって円形の型に配置される。このように、スケールディスクを固定して供給パターンディスクを回転可能に、またはその逆の何れでも選択できる。あるいは、スケールディスク1と供給パターンディスク4の両者を固定位置に対して相対的に回転可能にすることもできる。もし、スケールディスク1を移動可能要素、すなわち回転可能要素とし、供給パターンディスク4を固定的に取り付けるなら最も簡単である。本明細書では以下これを好ましい実施例と見做し、スケールディスク1は以下回転子と呼び、供給パターンディスク4を固定子と呼ぶ。

20

【0011】

(従来技術の欠点と問題)

スエーデン特許7714010-1に記載の技術は、相対的観点から見て相当に低い分解能と精密度をもった長い測定スケールの製造を意図したものである。高い分解能の角度変換器に必要な高い精密度を得るためには、測定システムを形成する電極の間隔の精密度に極めて高い要求を置かねばならない。同様に、図2において回転子電極2を担持するディスク1と固定子電極を担持するディスク4の間の軸に平行な距離が一定であることに、厳密な要求が置かれる。もしこの距離が全ての電極組について同一でなければ、電極は信号に関して異なるウェイトが与えられることになり、誤差値となる。回転子ディスクと固定子ディスクの間の距離が変化する原因としては、例えば図10に示される回転子ディスク1の軸方向ぐらつき、あるいは図12に示される回転子板1の平坦性の欠陥がある。そのような誤差の他の原因には、回転子ディスクと固定子ディスクの間の貧弱な平行性、すなわち図1のディスク1と4の間、または図4のディスク1と4の間の図4aに示されるような貧弱な平行性がある。回転子ディスク1と固定子ディスク4の取り付けには、2つのディスクの回転の中心が同じ位置にあることが保証されねばならない。上記に記載の全ての場合に、図5、図6に示される形式の誤差が発生し、図7に示されるようにスケール間隔の1周期にわたる周期的な誤差となる。

30

【0012】

同様に、回転子ディスク1は半径方向ぐらつきを避けるように軸受けに取り付けねばならない。それは、ディスクの回転の共通の中心に対する相対的な回転子ディスクの半径方向変位は回転子ディスクの電極間隔の有効角度(effective angle)の1回転にわたる間の周期的変動を生じるからである。

40

【0013】

スエーデン特許7714010-1はまた、直線スケールにそった絶対位置の決定の方法を開示し、それは原理的に角度スケールに使用することができる。開示された方法の欠点は、図1のディスク1と4の間の相対的運動の近似的位置を“フローテング”により決定するため、特許に従って使用される2つの副スケールの製造のとき非常に高い精密度を必要とすることである。

【0014】

(本発明)

50

従って本発明の目的は、上述の製造と取付けにおける要求を解消または最小化し、しかも非常に正確な角度の測定能力を与えることのできる角度変換器を得ることである。

【0015】

本発明の上記の目的は以下に述べる角度変換器により達成される。該角度変換器は、第1のディスク、円形に配置され半径方向に向かう受信機電極をもった回転子と、第2のディスク、円形に配置され半径方向に向かい、前記受信機電極と同じ半径に配置された送信機電極をもった固定子とを含み、前記2つのディスク上の前記受信機電極と送信機電極の間に一定の間隔が設けられ、それにより前記ディスクは互いに同軸かつ相対的に回転可能に配置され、また前記両ディスクは薄い空隙により隔離されていて前記受信機ディスクと送信機ディスクの上の前記電極システムの間の容量的または誘導的結合を可能にする。そこで前記送信機電極は各々異なる相の交流電圧が供給され、また供給位相の数 Φ は2より大きく、送信機電極の間隔＝受信機電極の間隔／ Φ である。さらに、本発明によれば、受信機電極の幾何学的配置に対する相対的な送信機電極の幾何学的配置の誤差が回転子の受信機電極に同じだが、反対の誤差信号を発生するように、固定子の送信機電極が幾何学的に配置されている。

10

【0016】

スエーデン特許7714010-1に記載された容量性原理に従って角度変換器が機能する。システムの構成の原理の図面が直線スケールで図1に示される。

【0017】

図2は、角度変換器における回転角度の測定のシステムの構成を示す。図2において、電極2は“回転子”1として公知のシステムの移動する構成部分の上に等間隔で配置され、“固定子”として公知の固定ディスク4の上の電極3と組み合わせられて可変コンデンサを形成する。両電極システムは回転の共通中心に向かって半径方向に延びる。

20

【0018】

固定子上のコンデンサ板に同一の周波数と振幅をもつが、位相が相対的に異なる交流電圧が供給される。

【0019】

1つの好ましい実施例においては、4つの交流電圧R-S-T-Uがその間に90°の位相の変位をもって使用され、それにより固定子板4上の電極3の間の電極間隔は、板1上の回転子電極2の間の角度間隔の1/4である。一般に、 n 交流電圧、ここに $n > 2$ 、が供給電圧として利用され、それにより固定子の間隔＝回転子の間隔／ n である。板1と4の間の回転角度が変化するとき、交流電圧R-S-T-Uを供給される電極は順次に回転子板1の上の電極2の1つと容量結合を形成する位置にくる。このようにして、スケール上に存在する電極2は固定子4の電極3の1つから容量性伝達によって信号を取り込む。スケールにより取り込まれる信号の位相は回転子電極2が容量性結合を形成する1つまたは2つの固定子電極3の各位相により決定され、このようにして、スケールにより取り込まれる信号の位相は静止固定子板4に対するスケール1の相対的角度位置に依存する。1スケール周期内、すなわち2つの回転子電極2の間の角度内の角度位置はこのようにして独特に決定される。

30

【0020】

さらに本発明で考慮される容量性構成は、360°の完全1回転内の角度位置を決定するために必要である。回転子電極と固定子電極の間の有効容量は各個々の電極の対について非常に小さいので、図1の電極3において受信スケール信号に許容できる信号強度が得られるように、電気的背景(perspective)から並列に結合される多数の送信機群R; S; T; Uが固定子において使用される。

40

【0021】

スエーデン特許7714010-1に従って、電極は図1に示されるように回転子と固定子に配置される。これは、固定子電極間の最も簡単な電気的接続と最良の“パッキング”、すなわち与えられた空間内で最も効率的な電極領域を与える。同じ原理に従った角度変換器が図2に示される。

50

【0022】

スエーデン特許7714010-1及び図2に従った実施の欠点は、電極のそのような明確な（obvious）配置は回転子板と固定子板の電極システムに実際に発生する幾何学的誤差に対して敏感性を導入することである。大なり小なり不可避免的なこの形式の誤差は次の通りである：

【0023】

1. 必要な組立の許容誤差による、図2の回転子板1と固定子ディスク4の間の静的半径方向変位。
2. 回転子ディスク1の半径方向ぐらつきによる、図2の回転子ディスク1と固定子ディスク4の間の動的半径方向誤差。
3. 必要な組み立て許容誤差による傾きで起こる、図2の回転子1と固定子4の間の空隙の静的距離誤差及び平行性誤差。
4. 図10のような、可動ディスク1の回転の間の半径方向ぐらつきにより起こる回転子と固定子の間の空隙の動的距離誤差及び平行性誤差。
5. 図12のような、可動ディスク1の回転の間のその欠陥的形状により起こる回転子と固定子の間の空隙の動的距離誤差及び平行性誤差。
6. 回転子と固定子のディスク製造に使用される光学的マスタにより起こる回転子と固定子の電極の幾何学的配列における組立間隔誤差。

【0024】

本発明は角度変換器を形成する2つの電極ディスク1、4の製造許容誤差を減少すること、及び電極パターンの誤差と前に述べたような取付けの幾何学的配列の影響を無くすことにより取付けにおける要求を減少すること、を目的とする。本特許に記載されている方法は、回転子及び／又は固定子の幾何学的配列の誤差が、 $+\delta$ の誤差寄与（error contribution）をもったスケール信号（scaling signal）に加えて、 $-\delta$ の差動誤差寄与（differential error contribution）を含むスケール信号を与えるように電極システムを構成することによる差動幾何学的バランスによって、製造または取付けによる回転子電極の幾何学的配列に起こる誤差を除くことに基づいている。好ましい結果、 $\delta = 0$ 、が前記2つのスケール信号を加算することにより得られる。

【0025】

全体の構成は1つの協同作業システムとして作動するが、以下においては段階的に分割して誤差1乃至5の各形式を個々に説明するように記載する。

【0026】

（誤差形式1及び2）

固定子ディスクの半径方向ぐらつき、または半径方向変位の影響を避ける1つの方法は、例えば図2の角度変換器に、ディスク4に既に配置されている固定子電極と同一であるが第1のディスク4に対して相対的に180°変位している第2の組の固定子電極を設けることである。図3はそのような構成を示す。図は電極2をもった回転子ディスク1を示す。さらに固定子ディスク4は固定子電極3を備え、またディスク4と直径方向で反対側に電極3'をもった第2の固定子ディスク4'が配置される。2つの固定子ディスクは実際には図3に示されるように1つの共通固定子ディスク5に統合される。ディスク5の回転の中心に対して相対的にディスク1の回転の中心が、例えば矢印の方向に一定の静的変位を生じた場合は、ディスク4により回転子ディスク1に励起される信号は角度変位を示すがそれは非常に小さいことが分かった。何故なら、固定子電極と実際の回転の中心の距離が小さく、それは固定子電極間の有効角度が大きくなったことを意味するからである。均等的に、ディスク4'により回転子ディスク1に励起される信号は角運動を大きく示し過ぎる。2つの隣接する電極間の有効角度の正の変化と負の変化は一般には大きさが同じではないが、その差はもし半径方向の移動が小さければ無視できる。2つのディスク4と4'から励起される信号は加算されるとき、誤差の合計は互いに打消す。

【0027】

図 8、8 a に示すような動的軸方向ぐらつきの場合、すなわち、回転子ディスク 1 の軸受けの中心が回転子電極の幾何学的中心と一致しない場合、誤差の完全な消去を達成するためには固定子ディスク 4'', 4'''' の対をディスク 4、4' の対に対して相対的に 90° 変位することが必要である。一般に、誤差消去の効果を得るためには少なくとも 3 組のディスク 4 が必要であることに間違いはない。

【0028】

図 9 に示されるような実施例では、固定子電極 3 が完全な 1 回転、すなわち 360° の回転角度を含むようにして、多数の位相群 R-S-T-U が均等に 2 で分割できるようにして、完全な差動消去 (differential cancellation) が得られるようにしている。

10

【0029】

(誤差形式 3、4 及び 5)

図 4 は前面から、及び矢印 a の方向から見たシステムを示す。図 4 a の如く、回転子 1 と固定子 4 の間に静的平行性の誤差のある場合、楔型空隙が回転子 1 と固定子 4 の間に形成される。この状態が図 5 にさらに詳細に示され、そこでは送信機電極の 4 つの群 R-S-T-U を含む固定子が示され、システムの運動方向の傾きは Δ である。

【0030】

図 6 はさらに詳細に、回転子電極 2 の 1 つと電極群 R-S-T-U 内に長手方向に分布する電極の間の結合が前記傾きによりどの様に影響されるかを示す。図 6 で明らかなように、固定子電極 S と回転子電極 2 の間の容量と固定子電極 R と回転子電極 2 の間の容量を較べると、それぞれ固定子電極が回転子電極の直上に位置するときに前者は後者よりも小さい。同様に同等な位置において、固定子電極 T と回転子電極 2 間の容量は固定子電極 S と回転子電極 2 の間の容量よりも小さく、一方 U に対する容量は T に対する容量よりも小さい。回転子ディスクの運動が全ての 4 つの位相 R-S-T-U を通り過ぎたとき、固定子電極 R は再び回転子電極 2 の 1 つの直上の位置に配置される。シーケンス R-S-T-U の間に蓄積され増加する誤差は、そこで“ゼロ誤差”に復帰する。周期的かつ規則的な誤差が図 7 a の図形の如く得られる。図で、縦軸 y は誤差の大きさを示し、横軸は角運動を示す。誤差の周期の長さ λ は 2 つの回転子電極 2 の間の間隔に等しい。図 3 のように、第 1 の組に対して相対的に 180° 変位した固定子電極 3' の追加の組を用い、第 1 の電極組 3 と第 2 の電極組 3' を 1 つの同じディスク上に統合して、前に述べた特許の原理に従って幾何学的差動消去 (geometrical differential cancellation) を適用することにより、前記傾きは前記電極組 3' に対して同じ大きさであるが、位相方向 R-S-T-U においては反対の符号をもち、従って図 7 b による誤差カーブ、すなわち電極 3 の上部組に対する図 7 a の誤差カーブと反対の誤差カーブを生じるであろう。図 7 a と図 7 b の 2 つの誤差カーブを加算する結果として、図 7 c に示されるように誤差図面において横軸と一定の偏差距離 o をもった直線が得られる。

20

30

【0031】

図 10 に示す回転する回転子ディスク 1 の回転軸 6 に対する相対的な軸方向ぐらつきの形の回転子と固定子の間の動的平行性誤差の場合、あるいは回転子または固定子ディスクの 1 つが図 12 に非常に誇張して示すように欠陥のある形状をもつ場合、1 対のディスク 4 と 4' に対して相対的に 90° 変位している固定子ディスク 4'' と 4'''' の追加の組、図 8 に示す、は誤差の完全消去のために必要である。

40

【0032】

図 9 に示される好ましい実施例では、固定子電極 3 が回転角度 360° を取り囲んでおり、それにより多数の位相群 R-S-T-U は完全な差動消去を得るために 2 により均等に分割されねばならない。図 11、13 は (静止) 回転子ディスク 1 と固定子ディスク 4 の間の距離 d が回転子ディスクの周縁の回りでどのように変化して、0° における最大距離から 180° における最小距離に、ついで 360° で最大に戻るかを示す。固定子ディスクは 360° を囲んでいるので、回転子と固定子ディスクの間の距離 d の平均値は回転子ディスク 1 の全回転位置において一定であり、このようにして回転子に励起される信号は

50

一定の振幅をもち、従って位相位置 (phase position) は回転子電極の固定子電極に対する相対的な変位に依存するのみで、回転子 1 の軸方向ぐらつきや不良形状に影響されることはない。

【0033】

(概要)

軸方向ぐらつきの一般的形において、回転子 1 と固定子 4 の両者の回転軸に対する相対的な角度は 90° に等しくない。これは図 18、19 に誇張した形で示される。図 18 においてシステムの回転の共通軸に対して相対的に、回転子ディスクは角度誤差 α をもち、固定子ディスク 4 は角度誤差 β をもつ。システムは固定子ディスクに対する相対的な 1 つの角度位置において図 18 に示す位置をとる。回転子が 180° 回転すると、システムは図 19 に示す位置を取る。

【0034】

図 20、21 は 2 つの極端な位置におけるシステムを図式的に示す。回転子ディスクの回転の中心と固定子ディスクの対応する点 (equivalent point) との距離が “d” で示される。回転子と固定子の電極システムの平均半径は “r” で示される。回転の中心に対する相対的な角度誤差は α で、固定子のそれは β である。

【0035】

図 20 において回転子ディスクと固定子ディスクの間の最小距離 a は、

$$a = d - r (\sin \alpha + \sin \beta)$$

であり、最大距離 b は、

$$b = d + r (\sin \alpha + \sin \beta)$$

である。 360° にわたる平均値は $(a + b) / 2$ で、これは “a” と “b” を図面から得られる値に置換すると “d” に等しい。

【0036】

図 21 において回転子ディスクと固定子ディスクの間の距離 a は $a = d + r (\sin \alpha - \sin \beta)$ であり、また距離 b は $b = d - r (-\sin \alpha + \sin \beta)$ である。 360° の平均値は $(a + b) / 2$ で、“a” と “b” に対して図面から得られる値に置換すると “d” に等しくなる。

【0037】

上記の説明は、回転子ディスクと固定子ディスクの両者に角度誤差が存在する一般の場合における本発明の実施例において電極ディスクの間の平均距離が一定であることを示している。

【0038】

(誤差形式 6)

組立の間隔誤差は回転子と固定子の電極の幾何学的配列で起こりうる。例えば、これらは回転子と固定子の製造に用いる光学マスタから起こり得る。回転子電極間または固定子電極間の間隔の組織的誤差の場合、電極の誤差位置、電極₁ — — — — — 電極_n は単調な関数として増加する。完全な 1 回転の終わりに、電極₁ と電極_n の間の最終間隔に、その前の $n - 1$ の間隔の間に累積された誤差と符号は逆であるが、同じ大きさの誤差を生じる。何故なら、1 回転の間の全ての誤差の合計はゼロに等しいからである。好ましい実施例による回転子と固定子の電極は 360° の完全な回転を含むので、幾何学的誤差の補償がこの場合にも働いて、その結果回転子ディスクに励起される信号の誤差の合計ゼロとなるであろう。

【0039】

(スケールの幾何学的配列 (scaling geometry) から起こる他の誤差)

スエーデン特許 7714010-1 に記載されているスケールの幾何学的配列は、4 つの供給位相が用いられ、固定子電極の幅は最大で回転子電極間の間隔の $1/4$ である、という好ましい実施例の条件に基づいている。一般に、もし供給位相の数が Φ ならば、固定子電極の幅は最大で回転子電極の間隔の $1/\Phi$ である。しかし理論的にそうであるように、固定子電極と回転子電極の間に正弦波形の伝達特性を得るためには、固定子電極は正弦形

状であるのみならず、4つの供給位相を備える好ましい実施例においてその幅は回転子電極間の間隔の半分でなければならない。

【0040】

これを達成する1つの方法が図14に示される。電極の配列は簡単のため直線形状に示される。固定子の送信機電極は図面で垂直に離れている2つの面 r_1 と r_2 に配列される。そこで、回転子電極は図14の両方の面の固定子電極を含むに十分な長さとなるように設計される。

【0041】

この配列の1つの欠点は半径方向の電極の範囲が大きくなることである。これは、組立に大きな径が必要となり、角度変換器を設計するときの欠点である。

10

【0042】

しかしながら、前記構成の最大の欠点は高い平均半径 r_2 に位置する電極が低い平均半径 r_1 に位置する電極より大きな領域をもつことである。電極の異なる高さを選ぶことにより、正弦波形の伝達特性と正しい表面係合機能 (surface engagement function) が十分に保持されるという変換が完全には可能でない、ということである。しかし、もしそのような変換が実行されるなら、図14において相補的位相 R, T、すなわち 0° と 180° をもった全ての電極は高い半径に組織的に置かれ、一方2つの他の位相 S, U、 90° と 270° は低い半径 r_1 に置かれる。これは、固定子と回転子の間の伝達機能に組織的かつ周期的誤差を起こす可能性がある。そのような誤差はより正確なシステムと比較し回転子電極の1周期にわたり規則正しい間隔で偏差を記録して、補正することにより取り除くことができる。これは変換器からの角度位置を記録する間、現在位置において必要な補正事項を得るため照合されて、適当な方法でメモリユニットに格納される。

20

【0043】

しかし上記方法は複雑でありまた実際的でない。しかし、本発明は上述のような組織的な誤差を避けるため電極を配置する他の方法を含む。

【0044】

図15、16、17は、図14の好ましい電極パターンにより得られる最初の表面係合特性に影響することなく図14のシステムからどの様にして完全な消去パターンが抽出されるか、を段階的に示す。

30

【0045】

図15は上方の列の4つの第1の固定子電極 R-T-R-T (灰色で示される) に続く5つの電極 R-T-R-T-R (無色) が除去され、その後再び4つの電極が保持される、ことを示している。5つの電極が除去されると、このグループの順序は変更され T-R-T-R となる。このグループに続いて5つの電極 T-R-T-R-T が除去される。位相源 R と T をもった第3のグループは第1のグループ R-T-R-T と同じ順序で再び出発する。電極が同じ方法で供給位相 S と U をもった低い列から取り除かれる。図15で灰色に着色された電極は残される。

【0046】

図16は、どの様にして R-T の群と S-U の群が変位されて、同一の半径 r に置かれるかを示す。

40

【0047】

それぞれ回転子電極の間隔の $1/2$ の間隔をもった18の1次の電極間隔の後、同じパターンが繰り返される。固定子電極の組における2次間隔 λ_2 はこのようにして 18×1 次固定子間隔、すなわち9つの回転子電極間隔に等しい。電極の配置において幾何学的対称を達成するため、2次固定子周期 λ_2 の数は整数でなければならない。 $\lambda_2 = 9$ つの回転子電極間隔であるので、回転当たり完全数の周期 λ_2 が得られるためには、回転子電極の数は $n \times 9$ であらねばならず、ここに n は1より大きい正の整数である。

【0048】

固定子電極は実際的理由により図14-16に示されるように位置することはできない。

50

回転子ディスクの電極に励起される信号の最良の直線性を得るためには、各電極は正確に回転子電極間隔の $1/2$ をカバーしなければならない。位相グループ R-T と S-U の分離した送信機電極はもし図面に示される用に位置すると、電極間に空隙ができないので互いに短絡されるであろう。

【0049】

電極は図 17 に示されるような状態に互いに 180° 回転することによって、各電極の回りに理想的な電極幅と間隔を保持しながら、許容出来る絶縁間隙が形成される。回転子電極 2 と固定子電極 R-S-T-U は、それらの広い側面が外側と内側にくるようにそれぞれ回転されるので、これら電極を構成する楔型の半径方向切片間の表面係合機能が異なることは更に説明することなく理解されるであろう。さらに、最も薄い部分が内側に向いて

10

【0050】

そこで 1 つの利点は、図 17 に図示される方法で得られる電極の方向が次のように変換されることである。すなわち、その先端が半径方向において内側に向くような方向にある第 1 のグループの電極、例えば図 17 の最左端にある電極グループ a の電極 R が、同じ供給位相を含む次の電極グループ c においては半径の中心に向かう反対の方向に向くようにされる。同じ効果は、電極グループ b, c, d における他の位相の電極 S-T-U についても得られる。このようにして、スケールの幾何学的配列 (scaling geometry) が受ける個々の誤差の完全な差動消去 (complete differential cancellation) が得られる。

20

【0051】

上述の幾何学的位相変換 (geometrical phase permutation) は当然に 4 つの供給位相をもった好ましい実施例に限定されるものでなく、他の数の供給位相に対しても同様に適用される。

【0052】

(絶対変換器)

絶対角度位置を決めるため、半径方向に向かい正弦波形の形をもった別の 1 組の電極が使用され、“精密 (fine) 電極”とは異なる半径位置に配置される。1 つの好ましい実施例が図 22 に示され、4 つの供給電極 3 を含み、位相 R-S-T-U の電気信号を供給され、システムの固定子ディスク上に置かれる。4 つの送信機電極は本発明の目的に従って差動幾何学的消去を実行するため 360° にわたり分布される。図 23 は回転子ディスク上に配置され固定子電極からの信号を収集する単一の受信機電極 2 を示す。

30

【0053】

回転の角度の絶対値の決定は次の方法に従って行われる。その方法の 1 例は次の通りである：

位置は 2 つの回転子電極の間隔の $1/2048$ の分解能をもった測定ユニットにおいて確実な評価技術を用いて決定される。1 回転に 126 の回転子電極を含む回転子ディスクをもち、 $2048 \times 126 = 258,048$ / 回転の角度分解能、すなわち近似的に 12 秒の弧の分解能を達成する。1 回転当たり 1 電極の絶対変換器のスケールをもって、 $1/2048$ の分解能が達成される。絶対変換器は“精密”変換器の 126 の位置の何れの 1 つが有効であるかを決定するのに使用される。従って、精密位置を決定するとき“粗”変換器と“精密”変換器の間に重複が存在し、それは分解能の $1/126$ の冗長度を生じ、粗い計算機のほぼ 16 単位である。

40

【0054】

角度の絶対値が計算される計算は基本的に次の通りである：

“精密”スケールの 126 の位置の何れにその値が存在するかを計算するため、粗い計算機の値を 16 で割る。或る特定の原理に従って整数に丸めて、整数“p”を得る。さらに、計算機の“精密”スケールが例えば数 1432 を含むとする。原理的に次のようなアルゴリズムが全角度の絶対値を得るために使用される：

50

【0055】

全絶対角度 = $(p - 1) * 2048 + \text{精密スケールの内容}$

上記の例において、 $p = 27$ とする：

【0056】

全絶対角度 = $(27 - 1) * 2048 + 1432$

= 精密計算機の54, 680単位

【0057】

1回転360° = 精密計算機の258, 048単位であるので、現在の絶対角度は：360 / 258, 048 * 54, 680 = 76. 28348°から得られる。

【0058】

より高い分解能をもった変換器、例えば回転子電極の数 = 1008の変換器については、必要ならば異なる分解能をもった2またはそれ以上の絶対変換器の場 (field) が回転子と固定子のディスクの上に配置される。

【0059】

例えば上記の例において、“精密”変換器“1”に対して回転当たり1回転子電極が選ばれ、“粗”変換器“2”に対しては回転当たり24回転子電極が選ばれる。“粗”変換器“2”は $24 * 2048 = 49, 512$ 段階 / 回転の分解能を与える。そこで、冗長度は回転子の各“精密”間隔に対し粗計算機のほぼ49, 512 / 1008 = 49段階である。

【0060】

(電気的差動測定)

上述の全ての場合においてシステムの説明は、本発明の特徴である差動幾何学的配列 (differential geometry) の機能を説明することに向けられた。簡明にするため、固定子ディスク4に送信機電極3をもち、回転子ディスク1に受信電極2をもったシステムを本発明の原理に従った実施例の各種の変形についてスエーデン特許7714010-1により既知の技術に従って記載した。これは、図1でディスク4の供給電極3がスライダ (回転子電極) 1の受信機電極2の単一システムと相互作用することを意味する。本発明の好ましい1実施例、図24において、相対的に電極の間隔の1 / 2だけ幾何学的に変位しているが、同じ平均半径をもっている2つのスケールが使用される。前述のように、供給位相R-S-T-Uは互いに90°位相が変位している。その結果、位相TはRに対して180°変位し、Uは同様にSに対して180°変位する。回転子電極の2つのシステムが、それら2つのシステムに共通の固定子上の送信機電極により励起されるとき、これは電極2に対して相対的に電極間隔の半分変位している電極2'の信号もまた互いに180°位相が変位することを意味する。その結果として、電極システム2、2'からの信号が公知の形式の電気的差動増幅機の入力に印加される。電極2、2'により反射された2つの信号は加算されて図1の単一スケールに較べて2倍の振幅となる。

【0061】

しかし大きな利点は他の面にある：妨害電気パルスや電界が外部から印加されたとき、これらは両電極システムに同様の形状の擾乱パルスを生じ、差動増幅機のCMRを通して消去される。さらに、電極の構成が誤差の幾何学的均一化を助け、それにより平均値が物理的に接続されている2つの別個の電極システムに形成される。

【0062】

スエーデン特許7714010-1及び図1によれば、ディスク1の電極等に受信される信号は容量性通路を介して別の伝達電極を通して供給ディスク4に戻される。さらに、全ての受信機電極2, 3等は電氣的に互いに絶縁されている。本発明によれば、これらの1つまたは両方の実施例を本発明の装置に適用することができる。例えば、連続的に回転している軸の角度位置を測定するときに、固定子ディスクに容量性フィードバックを利用することは有利であろう。

【0063】

本発明による角度変換器を応用する主な領域は、測定または位置決めシステム、工業ロボ

10

20

30

40

50

ット等におけるリンクアームのような通常限定された運動角度をもったシステムであると考えられる。これらの場合、その後の差動増幅器や付随する評価電子回路が回転子ディスクの電極システムに直接接続される。完全な電子システムが集積回路の形で回転子ディスクに適用されるか、または信号がケーブルまたは光学ファイバを介して別の場所に配置された集積または分離電子回路に与えられる。信号が容量性伝達を通すことなく回転子から直接読み取られるとき、より雑音や歪みのない信号が得られる。

【0064】

(誤差の他の実際的原因)

1つまたは複数の接続された結合アームを含む測定または位置決め装置を使用するとき、もしその作動点におけるシステムの精度を維持せんとすると、アームの軸受上に従来型の角度変換器を使用するときは大きな負担が生じる。軸受けの貧弱な精度は図25に示されるような形式の確率的傾き、又は図26に示されるような半径方向変位を生じる。これにより結合アームシステム11の作動点が図25に示される傾き及び／又は図26に示される半径方向と軸方向変位に依存する余弦誤差 (cosine error) を受けるようになる。

【0065】

しかしここに説明する本発明を使用するとき、図25の固定子4に対する回転子1の相対的傾斜または図26の固定子に対する回転子の相対的な単なる軸方向変位の影響は、図9における電極2、3のパターンの特別な設計により直接読み取られる回転の角度に関して補償され除去される。電極システムの余弦誤差または半径方向変位が無視できる、ということも本発明の第1の特徴である。しかし、実際のシステムに適用したとき、システムの作動点への影響もまた考慮しなければならない。システムの運動の完全な制御のために、システムは図25に示される形式の確率的 (stochastic) 角度誤差、図26に示される確率的半径方向変位に関する情報を、図25、26に示されるような確率的軸方向変位に関する情報と共に集めねばならない。これらの現象は通常共通の用語“遊び”で表される。

【0066】

本発明によるさらに別の図27、27aに示されるシステムは電極システムに関する。円形送信機電極13は固定子ディスク4の上に配置される。受信機電極14、15は回転子ディスク1の上に配置され、容量性伝達により送信機電極13から信号を集める。14、15で受信する信号の振幅は14／15と供給電極13の間の相対的位置に依存する。電極14、15に於ける振幅は対称の場合に同じ大きさである。対称位置から変位するときは、電極14、15の一方で増加し、他方で減少する。

【0067】

角度変換器の周辺に等間隔に分布して電極14、15の少なくとも3組の対を配置することにより、結合アーム11の半径方向変位は電極14、15からの振幅値の適当な数学的处理の助けにより計算できる。

【0068】

図25による誤差角度の設定を決めるため、図28の別のシステムが電極システムに設けられる。円形送信機電極16が固定子ディスク4に配置される。少なくとも3つの受信機電極17が回転子ディスク1の上に、角度変換器の周辺に均等に分布するように配置される。電極17と電極16の容量性結合が全ての可能な半径方向変位により影響されなくするため、電極17の半径方向幅は電極16の半径方向幅より短くされる。

【0069】

受信機電極17は各々送信機電極16から容量的伝達により信号を取り込む。電極17で受信する信号の振幅は17と送信機電極16の間の距離に依存する。全ての電極17の振幅は対称の場合に同じ大きさである。図25のように結合アーム11が傾斜するとき、各電極17における信号の振幅は誤差の大きさと方向に依存する。結合アーム11の角度誤差と軸方向変位は電極17からの振幅の値の適当な数学的处理により計算できる。

【0070】

図 29 は好ましい実施例を示す。送信機電極 13、16 は好ましい実施例においては同じ半径に位置し、1 つの同じ電極 18 により構成される。受信機電極 14、15、17 は好ましくは角度変換器の周辺の 1 つ置き的位置が電極 14、15 により占有され、また 1 つ置き的位置が電極 17 により占有されるように配置される。この配置は半径方向の空間の使用を最小にする。

【0071】

半径方向空間の重要性が小さい場合は、上記に代えて、送信機電極を十分に広くして、電極 14、15、17 が角度変換器の周辺に互いに独立に分布されるようにする。

【0072】

(回転子電極)

本発明による角度変換器に使用する完全な回転子ディスクが図 30 に示される。

【0073】

スエーデン特許 7714010-1 による容量性測定システムの特性の 1 つは、受信機電極の間隔より小さい相対的回転角度の大きさ、実施例では 1 回転の $1/81$ より小さい、を直接かつ高い精度で決定できることである。一方、受信機電極の複数の間隔の何れが(実施例では 81 の可能な間隔の何れかである)現在関連の 1 つであるか、についての情報は得られていない。従って、変換器は 360° の受信機電極間隔、すなわち完全な 1 回転、をもった第 2 の角度測定システムを備えている。この第 2 のシステムは“粗測定システム”として公知であり、実施例においては 81 の受信機電極間隔の何れが現在の 1 つであるかを決定するのに役立つのみである。

【0074】

図 30 は回転子ディスク 1、受信機電極 2、2' 及び粗測定システム(図 34 と 35) から信号を受信するように設けられている内部受信機電極 2c、2c' を示す。

【0075】

外部受信機電極 2 と 2' はこのように、固定子ディスク 4 上の対応する電極 3 と共に高い分解能の角度測定システムを形成し、一方内部受信機電極 2c と 2c' は固定子ディスク 4 上の対応する電極 3' と共に 360° の回転以内の角度位置を決定する粗測定システムを形成する。図 31 はより高いスケールでの回転子ディスクの切断面を示す。

【0076】

ディスクは好ましくは薄い圧延された銅フォイルにより構成された導電性コートで被覆される。黒の線は例えば写真平版エッチングにより得られる絶縁線を示す。

【0077】

図 31 の線 19、20 は受信機電極の限界の極線(polar lines)を形成し、ディスク上に存在する全ての円形極要素の共通の中心に向かっている。従って好ましくは、電極の幅が大きさにおいて電極間の空間に等しくなるように電極の幅が選ばれる。図 30 から明らかであり、図 31 にさらに詳細に示すように、好ましくは導電性材料の薄い細片 21 が電極 2 の上部境界の上方に残される。このようにして、回転子ディスク上の全ての電極 2 は並列接続の形で電氣的に接触し、これは個々の回転子電極により受信される非常に弱い信号強度が、ディスク上の回転子電極 2 の数に原則的に依存する係数により乗算されことを意味する。

【0078】

1 つの可能な実施例において、回転子電極間の角度間隔は 81 の電極が完全な 1 回転 360° の回りに存在するように選択される。

【0079】

受信信号の強度をさらに強めるため、かつ特に回転子ディスクの電極 2 により収集される交流電界を発生する外部擾乱源に対する変換器の感度を弱くする目的で、図 30、31 に示すように、回転子ディスクには第 2 のシステムの回転子電極 2' が設けられる。第 2 の組の電極 2' は第 1 の組の電極 2 を形成するのと同様の電氣的絶縁の線により形成され、電極の幅は好ましくは、電極幅が電極間の空間の大きさと同じになるように選択されているので、第 2 の組の電極 2' の形状、面積、幅は第 1 の組の電極 2 のそれらと同一である

10

20

30

40

50

。

【0080】

この第2の組の電極2'は第1の組の電極2と同様に電極の下部に残される導電性材料の薄い細片22により電氣的に接続される。

【0081】

1つの好ましい実施例において、電極の場合 (field) 2、2'に発生する信号は、図24の差動増幅機7のような信号処理の電子回路に接続されるように、図31の板貫通孔 (through-plated holes) 23、24を通してディスクの反対側にある設備に送付される。

【0082】

図32は回転子上の電極の組2、2'における差動信号の形成を説明するためのものである。回転子ディスクと固定子ディスクの両者は図32で、組み込まれた角度変換器内に両者の配置される場所に“X線”像として示される。受信回転子電極の配列2、2'をもった回転子ディスク1は細い線で示され、一方心臓形状の“送信”固定子電極R、S、T、Uを備えた固定子ディスク4は太い線で示される。差動信号の幾何学的配列は、位相S、Uをもった交流電圧の供給される図32の電極から最も簡単に見ることができる。

【0083】

ここに説明される好ましいシステムにおいては4つの供給信号R、S、T、Uが使用される。スウェーデン特許7714010-1によれば、これら信号は位相が相互に次の表の如く変位している。

【0084】

【表1】

供給信号	R	S	T	U
位相位置度	0°	90°	180°	270°

【0085】

表1は供給信号R、T間の相対的位相の変位が180°であることを示している。同様に、供給信号S、Uの間の位相変位も180°である。

【0086】

図32は、位相Sをもった全ての固定子（送信機）電極がある位置において内方の中心に向かう回転子電極2の直接上方に置かれることを示している。同時に、位相Uをもった全ての固定子電極は外方に向かう回転子電極2'の直接上方に位置する。

【0087】

上に説明したように、2組の回転子電極は幾何学的に互いに回転子電極の間隔の1/2変位している。送信機電極S、Uは大きさが同じで、位相が互いに180°変位している電圧を供給されるので、回転子電極2、2'の受信する信号は大きさが等しいが符号は反対であろう。これが一般的に図33に示される。2つの図面は回転子の受信機電極2、2'により受信される信号の振幅Uが回転子と固定子の間の角度αの相対的变化に従ってどのように変化するかを、示している。

【0088】

上方の図面は一般的に回転子電極2に発生する信号の振幅を示し、一方下方の図面は回転子電極2'に発生する信号のその対応を示している。図面から明らかなように、電極組2'から受ける信号は電極組2の信号のミラー像を構成する。これは、上記2つの信号が図24に示すように各々差動増幅器7の1つの入力に与えるに極めて適していることを意味

10

20

30

40

50

する。このようにして、2つの信号が加算され、その結果の増幅器の出力信号が大きさが2倍の振幅をもつようにすることが出来る。さらに外部の交流電界により受信機電極2、2'に発生する擾乱信号の影響は、このように同じ位相をもった入力信号を弱くするという差動増幅器の性質（共通モード阻止（common mode rejection））を用いて低下される。

【0089】

（固定子電極）

回転子ディスクと相互作用し、固定子（送信機）電極を含む固定子ディスクが図34に示される。電極はこのディスク上に図17に示される原理及びそれと関連する記載に従って円形に配置される。図34は固定子ディスク4を示し、その表面上に送信機電極3と粗測定システムの送信機電極3'が配置される。固定子ディスクは回転子ディスクについて説明したのと同様の方法で製造される。図35は固定子ディスクの断面を高い尺度で示す。図35はまた送信機電極の順序を変えた幾何学的位置が前述の特許に記載された原理に従っていることを示し、さらに全電極グループに対する供給信号の位相位置を示している。角度変換器の1回転は整数組のそのようなグループを構成する。

10

【0090】

（順列の説明）

ここに記載の原理の4-相の容量性システムの送信機電極はこれら電極間の間隔が（回転子（受信機）電極の間隔） $\div \Phi$ 、すなわち、この場合（回転子（受信機）電極の間隔） $\div 4$ に等しくなければならない、という条件を満たさなければならない。これは、この実施例において送信機電極の間隔が1回転の $1/81 \times 1/4$ 、すなわち $1/324$ でなければならない、ことを意味している。

20

【0091】

これは図14に示される電極配置を与える。しかし、幾つかの理由によりこの配置は角度変換器に適用するには適当でない。その中で最も重要なのは、図14に示される配置は垂直方向、すなわち固定子ディスクへの応用に対して半径方向に相当の広がりをもつことである。これは、重心が短い半径 r_1 に位置する電極の領域は、長い半径 r_2 に位置する電極の領域より小さいことを意味する。なぜなら、短い半径にある電極も長い半径にある電極と同じ角度の分布をもつにしても、より短い長さの弧を含むからである。これは、短い半径にある電極の幾何学的配列を補正して、長い半径にある電極とその領域及び領域係合関数（area engagement function）が同じになるようにすることにより、補償される。そのような方法の欠点は組織的対称誤差（systematic symmetry error）を導入する顕著な危険である。これは、図14から明らかのように、短い半径 r_1 にある全ての電極は位相SまたはUの交流電圧を供給され、一方長い半径 r_2 にある全ての電極は位相RまたはTの交流電圧を供給されるからである。

30

【0092】

それは、送信固定子ディスクから受信回転子ディスクへの全ての送信信号は差動誤差補正（differential error correction）が行われるように構成されるべきである、というこの特許の基本的原理と矛盾するであろう。これを達成するために、半径の変位、領域の変位、係合配列（engagement geometry）の変位、または寄生容量間の漏話等を起こす如何なる誤差も位相電極組R、S、T、Uの各々に同じ程度に表れるように電極位置の完全な対称が必要である。この対称の1例が図34、35及び図17に示される。図面に示されるように、電極は最も狭い部分が回転の中心の内方に向かうのみでなく、回転の中心から離れて外方に向かうようにも配置されている。全ての電極が同じ領域をもち同じ半径に位置しているが、システムの高い感度は、固定子電極の対向する方向に依存して幾分異なる信号も依然として回転子ディスクの受信機電極に送信される、ことを意味している。そのような誤差は、例えば固定子電極の配置の僅かな誤差、または相間漏話により起こるかもしれない。差動対称（differential symmetry）に関する特許の基本的ルールは従って、固定子の送信機電

40

50

極は同じ数の内方に向く電極と外方に向く電極とが各位相 R, S, T, U のグループに存在することを意味している。さらに、グループ R, S, T, U は内方に向く電極と外方に向く電極を同じ数含んでいる。

【0093】

電極の配置を変更するために、全体の信号の振幅を減少する以外の方法で信号伝送機能に影響することなく、電極の場合 (electrode field) を薄める (thinning out) ために、送信機電極 R, S, T, U の任意に選択された数を除くことが可能である。

【0094】

送信機の間隔は“(受信機電極の間隔) / Φ 、ここに Φ = 供給位相の数”であらねばならない、というスエーデン特許 7714010-1 に開示されている条件に拘らず、上記特許に開示されている条件を維持しながら、図 14-17 に示される順列がどの様にして可能であるか、送信機電極の間隔がどの様にして変更できるか、を図 38、39 はさらに詳細に説明している。この節の最初に記載したように、図 38 に示すように送信機電極は、ある可能な出発位置において、第 1 の位相の電極 R が幾何学的に回転子ディスク上の受信機電極 2 の直上に位置するように配置されるべきである。この状態において、次の位相の電極 S は受信機電極の間隔の $1/4$ 変位されるべきであり、従って同じ受信機電極 2 上の中間に置かれる。次の相電極 T は受信機電極の間隔の $2 \times 1/4$ 、すなわち $1/2$ だけ変位されるべきで、受信機電極 2 の間の空間の直上に、すなわち受信機電極 2' の直上に位置する。同様に、U は受信機電極の間隔の $3/4$ だけ変位する。

【0095】

グループ R, S, T, U の送信機電極は図 14 と 38 に示すように 1 つの同じ受信機電極に対する受信機電極の相対的な間隔の 0、 $1/4$ 、 $1/2$ 、及び $3/4$ だけ変位している。しかし、信号伝達機能のために変位が 1 つの同じ受信機電極に対して相対的である必要はない。

【0096】

全ての受信機電極 2 が電氣的に接続されているとき、同様の機能は前に説明し、図 39 に示すように、もし R が受信機電極 1 の直上に位置し、位相 S の送信機電極がそれから離れて受信機電極の間隔の $1 + 1/4$ に位置するならば、同じ作用が得られる。この場合、送信機電極は次の受信機電極 2 の上の中間に位置する。しかし電極 T は受信機電極の間隔の $2 + 2/4$ の変位に置かれ、受信機電極の間隔の $3 + 3/4$ の変位に置かれる。この場合、このようにして得られる送信機電極の実際の間隔は受信機電極の間隔の $1 + 1/4$ 倍であり、一方送信機電極の機能的間隔、すなわち受信機電極に対する相対的変位は受信機電極の間隔のそれぞれ $1/4$ 、 $2/4$ 、 $3/4$ に保たれるであろう。

【0097】

上記説明は信号の発生に関しては正しい送信機電極の状態を与えるが、非常に簡易化したもので、送信機電極の数が回転子の受信機電極の数よりも少ない(係数 1.25 だけ)ものである。上記実施例を通して、送信機電極 R, S, T, U は以下の基本ルールに従う限り、基本的に任意にグループ分けされ、移動される：

【0098】

1. 送信機電極は、任意に選択された受信機電極の位置に対して相対的に受信機電極の間隔の 0、 $1/4$ 、 $2/4$ または $3/4$ の限定された幾何学的変位を維持しなければならない。
2. 固定子は同じ数の各位相の送信機電極を含まなければならない。
3. 例えば、同じ数の外向きの電極と内向きの電極の順列、配置により幾何学的対称を維持するか、またはそれを創らねばならない。

【0099】

前述のように、電極の場合を薄めることは多数の方法で実行できる。図 14-17 は本明細書において好ましい薄めの 1 つの方法を示す。

【0100】

10

20

30

40

50

従って、図 17 に示すような固定子の位相供給電極の順列により、それに続く位相供給電極 R, S, T, U の間の回転子電極間隔の $1/4$ の本来の機能的間隔が維持される。

【0101】

これは図 32 に示される。図において、図示の位置において送信機電極 R は受信機電極 2' の上方中間に位置する。送信機電極 S は受信機電極 2 の直上に位置し、従って電極 R に対して相対的に受信機電極の間隔の $1/4$ だけ機能的に変位する。次の電極 T は受信機電極 2 の上方中間で、受信機電極 2' の上方中間に位置し、従って、電極 R に対して相対的に受信機電極の間隔の $1/2$ だけ、電極 S に対して相対的に受信機電極の間隔の $1/4$ だけ変位する。このようにして、全ての電極は依然として受信機電極の 1 つに対して相対的に受信機電極の間隔の $1/4$ の間隔をもって機能的に分布される。しかし、この分布は図 14 の場合のように 1 つの同じ電極に対して相対的關係にあるのではない。反対に、これは前述のように全ての受信機電極が電氣的に接続されているので、重要な意味はない。 10

【0102】

(角度変換器をその一部とする機械システムにおいて半径方向及び軸方向の遊びの大きさを測定する手段をもったシステムの補足)

本発明により実施された角度変換器は変換器の取り付けられた機械要素の軸受けの欠陥により生じる角度の特定における誤りを除去するけれど、位置決めの精度は、その軸受けの遊びやぐらつきにより依然として全体のシステムに機械的、幾何学的に影響を受ける。たとえ角度位置が角度測定システムにより正しく読まれたとしても、図 25、26 に示される形式の機械システムの遊びにより依然として誤差が生じることがある。 20

【0103】

そのような誤差はさらに電極システムを付加することにより実時間に測定し、補正できる。そのような電極システムは [0064] 乃至 [0071] に記載され、図 27、28、29 に例示されており、ここで図 27、28 はそれぞれ半径方向ぐらつきと軸方向変位をどのように測定するかを示す。図 29 はこれら 2 つのシステムを 1 つの共通システムにどのように組合すかを示す。

【0104】

図 27、29 において各個々のディスク 14、15、からの出力信号が電子ユニットに接続されているという事実をこの機能の最初の記載に付加すべきである。電子ユニットは如何なる半径方向のぐらつきもその方向と大きさを、6 つの板 14、15 に存在する振幅を測定することにより直ちに決定することができる。 30

【0105】

図 28、29 の各個々の板 17 は、同じ方法で電子ユニットに接続され、電子ユニットは図 25 による軸方向変位を、もし存在すれば、その大きさと角度を直ちに決定できる。

【0106】

図 36 は遊びを測定する電極を備えた回転子ディスクの全体を示す。14、15 は先に説明した半径方向遊びを測定するための電極であり、17 は軸方向遊びを測定するための電極である。点付ダッシュ符号の線は固定子ディスク上に配置された信号測定電極 16 が電極 14、15、17 とどのように相互作用するかを示す。

【0107】

図 37 は遊びを測定する電極を備えた固定子ディスクの全体を示し、信号測定電極 16 が遊び測定のため付加された要素である。 40

【図面の簡単な説明】

【図 1】

スエーデン特許 7714010-1 による長さと角度の容量的測定の基本的原理を示す図面。

【図 2】

スエーデン特許 7714010-1 による角度変換器を示す図面。

【図 3】

固定子ディスクの欠陥のある軸方向取付けに対して信頼性の改良された従来技術による角 50

度変換器を示す図面。

【図 4】

固定子の取付けで平行性に欠陥をもった角度変換器を示す図面。

【図 4 a】

図 4 における角度変換器の側面図。

【図 5】

固定子が平行性に欠陥をもって取付けられたときの誤差機構を示す図面。

【図 6】

固定子の取付けに平行性の欠陥があるときの誤差機構をさらに詳細に示す図面。

【図 7 a】

固定子が平行性に欠陥をもって取付けられたときの 2 つの回転子の間の角度変化に対応した誤差曲線を示す図面。

【図 7 b】

固定子が平行性に欠陥をもって取付けられたときの 2 つの回転子の間の角度変化に対応した誤差曲線を示す図面。

【図 7 c】

固定子が平行性に欠陥をもって取付けられたときの 2 つの回転子の間の角度変化に対応した誤差曲線を示す図面。

【図 8】

回転子の欠陥のある半径方向取付けと半径方向ぐらつきに対して改良された対策をもった従来技術の角度変換器の側面図。

【図 8 a】

図 8 の角度変換器の概略平面図。

【図 9】

回転子の欠陥のある半径方向取付けと半径方向ぐらつきに対して好ましい 1 実施例による改良された対策をもった従来技術の角度変換器の図面。

【図 10】

回転子ディスクの軸受に軸方向ぐらつきのある角度変換器を示す図面。

【図 11】

図 10 による軸方向ぐらつきの存在において 360° の間の回転子ディスクと固定子の間の距離の変化を図式に表した図面。

【図 12】

回転子ディスクの平坦性の欠陥を示す図面。

【図 13】

図 12 による平坦性の欠陥の存在において 360° の間の回転子ディスクと固定子の間の距離の変化を図式に表した図面。

【図 14】

固定子電極の間隔が回転子電極の間隔の半分の場合の固定子電極を示す図面。

【図 15】

図 14 の電極システムの半径方向圧縮の間の電極除去の原理を示す図面。

【図 16】

半径方向圧縮の第 1 段階の結果を示す図面。

【図 17】

最終の幾何学的置換の後の図 16 の電極システムを示す図面。

【図 18】

回転子と固定子の両者が回転の角度に対して相対的な角度誤差を受ける一般的な例を示す図面で、極端な位置において誇張して示される。

【図 19】

回転子と固定子の両者が回転軸に対して相対的に角度誤差を受ける一般的な例を示す図面で、別の極端な位置において誇張して示される。

10

20

30

40

50

【図 20】

図 18 に示される位置の解析を示す図面。

【図 21】

図 19 に示される位置の解析を示す図面。

【図 22】

絶対変換器のスケールの固定子ディスク上の供給電極の好ましい 1 実施例を示す図面。

【図 23】

絶対変換器のスケールの固定子ディスク上の受信機電極の好ましい 1 実施例を示す図面。

【図 24】

改良された信号対雑音比を達成するため回転子ディスク上に差動的に設けられたスケール 10
を示す図面。

【図 25】

本発明により角度変換器の取付けられた装置の傾きを示す図面。

【図 26】

図 25 による装置の半径方向変位を示す図面。

【図 27】

機械システムの回転の中心からの半径方向変位（ぐらつき）を調べるための追加的電極を
示す図面。

【図 27 a】

図 27 による電極の側面を示す図面。 20

【図 28】

回転の中心に対する機械システムの相対的な角度変位（軸方向移動又はぐらつき）を調べる
ための追加電極を示す図面。

【図 29】

図 27、図 28 の電極の改良された構成を示す図面。

【図 30】

本発明による回転子ディスクの全体の 1 例を示す図面、但し遊びを測定する構成を欠く。

【図 31】

図 30 の拡大された断面を示す図面。

【図 32】

固定子電極と回転子電極との相互作用を示す図面。 30

【図 33】

2 つの差動受信機電極の場合 2、2' における信号の状態の推定される 1 例を示す図面。

【図 34】

本発明による固定子ディスクの全体の 1 例を示す図面、但し遊びを測定する構成を欠く。

【図 35】

図 34 の拡大された断面を示す図面。

【図 36】

本発明による回転子ディスクの全体の 1 例で、含まれる遊びを測定する構成をもった例を
示す図面。 40

【図 37】

本発明による固定子ディスクの全体の 1 例で、含まれる遊びを測定する構成をもった例を
示す図面。

【図 38】

送信機電極の間隔＝受信機電極の間隔／ Φ のときの電極位置を示す図面。

【図 39】

他の構成における電極位置を示す図面。

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
14 March 2002 (14.03.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/21081 A1

(51) International Patent Classification: G01D 5/20, 5/24

(21) International Application Number: PCT/SE01/01773

(22) International Filing Date: 20 August 2001 (20.08.2001)

(25) Filing Language: Swedish

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
0003110-4 4 September 2000 (04.09.2000) SE

(71) Applicant (for all designated States except US): C E JOHANSSON AB [SE/SE]; S-631 81 Eskilstuna (SE).

(72) Inventors: and

(75) Inventors/Applicants (for US only): PETERSSON, Bo [SE/SE]; Holmtorpsvägen 5, S-644 36 Torshälla (SE); GUSTAFSSON, Carl-Erik [SE/SE]; Rektorsvägen 19, S-633 44 Eskilstuna (SE).

(74) Agents: KARLSTRÖM, Lennart et al.; Noréns Patentbyrå AB, Box 10198, S-100 55 Stockholm (SE).

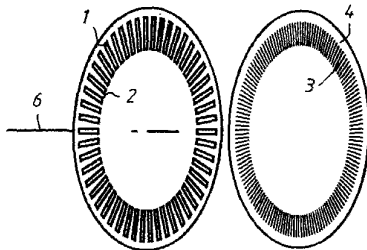
(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
— with international search report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: ANGLE TRANSDUCER



(57) Abstract: An angle transducer comprising a first disk, the rotor (1), with circularly arranged and radially directed receiver electrodes (2) and a second disk, the stator (4), equipped with circularly arranged and radially directed transmitter electrodes (3) arranged at the same radius as the receiver electrodes (2) and with a fixed separation between the receiver electrodes and the transmitter electrodes on the two disks, whereby the disks (1, 4) are arranged coaxially (6) and rotatable relative to each other, and the disks are further separated by a thin air-gap that makes possible a capacitive or an inductive coupling between the electrodes systems on the receiver disk (1) and the transmitter disk (4), whereby the transmitter electrodes (3) are each supplied with an alternating voltage with different

phases for neighbouring electrodes, whereby the number of supply phases, ϕ , is greater than two, and the separation of transmitter electrodes = the separation of receiver electrodes/ ϕ . The transmitter electrodes (3) of the stator (4) are geometrically arranged such that errors in their geometry relative to the geometry of the receiver electrodes (2) produce equal but opposite error signals in the receiver electrodes (2) of the rotor (1).

WO 02/21081 A1

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

1

Angle Transducer

The present invention concerns an angle transducer or angle encoder, which is used for the precise determination of the
5 angle of rotation between two mutually rotatable parts.

Angle transducers are machine components that are widely used for the purposes of guidance and control within industry. The annual consumption of transducers is very large. Such trans-
10 ducers are often used together with gearing in order to increase the resolution of the guided or controlled shaft. For example, with an angle transducer having a resolution of 10,000 increments/revolution and a gear with $i = 26$ times, a resolution for the output shaft of approximately 5 seconds of
15 arc can be achieved.

The disadvantage of this method is that it depends on the precision of the gearing and that it provides poor control of the final precision in the system since this is influenced by
20 play, wear, etc. in the transmission.

Machine-builders strive to place the measurement/angle transducer at the extreme end of the transmission chain, that is, in direct association with the controlled/monitored machine
25 part, in order to avoid such uncontrollable error influences. However, this requires high resolution angle transducers with a resolution of the order of a few seconds of arc or better. A number of products are available on the market with these properties.

30 The disadvantage of existing angle transducers, however, is that they are very expensive and place high demands on the precision and accuracy in their mounting.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

2

Existing transducers are often of the optical incremental type, which causes them to lose all information if the angular position is changed, for example, following loss of power or switching off of the system. It is thus a major desire that an angle transducer should show absolute values, that is, correct information is to be always available independently of what has occurred during switching off and switching on. This is an advantage in systems for which safety aspects are of major significance. An absolute measurement function allows also design of measuring systems for long-term measurements with small power consumption, since the measuring system can be totally switched off between measurement operations.

15

Drawings

The invention will be described here against the background of the prior art and the problems associated with it, and with reference to the attached drawings, in which **Fig. 1** shows the basic principle for capacitive measurement of lengths and angles according to the Swedish patent 7714010-1, **Fig. 2** shows an angle transducer according to the Swedish patent 7714010-1, **Fig. 3** shows an angle transducer according to the prior art with improved reliability against faulty radial mounting of the stator disk, **Fig. 4** shows an angle transducer with faulty parallelism in the mounting of the stator, **Fig. 4a** shows a side view of the angle transducer from **Fig. 4**, **Fig. 5** shows the error mechanism when the stator is mounted with faulty parallelism, **Fig. 6** shows a more detailed view of the error mechanism in the event of faulty parallelism in the mounting of the stator, **Figs. 7a-c** show an error curve over a distribution of angles between two rotor electrodes when the stator has been mounted with faulty par-

30

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

3

allelism, **Fig. 8** shows an angle transducer in side view according to the prior art with improved resistance against faulty radial mounting and radial wobble of the rotor, **Fig. 8a** shows the angle transducer of **Fig. 8** in a schematic plan view, **Fig. 9** shows an angle transducer according to the prior art with improved resistance against faulty radial mounting and radial wobble of the rotor in one preferred embodiment, **Fig. 10** shows an angle transducer with axial wobble in the bearings of the rotor disk, **Fig. 11** shows schematically the variation in distance between the rotor disk and the stator during 360° in the presence of axial wobble according to **Fig. 10**, **Fig. 12** shows faulty planeness of a rotor disk, **Fig. 13** shows schematically the variation in distance between the rotor disk and the stator during 360° in the presence of faulty planeness according to **Fig. 12**, **Fig. 14** shows stator electrodes when the stator electrode separation is half that of the rotor electrodes, **Fig. 15** shows a principle for removal of electrodes during radial compression of the electrode system shown in **Fig. 14**, **Fig. 16** shows the result of a first stage in the radial compression, **Fig. 17** shows the electrode system of **Fig. 16** after final geometrical permutation, **Fig. 18** shows a general example in which both rotor and stator are subject to angular errors relative to the axis of rotation, shown exaggerated at an extreme position, **Fig. 19** also shows a general example in which both rotor and stator are subject to angular errors relative to the axis of rotation, shown exaggerated at another extreme position, **Fig. 20** shows an analysis of the position shown in **Fig. 18**, **Fig. 21** shows an analysis of the position shown in **Fig. 19**, **Fig. 22** shows one preferred embodiment of the supply electrodes on the stator disk of the scale of an absolute transducer, **Fig. 23** shows one preferred embodiment of the receiver electrodes on the stator disk of the scale of an absolute transducer,

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

4

Fig. 24 shows differentially arranged scales on the rotor disk to achieve an improved signal-to-noise ratio, Fig. 25 shows tilt of a device with a mounted angle transducer according to the invention, Fig. 26 shows radial displacement of the device according to Fig. 25, Fig. 27 shows additional electrodes to check the radial deviation (wobble) of a mechanical system from the centre of rotation, Fig. 27a shows the electrodes according to Fig. 27 in side view, Fig. 28 shows additional electrodes in order to check the angle deviations (axial movement, or wobble) of a mechanical system relative to the centre of rotation, Fig. 29 shows an improved arrangement of the electrodes in Fig. 27 and Fig. 28, Fig. 30 shows an example of a complete rotor disk according to the invention, but lacking the arrangements for measuring play, Fig. 31 shows an enlarged section of Fig. 30, Fig. 32 shows the interaction between the stator and rotor electrodes, Fig. 33 shows an example of the possible appearance of signals in the two differential receiver electrode fields 2 and 2', Fig. 34 shows an example of a complete stator disk according to the invention, but lacking the arrangements for measuring play, Fig. 35 shows an enlarged section of Fig. 34, Fig. 36 shows an example of a complete rotor disk according to the invention, with the arrangements for measuring play included, Fig. 37 shows an example of a complete stator disk according to the invention, with the arrangements for measuring play included, Fig. 38 shows the positions of the electrodes when the separation of the transmitter electrodes = the separation of the receiver electrodes/ Φ , and Fig. 39 shows the positions of the electrodes for another arrangement.

30

The Prior Art

The present invention concerns an angle transducer that is easy to manufacture and cheap, based on previously known

WO 02/1081

PCT/SE01/01773

5

capacitive technology, essentially as described in the Swedish patent 7714010-1. A first disk 1, Fig. 1, is equipped with a set of electrodes 2 that form a scale. A second disk 4 positioned above the first disk, separated from it by a narrow air-gap, is equipped with a second set of electrodes 3 that are each supplied with an alternating voltage. The disk that is supplied with alternating voltage will be most often denoted in the description below by "stator". One of the electrodes on the first disk 1 forms, at appropriate positions of the displacement, condensers together with one or two of the electrodes on the second disk 4, whereby the alternating voltage that has been applied to the electrode on the second disk is transferred to one of the electrodes 2 on the first disk 1. Which electrodes on the first and the second disk that form a condenser is determined by the relative displacement between the disks. In this way, the signal that is transferred to the first disk 1 also depends on the relative positions of the disks 1 and 4, and thus can be used to determine the size of the displacement between the disks.

20

One of the principal advantages of this technology is that the incorporated scaling elements can be manufactured using normal printed circuit technology and in this way are easy and cheap to manufacture.

25

The achievement of an angle transducer is also known through the Swedish patent 7714010-1. Thus, radially directed electrodes 2, 3 are placed, Fig. 2, into a circular pattern with respect to a centre that is common to both electrode patterns, in order to form scale disk 1 and supply pattern disk 4. In this way, one can choose either to allow the scale disk to remain stationary while the supply pattern disk can be turned, or vice versa. Alternatively, one can allow both the

30

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

6

scale disk 1 and the supply pattern disk 4 to turn relative to a fixed position. It is simplest if the scale disk 1 constitutes the moveable element, that is, the rotatable element, while the supply pattern disk 4 is mounted to be stationary. It is assumed in the rest of this document that this is the preferred execution whereby the scale disk 1 will subsequently be termed the rotor and the supply pattern disk 4 the stator.

10 **Disadvantages and Problems with the Prior Art**

The technology that is described in the Swedish patent 7714010-1 is intended for the manufacture of length measurement scales with what are, from a relative point of view, fairly low resolution and precision. Significantly higher demands must be placed on the separation precision of the electrodes that form the measuring system in order to obtain the high precision that is required in a high resolution angle transducer. In the same way, stringent requirements are placed that the distance parallel to the axis between the disk 1, Fig. 2, that carries the rotor electrodes 2 and the disk 4 that carries the stator electrodes should be constant. If this distance is not the same for all pairs of electrodes, the electrodes will be given different "weights" with respect to the signal, which results in erroneous values. The cause of varying distance between the rotor disk and the stator disk can be, for example, axial wobble of the rotor disk 1, Fig. 10, or faults in the planeness of the rotor plate 1, Fig. 12. Another cause of such errors is poor parallelism between the rotor disk and the stator disk, that is, between the disks 1 and 4 in Fig. 1, or between the disks 1 and 4 in Fig. 4, shown in Fig. 4a. The mounting of the rotor disk 1 and the stator disk 4 must guarantee that the centres of rotation of the two disks are in the same place. In all cases described

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

7

above, errors of the type shown in Fig. 5 and Fig. 6 arise, which result in periodic errors over one period of the scale separation, as is shown in Fig. 7.

5 In the same way, the rotor disk 1 must be mounted in bearings in such a manner that radial wobble is avoided, since a radial displacement of the rotor disk relative to the common centre of rotation of the disks results in a periodic variation over one revolution of the effective angle of separation
10 between the electrodes of the rotor disk.

The Swedish patent 7714010-1 also describes a method for determining the absolute position along a linear scale, which in principle can also be used for an angular scale. The dis-
15 advantage of the method described is that a very high precision is required during manufacture of the two sub-scales that are used according to the patent in order to determine by "floating" the approximate position of the relative motion between disk 1 and 4, Fig. 1.

20

The Invention

The aim of the present invention, therefore, is to achieve an angle transducer that eliminates or minimises the demands on manufacture and mounting that have been described above,
25 while still giving the possibility of a very precise measurement of angle.

The above-mentioned aim of the invention has been achieved with an angle transducer comprising a first disk, the rotor,
30 with circularly arranged and radially directed receiver electrodes and a second disk, the stator, equipped with circularly arranged and radially directed transmitter electrodes arranged at the same radius as the receiver electrodes and

WO 02/01081

PCT/SE01/01773

8

with a constant separation between the receiver electrodes and the transmitter electrodes on the two disks, whereby the disks are arranged coaxially and rotatable relative to each other, and the disks are further separated by a thin air-gap that makes possible a capacitive or an inductive coupling between the electrode systems on the receiver disk and the transmitter disk, whereby the transmitter electrodes are each supplied with an alternating voltage with different phases for neighbouring electrodes, whereby the number of supply phases, Φ , is greater than two, and the separation of transmitter electrodes = the separation of receiver electrodes/ Φ , where according to the invention, the transmitter electrodes of the stator are geometrically arranged such that errors in their geometry relative to the geometry of the receiver electrodes produces equal but opposite error signals in the receiver electrodes of the rotor.

The angle transducer functions according to the capacitive principle that has been described in Swedish patent 7714010-1. A diagram of the principle of the arrangement of the system is shown in Fig. 1 for a linear scale.

Fig. 2 shows the arrangement of the system for measurement of angles of rotation in an angle transducer. Electrodes 2, Fig. 2, located at even intervals on a moving constituent part of the system known as the "rotor" 1 form in combination with electrodes 3 on a stationary disk 4 known as the "stator" variable condensers. Both electrode systems are directed radially towards a common centre of rotation.

The condenser plates that are present on the stator are supplied with alternating voltages that have the same frequency and amplitude, but have a phase shift relative to each other.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

9

In one preferred embodiment, four alternating voltages R-S-T-U are used with phase shifts of 90° between them, whereby the electrode separation between the electrodes 3 on the stator plate 4 is one quarter of the angle separation between the rotor electrodes 2 on the plate 1. In general, n alternating voltages, where $n > 2$, can be used for the supply voltages, whereby the separation of the stator = the separation of the rotor/ n . When the angle of rotation between plate 1 and 4 is changed, the electrodes that are supplied with the alternating voltage R-S-T-U will, in sequence, enter such a position that they achieve capacitive coupling to one of the electrodes 2 on the rotor plate 1. The electrodes 2 that are present on the scale thus capture a signal from one of the electrodes 3 of the stator 4 through capacitive transmission.

The phase of the signal that is captured by the scale is determined by the phase or phases of the one or two stator electrodes 3 with which the rotor electrode 2 has capacitive coupling, and in this way the phase of the signal that is captured by the scale depends on the angular position of the scale 1 relative to the stationary stator plate 4. The angular position within one scale period, that is, within the angle between two rotor electrodes 2, can in this way be uniquely determined.

Further capacitive arrangements intended for the purpose are required in order to determine the angular position within the complete revolution of 360° . Since the effective capacitance between the rotor electrode and the stator electrode will be very small for each individual pair of electrodes, a number of transmitter groups R;S;T;U that are connected in parallel from an electrical perspective are used on the stator in order to obtain an acceptable signal strength in the received scale signal, the electrodes 3 in Fig. 1.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

10

According to the Swedish patent 7714010-1, the electrodes are located on the rotor and on the stator in the manner shown in Fig. 1. This gives the simplest electrical connection between the stator electrodes and the best "packing", that is, the most efficient area of electrodes in a given space. An angle transducer according to the same principle is shown in Fig. 2.

The disadvantage with the execution according to the Swedish patent 7714010-1 and Fig. 2 is that such an "obvious" location of the electrodes introduces sensitivity for the geometrical errors that arise in practice in the electrode systems on the rotor plate and on the stator plate. Some of this type of error that arise more or less unavoidably are:

1. Static radial displacement between rotor plate 1 and stator disk 4, Fig. 2, due to required assembly tolerances.
2. Dynamic radial displacement between rotor disk 1 and stator disk 4, Fig. 2, due to radial wobble of the rotor disk 1.
3. Static distance errors and parallelism errors in the air-gap between rotor 1 and stator 4, Fig. 2, caused by tilts due to required assembly tolerances.
4. Dynamic distance errors and parallelism errors in the air-gap between the rotor and the stator caused by radial wobble of the moving disk 1 during its rotation, Fig. 10.
5. Dynamic distance errors and parallelism errors in the air-gap between the rotor and the stator caused by faulty shape of the moving disk 1 during its rotation, Fig. 12.
6. Built-in separation errors in the electrode geometries of the rotor and stator arising from optical masters used in manufacture of the rotor and stator disks.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

11

The present invention aims at reducing the requirement for manufacturing tolerances for the two electrode disks 1 and 4 that form the angle transducer and to reduce the requirements
5 on mounting, by eliminating the effect of the geometrical errors in the electrode patterns and mounting geometry that have been described above. The method described in this patent application is based on eliminating errors that arise in the geometry of the rotor electrodes due to manufacture or
10 mounting by means of differential geometrical balancing by arranging the electrode systems in such a manner that any error in the geometry of the rotor and/or stator gives, in addition to scaling signals with an error contribution of $+\delta$, scaling signals that contain a differential error contribution of $-\delta$. The desired result, $\delta=0$, is obtained by adding
15 the two scaling signals.

The complete arrangement works as one collaborative system, but will be described in the following divided up stepwise
20 with each type of error 1 to 5 being described individually.

Error types 1 and 2

One method of avoiding the influence of radial wobble or of radial displacement of the stator disk in principle can be,
25 for example, to equip the angle transducer in Fig. 2 with a second set of stator electrodes identical to the stator electrodes 3 that are already located on the disk 4 but displaced by 180° relative to the first disk 4. Fig. 3 shows such an arrangement. The figure shows the rotor disk 1 with the electrodes 2. Furthermore, the stator disk 4 is also present with the stator electrodes 3, as is a second stator disk 4' with
30 electrodes 3' located diametrically opposite to disk 4. The two stator disks are in reality integrated on one common

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

12

stator disk 5 shown in Fig. 3. In the event of a putative constant static displacement of the centre of rotation of the disk 1 relative to the centres of rotation of the disks 5, for example, in the direction of the arrow a, it will be realised that the signals excited in the rotor disk 1 by disk 4 will display an angular motion that is too small, since the distance between the stator electrodes and the actual centre of rotation has become smaller, which means that the effective angle between the stator electrodes has become larger. In an equivalent manner, the signals in the rotor disk 1 excited by the disk 4' will show too large an angular motion. The positive and the negative changes of the effective angle of inclusion between two neighbouring electrodes will, in general, not be equal in size, but the difference will be negligible if the radial motions are small. When the signals excited from the two disks 4 and 4' are added, the sum of the errors will thus cancel each other out.

In the event of a dynamic axial wobble, as is shown in Fig. 8 and 8a, that is, in the event of the centre of bearing 6 of the rotor disk 1 not coinciding with the geometrical centre of the rotor electrode, one set of stator disks 4'' and 4''' is required displaced by 90° relative to the pair of disks 4 and 4' in order to achieve a complete cancellation of the error. This is most clearly seen in Fig. 8a. It is generally true that at least three sets of disks 4 are required in order to obtain an error-cancellation effect.

One preferred embodiment, which is shown in Fig. 9, is to allow the stator electrodes 3 to enclose the complete revolution, i.e. 360° of the angle of rotation, whereby the number of phase groups R-S-T-U must be evenly divisible by two in order to obtain a full differential cancellation.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

13

Error types 3, 4 and 5

Fig. 4 shows the system both from the front and in a view seen in the direction of the arrow a. In the event of a static parallelism error between the rotor 1 and the stator 4, Fig. 4a, a wedge-shaped air-gap is formed between the rotor 1 and the stator 4. This is shown in more detail in Fig. 5, in which a stator containing four groups R-S-T-U of transmitter electrodes is shown and in which the tilt in the direction of motion of the system is Δ .

Fig. 6 shows in more detail how the coupling between one of the rotor electrodes 2 and the electrodes that are distributed longitudinally within an electrode group R-S-T-U is influenced by the tilt. As Fig. 6 makes clear, the capacitance between the stator electrode S and the rotor electrode 2 will be less than the capacitance between the stator electrode R and the rotor electrode 2 when the respective stator electrode is located directly above the rotor electrode 2. In the same way, the capacitance in an equivalent position between the stator electrode T and the rotor electrode 2 will be less than the capacitance between the stator electrode S and the rotor electrode 2, while the capacitance for U will be less than the capacitance for T. When the motion of the rotor disk has passed through all four phases R-S-T-U, the stator electrode R will again be located in a position directly above one of the rotor electrodes 2. The increasing error, which has accumulated during the sequence R-S-T-U, will then return to "zero error". A periodic and systematic error is obtained as shown in the diagram in Fig. 7a, in which the ordinate γ shows the magnitude of the error and the abscissa shows the angular motion. The length λ of the period of the error is equal to the separation between two rotor

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

14

electrodes 2. By applying a geometrical differential cancellation, Fig. 3, according to the principle of the patent previously described, using an additional set of stator electrodes 3' displaced by 180° relative to the first set, and in which both the first set of electrodes 3 and the second set of electrodes 3' are integrated on one and the same disk, the tilt will be of the same magnitude for the set of electrodes 3' but it will have the opposite sign in the phase direction R-S-T-U and thus will give rise to an error curve according to Fig. 7b, which is the inverse of the error curve in Fig. 7a for the upper set of electrodes 3 in Fig. 4. The result on adding the two error curves in Fig. 7a and Fig. 7b will therefore be a straight line as is shown in Fig. 7c in the error diagram with a constant offset distance o to the abscissa.

In the event of a dynamic parallelism error, Fig. 10, between rotor and stator in the form of axial wobble of the rotating rotor disk 1 relative to its axis 6 of rotation, or in the event that one of the rotor or stator disks is subject to a faulty shape as is shown, heavily exaggerated, in Fig. 12, an additional set of stator disks 4'' and 4''', Fig. 8, displaced by 90° relative to the pair of disks 4 and 4', is required for a complete cancellation of the error.

One preferred embodiment, which is shown in Fig. 9, is to allow the stator electrodes 3 to surround 360° of the angle of rotation, whereby the number of phase groups R-S-T-U should be evenly divisible by two in order to obtain complete differential cancellation. Figs. 11 and 13 show how the distance d between (the stationary) rotor disk 1 and the stator disk 4 then varies around the perimeter of the rotor disk, a maximum distance at 0° to a minimum distance at 180° and then

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

15

back to the maximum at 360° . Since the stator disk encloses 360° , the mean value of the distance d between the rotor and the stator disk will be constant at all rotational positions of the rotor disk 1, and in this way the signal that is excited in the rotor disk will also have a constant amplitude, and thus the phase position will depend only on the displacement of the rotor electrodes relative to the stator electrodes without being influenced by the axial wobble or the faulty shape of the rotor disk 1.

10

General

In the general form of an axial wobble, the angles of both the rotor 1 and the stator 4 relative to the axis of rotation are not equal to 90° . This is shown in exaggerated form in Figs. 18 and 19. The rotor disk in Fig. 18 has an angular error α and the stator disk 4 has an angular error β relative to the common axis of rotation 6 of the system. The system then adopts the position shown in Fig. 18 at one angular position of the rotor disk relative to the stator disk. After the rotor disk has rotated by 180° , the system adopts the position shown in Fig. 19.

Figs. 20 and 21 show more schematically the system at the two extreme positions. The distance between the centre of rotation of the rotor disk and the equivalent point of the stator disk is denoted by " d ". The mean radius of the electrode systems of the rotor and of the stator is denoted by " r ". The angular error of the rotor relative to the centre of the axis of rotation is α and that of the stator is β .

30

The minimum distance between the rotor disk and the stator disk in Fig. 20 will then be $a = d - r(\sin\alpha + \sin\beta)$ and the maximum distance $b = d + r(\sin\alpha + \sin\beta)$. The mean value over

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

16

360° will be $(a + b)/2$, which is equal to "d", by replacing the values derived from the figure for "a" and "b".

The distance a between the rotor disk and the stator disk in
 5 Fig. 21 will be $a = d + r(\sin\alpha - \sin\beta)$ and the distance $b = d - r(-\sin\alpha + \sin\beta)$. The mean value over 360° will be $(a + b)/2$, which is equal to "d", by replacing the values derived from the figure for "a" and "b".

10 The description above shows that the mean distance between the electrode disks will be constant in the embodiment according to the invention, in the general case with angular errors in both the rotor and the stator disks.

15 Error type 6

Built-in separation errors can occur in the electrode geometries of the rotor and stator. These can arise, for example, from the optical masters that are used for manufacture of the rotor and stator disks. In the event of a systematic error in
 20 the separation between the rotor electrodes or the stator electrodes, the error position of the electrodes $electrode_1 - \dots - electrode_n$ increases as a monotone function. At the end of one complete revolution, an equally large error arises in the final separation between $electrode_n$ and $electrode_1$ as the
 25 error that has accumulated during the previous $n-1$ separations, although the sign is opposite, since the sum of all errors during one revolution must be equal to zero! Since the electrodes of both the rotor and the stator according to the preferred embodiment enclose the complete revolution of 360°,
 30 it will be realised that the geometrical error compensation also works in this case, with the result that the error sum in the signal that is excited in the rotor disk will be zero.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

17

Other errors arising from scaling geometry

The scaling geometry described in the Swedish patent 7714010-1 is based on the condition for the preferred embodiment, in which four supply phases are used, that the width of the stator electrodes is at most $1/4$ of the separation between the rotor electrodes. In general, if the number of supply phases used is Φ , the width of the stator electrodes will be a maximum of $1/\Phi$ of the separation of the rotor electrodes. In order to obtain a transmission characteristic between the stator and the rotor electrodes in the form of a sine wave, as is theoretically correct, however, not only should the stator electrode be sine-shaped, but it should also have a width that is half of the separation between the rotor electrodes in the preferred embodiment with four supply phases.

One way of achieving this is shown in Fig. 14. The arrangement of electrodes is shown for the sake of simplicity in linear form. The transmitter electrodes of the stator are arranged into two planes $r1$ and $r2$, vertically displaced in the figure. The rotor electrodes are then designed to be sufficiently long to enclose the stator electrodes in both planes in Fig. 14.

One disadvantage of this arrangement is that the circumference of the electrodes in the radial direction becomes larger. This requires a larger diameter of mounting and is a disadvantage when designing the angle transducer.

However, the greatest disadvantage of the arrangement is that the electrodes that are located at the higher mean radius $r2$ have an area that is larger than those that are located at the lower mean radius $r1$. A conversion in which both the transmission characteristic in the form of a sine wave and

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

18

the correct surface engagement function are fully maintained by choosing different heights of the electrodes is not completely possible. However, if such a conversion is carried out, the disadvantage arises, Fig. 14, that all electrodes with the complementary phases R and T, that is, 0° and 180° , are systematically located at the higher radius, while the two other phases S and U, 90° and 270° , are located at the lower radius r1. It is possible that this would give rise to a systematic periodic error in the transmission function between the stator and the rotor. Such an error can be eliminated by calibration in which the deviation is registered at regular intervals over one period of the rotor electrode by comparison with a more accurate system. This is stored in a suitable manner in a memory unit that is questioned during recording of the angular position from the transducer for the corrective term required at the current position.

The method described above, however, is both complicated and impractical. However, the invention comprises another method of arranging the electrodes in order to avoid such systematic errors as those described above.

Figs. 15, 16 and 17 demonstrate in stages how a complete cancellation pattern can be extracted from the system according to Fig. 14, without influencing the original surface engagement characteristic that is obtained according to the desired electrode pattern in Fig. 14.

Fig. 15 shows how five electrodes R-T-R-T-R (non-coloured) following the four first stator electrodes R-T-R-T (shown in grey) in the upper row are removed, after which four electrodes are again kept. Since five electrodes have been removed, the sequence of this group is different T-R-T-R. The

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

19

five electrodes T-R-T-R-T following this group are removed. The third group with phase supply R and T starts again with the same sequence as the first group R-T-R-T. Electrodes are removed in the same way from the lower row with phase supply
5 S and U. The electrodes that are coloured grey in Fig. 15 remain.

Fig. 16 shows how the R-T and S-U groups are displaced such that they are located at the same radius r.

10 The same pattern is repeated after 18 primary electrode separations each of $1/2$ of the rotor electrode separation. The secondary separation λ_2 in the set of stator electrodes will in this way equal $18 \times$ the primary stator separation, i.e. 9
15 rotor electrode separations. The number of secondary stator periods λ_2 should be an integer in order to achieve complete geometrical symmetry in the location of the electrodes. Since $\lambda_2 = 9$ rotor electrode separations, the number of rotor electrodes should thus be $n \times 9$, where n is a positive integer
20 greater than 1, in order to obtain a complete number of periods λ_2 per revolution.

The stator electrodes cannot be located as shown in Figs. 14-16 for practical reasons. For the best linearity of the signal that is excited in the electrodes of the rotor disk, each
25 electrode should cover exactly $1/2$ of a rotor electrode separation. The separate transmitter electrodes in the phase groups R-T and S-U would be mutually short-circuited if the location shown in the figures were used, since no gap is
30 allowed between the electrodes.

An acceptable insulation gap is formed around each electrode, while the ideal electrode width and separation are main-

WO 02/1081

PCT/SE01/01773

20

tained, by "turning" each other electrode through 180° in the way shown in Fig. 17. It will be realised without further explanation that the surface engagement function between the wedge-shaped radial segments that constitute the rotor electrodes 2 and the stator electrodes R-S-T-U will be different, since the electrodes are turned to have their broad side outwards and inwards, respectively. Furthermore, the centre of gravity of the electrodes that have their thinnest part pointing inwards towards the centre will lie at a higher radius than those for which the thinnest part is pointing outwards.

One advantage then is that the direction of the electrodes obtained by the method illustrated in Fig. 17 is permuted in such a manner that the electrodes in the first group that are oriented with their point facing inwards in the direction of the radius, the electrodes R, for example, in the electrode group a at the far left of Fig. 17, are directed in the opposite direction towards the centre of the radius in the next electrode group c that contains the same supply phases. The same effect occurs for the other phase electrodes S-T-U in the electrode groups b, c and d, in order thereafter to be repeated in the same pattern. In this way, complete differential cancellation is obtained of the individual errors to which the scaling geometry is subject.

The geometrical phase permutation described above is, naturally, not limited to the preferred embodiment with four supply phases, but can be adapted in an equivalent manner to other numbers of supply phases.

WO 02/1081

PCT/SE01/01773

21

Absolute Transducer

In order to determine the absolute angular position, a separate set of electrodes, directed in the radial direction and having the form of a sine wave, is used, located at a different radius than that of the "fine electrodes". One preferred embodiment is shown in Fig. 22 and includes four supply electrodes 3, supplied with electrical signals of the phases R-S-T-U, and located on the stator disk of the system. The four transmitter electrodes are, according to the intentions of the invention, distributed over 360° in order to achieve differential geometrical cancellation. Fig. 23 shows the single receiver electrode 2 that collects the signal from the stator electrodes and is located on the rotor disk.

The determination of the absolute value of the angle of rotation proceeds according to the following method, which is given in the form of an example:

The position can be determined using a certain evaluation technology in a measurement unit with a resolution of 1/2048th part of the separation between two rotor electrodes. With a rotor disk that comprises 126 rotor electrodes in one revolution, an angular resolution of $2048 \times 126 = 258,048$ separations per revolution is achieved, that is, approximately 12 seconds of arc. With a scale of the absolute transducer of one electrode per revolution, a resolution of 1/2048th part of a revolution is obtained. The absolute transducer is used to determine which of the 126 positions in the "fine" transducer is valid. Overlap thus exists between the "coarse" and the "fine" transducer when determining the "fine" position, which provides a redundancy of 1/126th part of a revolution, which is approximately 16 units in the coarse counter.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

22

The calculation by which the absolute value of the angle is calculated is, in principle, as follows:

Divide the value of the coarse counter by 16 in order to calculate within which of the 126 positions of the "fine" scale the value is to lie. Rounding to an integer, which must occur in accordance with certain principles, gives an integer, "p". Assume, furthermore, that the counter on the "fine" scale contains the number 1432, for example. An algorithm that, in principle, is as follows is used in order to obtain the absolute value of the total angle:

Total absolute angle = (p-1) * 2048 + the contents of the fine counter.

Assume that P = 27, in the example above:

Total absolute angle = (27-1) * 2048 + 1432 = 54,680 units of the fine counter.

Since one revolution $360^\circ = 258,048$ units of the fine counter, the current absolute angle is obtained from: $360/258,048 * 54,680 = 76.28348^\circ$.

For transducers with higher resolutions, for example, transducers in which the number of rotor electrodes = 1008, two or more absolute transducer fields with different resolutions can, where necessary, be placed onto the rotor and the stator disks.

For example, in the example above, one rotor electrode per revolution can be chosen for the "fine" transducer "1", and 24 rotor electrodes per revolution can be chosen for the "coarse" transducer "2". The "coarse" transducer "2" gives a

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

23

resolution of $24 * 2048 = 49,512$ steps/revolution. The redundancy will then be $49,512/1008 =$ approximately 49 steps of the coarse counter for each "fine" separation of the rotor.

5 **Electrical Differential Measurement**

The system description in all of the above cases has been directed towards demonstrating the function of the differential geometry that is characteristic of the invention. The system with transmitter electrodes 3 on the stator disk 4 and
10 receiver electrodes 2 on the rotor disk 1 has, for the sake of simplicity, been described in accordance with known technology according to Swedish patent 7714010-1 with variations of the embodiment according to the principles of the invention. This means that the supply electrodes 3 on the disk 4,
15 Fig. 1, interact with one single system of receiver electrodes 2 on the slider (the rotor electrode) 1. In one preferred embodiment of the invention, Fig. 24, two scales are used that are geometrically displaced relative to each other by one half of an electrode separation, while having the same
20 mean radius. As has been previously described, the supply phases R-S-T-U are phase-displaced relative to each other by 90° . One consequence of this is that the phase T is phase-displaced by 180° relative to R and U is in the same way displaced by 180° relative to S. When the two systems of
25 rotor electrodes are excited by the transmitter electrodes on the stator disk, which are common for the two electrode systems, this means that the signal in the electrodes 2' that lie displaced by one half of an electrode separation relative to the electrodes 2 will also lie displaced in phase by 180°
30 with respect to each other. One consequence of this is that the signals from the systems 2 and 2' of electrodes can be applied to the inputs of an electrical differential amplifier of known type. The two signals that are reflected in the

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

24

electrodes 2 and 2' are then summed to give twice the amplitude when compared with the single scale in Fig. 1.

The great advantage, however, lies on another plane: when
5 disturbing electrical pulses and fields are applied from outside these produce identically shaped disturbance pulses in both electrode systems and are eliminated through the CMR of the differential amplifier. Furthermore, the arrangement of electrodes contributes to further geometrical equalisation
10 of any errors that arise in that the mean value is formed over two separate electrode systems that are physically connected.

According to Swedish patent 7714010-1 and Fig. 1, the signals
15 that are received in the electrodes, etc., of the disk 1 are returned through a capacitive pathway to the supplying disk 4 via separate transmission electrodes. Furthermore, all receiver electrodes 2, 3, etc., are electrically insulated from each other. One or both of these embodiments can, according
20 to the invention, be applied on the device according to the invention. For example, it may be an advantage when measuring the angular position of a continuously rotating shaft to use capacitive feedback to the stator disk.

25 One major area of application for an angle transducer according to the invention is considered to be systems with angles of motion that are naturally limited, such as link arms in measuring or positioning systems, industrial robots, etc. In these cases, the subsequent differential amplifier and the
30 accompanying evaluation electronic circuits are connected directly to the electrode systems on the rotor disk. The complete electronic system can either be applied in the form of an integrated circuit to the rotor disk or the signal can

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

25

be taken via cable or optical fibre to integrated or discrete electronic circuits located elsewhere. A signal that is more free from noise and from distortions is obtained in that the signal is read directly from the rotor disk without going
5 through a capacitive transmission.

Other Practical Sources of Error

When using measurement or positioning systems containing one or more connected jointed arms, heavy demands are placed when
10 using traditional types of angle transducer on the bearings of the arms if the precision of the system at its working point is to be maintained. Poor precision in the bearings can lead to stochastic tilts of the type shown in Fig. 25, or to radial displacements as shown in Fig. 26. This leads to the
15 working point of the jointed arm system 11 being subject to a cosine error depending on the tilt illustrated in Fig. 25 and/or the radial and axial displacement illustrated in Fig. 26.

20 When using the invention described here, however, the effects of tilts of the rotor 1 relative to the stator 4, Fig. 25, or of purely radial displacements of the rotor relative to the stator, Fig. 26, are compensated and eliminated, with respect to the angle of rotation that is read off directly through
25 the special design of the pattern of electrodes 2 and 3 in Fig. 9. It is also a characteristic of the first part of the invention that cosine errors or radial displacements of the electrode systems can be neglected. However, when applied in a real system, the influence on the working point of the
30 system must also be considered. For complete control of the motion of the system at its working point, the system must also collect information concerning stochastic angular errors of the type shown in Fig. 25 and stochastic radial displace-

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

26

ments as shown in Fig. 26, together with stochastic axial displacements as shown in Figs. 25 and 26. These phenomena are usually denoted by one common term: "play".

5 According to the invention, one further system, Figs. 27 and 27a, is associated with the electrode systems. A circular transmitter electrode 13 is located on the stator disk 4. Receiver electrodes 14 and 15 are located on the rotor disk 1, and collect a signal from the transmitter electrode 13 by
10 capacitive transmission. The amplitude of the signal received at 14 and 15 depends on the relative positions between 14/15 and the supply electrode 13. The amplitudes in the electrodes 14 and 15 will be equally large in the symmetrical case. In
15 the event of displacement from the symmetrical position, the amplitude will increase in one of the electrodes 14, 15 and decrease in the other.

By placing at least three pairs of electrodes 14,15 distributed equally around the perimeter of the angle transducer,
20 the radial displacement of the jointed arm 11 can be calculated with the aid of suitable mathematical processing of the amplitude values from the electrodes 14 and 15.

In order to determine an erroneous angle setting according to
25 Fig. 25, a further system, Fig. 28, is associated with the electrode systems. A circular transmitter electrode 16 is located on the stator disk 4. At least three receiver electrodes 17 are located on the rotor disk 1, evenly distributed around the perimeter of the angle transducer. The radial
30 extent of the electrodes 17 is less than the radial extent of the electrodes 16 with the intention that the capacitive coupling of the electrode 17 with the electrode 16 is to remain uninfluenced at all possible radial displacements.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

27

The receiver electrodes 17 each collect a signal from the transmitter electrode 16 by capacitive transmission. The amplitude of the signal received at the electrodes 17 depends
5 on the distance between 17 and the transmitter electrode 16. The amplitudes in all electrodes 17 will be equally large in the symmetrical case. In the event of tilt of the jointed arm 11 as shown in Fig. 25, the signal amplitude at each electrode 17 will depend on the magnitude and direction of the
10 error. The angular error and the axial displacement of the jointed arm 11 can be calculated with the aid of appropriate mathematical processing of the amplitude values from the electrodes 17.

15 Fig. 29 shows one preferred embodiment. The transmitter electrodes 13 and 16 are located at the same radius in the preferred embodiment, and are constituted by one and the same electrode 18. The receiver electrodes 14, 15 and 17, are preferably located such that every second position around the
20 perimeter of the angle transducer is occupied by an electrode group 14, 15 and every second position by an electrode 17. This arrangement minimises the use of space in the radial direction.

25 In the case in which the radial space is of minor significance, it is an alternative to make the transmitter electrode 18 sufficiently broad that the electrodes 14, 15 and 17 can be distributed independently of each other around the perimeter of the angle transducer.

30

Rotor Electrodes

A complete rotor disk for use in an angle transducer according to the invention is shown in Fig. 30.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

28

One of the properties of capacitive measurement systems according to the Swedish patent 7714010-1 is that of directly and with high precision being able to determine the magnitude of a relative angular rotation that is less than the separation of the receiver electrodes, which in the example below is 1/81 parts of a revolution. On the other hand, no information is obtained about which of the receiver electrode separations (in the example this is which of the 81 possible separations) is the current one. The transducer is, therefore, equipped with a second angular measurement system with a receiver electrode separation of 360°, i.e. one complete revolution. This second system, known as the "coarse measurement system" only serves to determine which of the 81 receiver electrode separations in the example is the current one.

Fig. 30 shows the rotor disk 1, the receiver electrodes 2 and 2' and the inner receiver electrodes 2c and 2c' intended to receive signals from the coarse measurement system (Figs. 34 and 35).

The outer receiver electrodes 2 and 2' thus form, together with the corresponding electrodes 3 on the stator disk 4, the high resolution angular measurement system, while the inner receiver electrodes 2c and 2c' form, together with the corresponding electrodes 3' on the stator disk 4, the coarse measurement system, which determines the angular position within the revolution of 360°. Fig. 31 shows a section of the rotor disk at a higher scale.

The disk is coated with a conducting coating that is preferably constituted by a thin rolled copper foil. The black lines

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

29

show insulating lines that can be achieved by means of, for example, photolithographic etching.

The lines 19, 20 in Fig. 31, which form the polar lines of limitation for the receiver electrodes, are directed towards a centre that is common for all circular and polar elements that are present on the disk. The width of the electrodes is, therefore, preferably chosen such that the width of the electrodes is equal in size to the spacing between the electrodes. As Fig. 30 makes clear, and as can be seen in more detail in Fig. 31, a preferably thin strip 21 of conducting material is left behind above the upper limit of the electrodes 2. In this way, all electrodes 2 on the rotor disk will be in electrical contact in the form of parallel connection, which means that the very weak signal strength that is received in an individual rotor electrode is multiplied by a factor that principally depends on the number of rotor electrodes 2 on the disk.

In one possible embodiment, the angular separation between the rotor electrodes can be chosen such that 81 electrodes are present around one complete revolution, 360°.

In order to increase further the strength of the signal received, and, in particular, with the aim of reducing the sensitivity of the transducer for external sources of disturbance that produce alternating electrical fields that can be collected by the electrodes 2 of the rotor disk, the rotor disk is equipped with a second system of rotor electrodes 2', Figs. 30 and 31. The second set of electrodes 2' is created by the same line of electrical insulation as forms the first set of electrodes 2, and since the width of the electrodes has been preferably chosen such that the width of the elec-

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

30

trodes is equal to the size of the spacing between electrodes, the shape, area and width of the second set of electrodes 2' will be identical to those of the first set of electrodes 2.

5

This second set of electrodes 2' is also in electrical connection in the same way as the first set of electrodes 2 through a thin strip of conducting material 22 being left behind below the electrodes.

10

In one preferred embodiment, the signals produced in the electrode fields 2 and 2' are transferred via through-plated holes 23 and 24, Fig. 31, to arrangements present on the reverse side of the disk in order to be connected to electronic circuits for signal processing, such as the differential amplifier 7 in Fig. 24.

15

Fig. 32 is intended to explain the formation of differential signals in the sets of electrodes 2 and 2' on the rotor disk.

20

Both the rotor disk and the stator disk are shown as "X-ray" images in Fig. 32, in the position in which they are located in an assembled angle transducer. The rotor disk 1 with the arrays 2 and 2' of receiving rotor electrodes is thus shown with thin lines, while the stator disk 4, which is equipped with the "transmitting" heart-shaped stator electrodes R,S,T,U, is shown with thicker lines. The differential signal geometry can be most simply seen from the electrodes in Fig. 32 that are supplied with alternating voltage with the phases S and U.

25

30

Four supply signals R,S,T,U are used in the preferred system that is described here. These are displaced in phase relative

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

31

to each other according to the Swedish patent 7714010-1 as shown in the following pattern:

Supply Signal	R	S	T	U
Phase position, degrees	0°	90°	180°	270°

5 The table shows that the relative phase displacement between supply signals R and T is 180°. In the same way, the relative phase displacement between supply signals S and U is 180°.

Fig. 32 shows that at a certain position, all stator (transmitter) electrodes with phase S are located directly above the rotor electrodes 2 that are directed inwards towards the centre. At the same time, all stator electrodes with phase U are located directly above the rotor electrodes 2' that are directed outwards.

15 As has been described above, the two sets of rotor electrodes are displaced geometrically by 1/2 of a rotor electrode separation relative to each other. Since the transmitter electrodes S and U are supplied with voltages that are equal in magnitude and displaced in phase by 180° relative to each other, the signals received in the rotor electrodes 2 and 2' will be equal in magnitude but of opposite sign. This is illustrated in principle in Fig. 33. The two diagrams show how the amplitude U of the signal received by the receiver electrodes 2 and 2' of the rotor varies with a relative change of angle α between the rotor and the stator.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

32

The upper diagram shows in principle the amplitude of the signal that is produced in the rotor electrodes 2, while the lower diagram shows the equivalent for the signal that is produced in the rotor electrodes 2'. As the diagram makes
5 clear, the signals that are received from the set 2' of electrodes constitute a mirror image of the signal in the set 2 of electrodes. This means that it is highly appropriate to apply the two signals each to one input of a differential amplifier 7 as is shown in Fig. 24. In this way, the effect
10 is achieved that the two signals are added, and the resulting output signal from the amplifier has an amplitude that is twice as large. Furthermore, the influence of disturbing signals produced in the receiver electrodes 2 and 2' due to external electrical alternating fields is in this way reduced
15 using the property of the differential amplifier that depresses signals on its inputs that have the same phase (Common Mode Rejection).

Stator Electrodes

20 The stator disk that interacts with the rotor disk and that contains the stator (transmitter) electrodes is shown in Fig. 34. The electrodes are circularly arranged on this disk according to the principle shown in Fig. 17 and the description that is associated with it. Fig. 34 shows the stator disk 4
25 on whose surface the transmitter electrodes 3 and the transmitter electrodes 3' of the coarse measuring system are located. The stator disk is manufactured in a similar manner as that described for the rotor disk. Fig. 35 shows a section of the stator disk at a higher scale. Fig. 35 also shows that
30 the permuted geometrical positions of the transmitter electrodes follow the principles described in the above-mentioned patent and it shows the phase positions of the supply signals

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

33

for a complete electrode group. One revolution of the angle transducer must constitute an integer number of such groups.

Explanation of the Permutation

5 The transmitter electrodes for a capacitive system of the principle described here, 4-phase, must satisfy the condition that the separation between these electrodes must be equal to (the separation of the rotor (receiver) electrodes)/ Φ , i.e. in this case it must be equal to (the separation of the rotor
10 (receiver) electrodes)/4. This means in the example that the separation of the transmitter electrodes must be $1/81 * 1/4$, i.e. $1/324$ parts of a revolution.

This gives the electrode configuration shown in Fig. 14.
15 However, this configuration is not suitable for application in an angle transducer, for several reasons. The most important of these is that the configuration shown in Fig. 14 has a considerable extent in the vertical direction, that is, for application onto the stator disk in the radial direction.
20 This means that the area of those electrodes whose centre of gravity is located at the lower radius r_1 is less than the area of those electrodes that are located at the higher radius r_2 , since, even though the electrodes at the lower radius do have the same angular distribution as the electrodes
25 at the higher radius, they include a smaller length of arc than these. It is possible in theory to compensate for this by compensating the geometry for the electrodes at the lower radius such that the area and the area engagement function become the same as they are for the electrodes at the higher
30 radius. The disadvantage of such a method is the palpable risk of introducing in this way a systematic symmetry error since, as Fig. 14 makes clear, all electrodes at the lower radius r_1 are supplied with alternating voltage of phase S or

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

34

U while all electrodes at the higher radius r_2 are supplied with alternating voltage of phase R or T.

It would also conflict with the basic philosophy of this patent, which states that all signal transmission from the transmitting stator disk to the receiving rotor disk is to be arranged in such a manner that differential error correction is achieved. In order to achieve this, complete symmetry in the location of the electrodes is required, in such a manner that any errors that arise, such as deviations in the radius, deviations in the area, deviations in the engagement geometry, or crosstalk between parasitic capacitances, etc., are represented to equal degrees on each one of the sets of phase electrodes R,S,T,U. One example of this symmetry is shown in Figs. 34 and 35, and in Fig. 17. As is shown in the figures, the electrodes are arranged such that the narrowest part is directed not only inwards towards the centre of rotation, but also outwards away from the centre of rotation. Although all electrodes have the same area and lie at the same radius, the high sensitivity of the system means that somewhat different signals may still be transmitted to the receiver electrodes of the rotor disk, depending on the direction in which the stator electrode faces. Such errors may arise due to, for example, small errors in the geometry of the stator electrodes or due to phase crosstalk. The fundamental rule of the patent concerning differential symmetry thus means that the transmitter electrodes of the stator are arranged such that equal numbers of inward-facing and outward-facing electrodes are present within each phase supply group R,S,T,U. Furthermore, the groups R,S,T,U also contain equal numbers of inward-facing and outward-facing electrodes relative to each other.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

35

In order to change the configuration of the electrodes, it is possible, without influencing the signal transmission function in any other way than a reduction in the total signal amplitude, to remove a freely chosen number of transmitter electrodes R,S,T,U in order to achieve a thinning out of the electrode field.

Figs. 38 and 39 explain in more detail how the permutation shown in Figs. 14 to 17 is possible, and how the separation of the transmitter electrodes can be modified, despite the condition laid down in the Swedish patent 7714010-1 that the separation of transmitters must be "(the separation of the receiver electrodes)/ Φ , where Φ = the number of supply phases", while still maintaining the condition laid down in the said patent. As has been mentioned at the beginning of this section, the transmitter electrodes are to be geometrically situated such that the first phase electrode R, at a certain possible start position, is located directly above a receiver electrode 2 on the rotor disk, Fig. 38. In this condition, the next phase electrode S is to be displaced by 1/4 of the separation of the receiver electrodes, and is thus only halfway located above the same receiver electrode 2. The phase electrode T that follows is to be displaced by $2 * 1/4$, i.e. 1/2 of the separation of the receiver electrodes and is located directly above the space between the receiver electrodes 2, that is, directly above the receiver electrode 2'. In the same way, U is displaced by 3/4 of the separation of the receiver electrodes.

The transmitter electrodes in the group R,S,T,U have in Figs. 14 and 38 been displaced by 0, 1/4, 1/2 and 3/4 of the separation of the receiver electrodes relative to one and the same receiver electrode. However, it is not necessary for the

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

36

signal transmission function that the displacement is made relative to one and the same receiver electrode.

When all receiver electrodes 2 are electrically connected, the same function is obtained if, Fig. 39, R is assumed to lie, as previously, directly above receiver electrode number 1, while the transmitter electrode with phase S is located $1 + 1/4$ separations of a receiver electrode away from it. In this case the transmitter electrode is located halfway above the next receiver electrode 2. But the electrode T is located with a displacement of $2 + 2/4$, and U with a displacement of $3 + 3/4$ separations of a receiver electrode. In this case, the actual separation of transmitter electrodes thus obtained will be $1 + 1/4$ times the separation of the receiver electrodes, while the functional separation of transmitter electrodes, that is, their displacement relative to the receiver electrode, will remain at $1/4$, $2/4$ and $3/4$ times the separation of the receiver electrodes, respectively.

The procedure above gives a transmitter electrode field that is correct with respect to signal production, but is heavily "thinned out", and in which the number of transmitter electrodes is fewer than the number of receiver electrodes of the rotor (by a factor of 1.25). It will be realised through the example above that the transmitter electrodes R,S,T,U can be grouped and moved in a manner that is essentially arbitrary, as long as the following basic rules are followed:

1. The transmitter electrode must maintain its defined geometrical displacement of 0, $1/4$, $2/4$ or $3/4$ separations of a receiver electrode relative to an arbitrarily selected receiver electrode position.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

37

2. The stator must contain equal numbers of transmitter electrodes of each phase.

3. The geometrical symmetry must be maintained, or it must be
5 created by permutation, for example, by arranging equal numbers of outward-facing electrodes and inward-facing electrodes.

A thinning out of the electrode field as has been described
10 above can be carried out in a large number of ways. Figs. 14-17 show one method of thinning out that is preferred in this description.

Thus, by permutation of the phase supply electrodes of the
15 stator as is shown in Fig. 17, the primary functional separation of 1/4 of a rotor electrode separation between subsequent phase supply electrodes R,S,T,U is maintained.

This is illustrated in Fig. 32 in which, in the position
20 shown, transmitter electrode R is located halfway over a receiver electrode 2' and halfway over a receiver electrode 2. Transmitter electrode S is located directly over a receiver electrode 2 and is in this way displaced in function by 1/4 of the separation of the receiver electrodes relative
25 to electrode R. The next electrode, T, is located halfway over a receiver electrode 2 and halfway over a receiver electrode 2', and is thus displaced by 1/2 of the separation of the receiver electrodes relative to the electrode R and by 1/4 of the separation of the receiver electrodes relative to
30 the electrode S. It can be demonstrated in this way that all electrodes are still functionally distributed with a separation that is 1/4 of the separation of the receiver electrodes relative to one of the receiver electrodes. However, this

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

38

distribution is not relative to one and the same electrode, as is the case in Fig. 14. On the other hand, this has no significance since, as has been described above, all receiver electrodes are electrically connected.

5

Supplementation of the system with means for measuring the magnitude of radial and axial play in the mechanical system of which the angle transducer is part

10 Although the angle transducer executed according to the invention eliminates errors in specification of angles that arise from shortcomings in the bearings of the machine element onto which the transducer is mounted, positioning accuracy is still influenced mechanically and geometrically in
15 the overall system by play and wobble in its bearings. Even if the angular position has been correctly read by the angular measurement system, errors can still arise through play in the mechanical system of the type shown in Figs. 25 and 26.

20

Such errors can be measured and compensated for in real-time by adding a further electrode system. Such an electrode system is described on pages 23-25 and exemplified in Figs. 27, 28 and 29, where Figs. 27 and 28 individually demonstrate how
25 radial wobble and axial displacement are measured, respectively. Fig. 29 shows how these two systems can be combined into one common system.

The fact that the output signals from each individual disk
30 14, 15 in Figs. 27 and 29 are connected to an electronic unit should be added to the original description of this function. The electronic unit can instantaneously determine the magni-

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

39

tude and direction of any radial wobble present by measuring the amplitudes present at the six plates 14, 15.

Each individual plate 17 in Figs. 28 and 29 is, in the same way, connected to an electronic unit that can instantaneously determine the magnitude of the axial displacement and also its angle, if any, according to Fig. 25.

Fig. 36 shows a complete rotor disk equipped with electrodes for measuring play. 14 and 15 are the electrodes for the measurement of radial play that have been previously described, and 17 are the electrodes for measuring axial play. The line given in dash-dot symbols shows how the signal measurement electrode 16 located on the stator disk interacts with the electrodes 14, 15 and 17.

Fig. 37 shows a complete stator disk equipped with electrodes for measuring play whereby the element added for measuring play is the signal measurement electrode 16.

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

40

Claims

1. An angle transducer comprising a first disk, the rotor (1), with circularly arranged and radially directed receiver electrodes (2) and a second disk, the stator (4), equipped with circularly arranged and radially directed transmitter electrodes (3) arranged at the same radius as the receiver electrodes (2) and with a fixed separation between the receiver electrodes (2) and the transmitter electrodes (3) on the two disks (1,4), whereby the disks (1,4) are arranged coaxially and rotatable relative to each other, and the disks (1, 4) are further separated by a thin air-gap that makes possible a capacitive or an inductive coupling between the electrode systems (2, 3) on the rotor disk (1) and the stator disk (4), whereby the transmitter electrodes (3) are each supplied with an alternating voltage with different phases for neighbouring electrodes, whereby the number of supply phases, Φ , is greater than two, and the separation of transmitter electrodes = the separation of receiver electrodes/ Φ , characterised in that the transmitter electrodes (3) of the stator (4) are geometrically arranged such that errors in their geometry relative to the geometry of the receiver electrodes (2) produce equal but opposite error signals in the receiver electrodes (2) of the rotor (1).
2. The angle transducer according to claim 1, characterised in that n receiver electrodes (2) are evenly distributed over the complete perimeter of the rotor (1), whereby n is an integer, and that $n * \Phi$ transmitter electrodes (3) are evenly distributed over the complete perimeter of the stator (4).

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

41

3. The angle transducer according to claim 2, characterised in that the transmitter electrodes (3) are divided into groups, where each group comprises at least Φ electrodes each supplied by its alternating voltage of different phase, whereby the stator (4) comprises at least three such groups of transmitter electrodes.

4. The angle transducer according to claim 2 or 3, characterised in that the number of rotor electrodes (2) is chosen such that $n = z \cdot (2\Phi + 1)$, where z is an integer greater than or equal to one.

5. The angle transducer according to any one of claims 2-4, characterised in that n is evenly divisible by two.

6. The angle transducer according to any one of the preceding claims, characterised in that the order of the phases in the electrodes (3) of the stator (4) is subject to a geometrical continuous permutation in order to add a secondary division of the stator period with a magnitude of $(2\Phi + 1)$ * the separation of the rotor electrodes (Fig. 17).

7. The angle transducer according to any one of the preceding claims, characterised in that the rotor disk (1) and the stator disk (4) comprise a second system of electrodes in order to measure directly the angular position of the rotor disk (1) within one complete revolution of 360° (Fig. 22,23).

8. The angle transducer according to any one of the preceding claims, characterised in that it further comprises a special system of electrodes (13-17) to measure the

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

42

motions of an included mechanical part that arise from play in the system.

9. The angle transducer according to claim 8, characterised in that the motion is stochastic motion in the radial direction.

10. The angle transducer according to claim 9, characterised in that the special system of electrodes comprises electrodes (17;16) integrated in the rotor and stator disks (1;4) that are excited by a transmitter electrode (16) on the stator disk.

11. The angle transducer according to any one of claims 8-10, characterised in that the motion is motion in the axial direction..

12. The angle transducer according to claim 11, characterised in that the special system of electrodes comprises electrodes (14,15;13) that are integrated in the rotor and stator disks (1;4) and that are excited by a transmitter electrode (13) on the stator disk.

13. The angle transducer according to claims 10 and 12, characterised in that the transmitter electrode is a common transmitter electrode (18).

14. The angle transducer according to any one of claims 8-13, characterised in that the motion is an angular twist relative to an incorporated stationary part (10).

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

1 / 15

Fig. 1

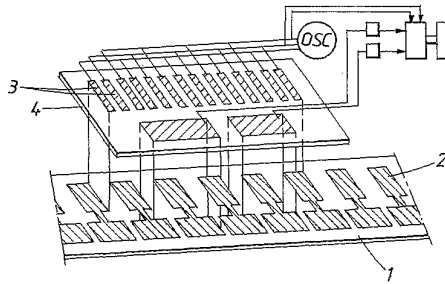
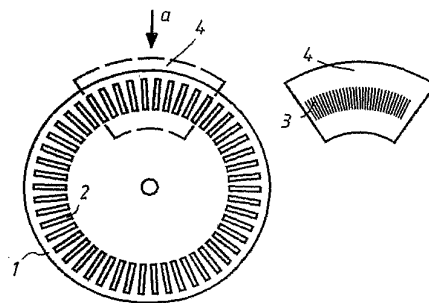


Fig. 2

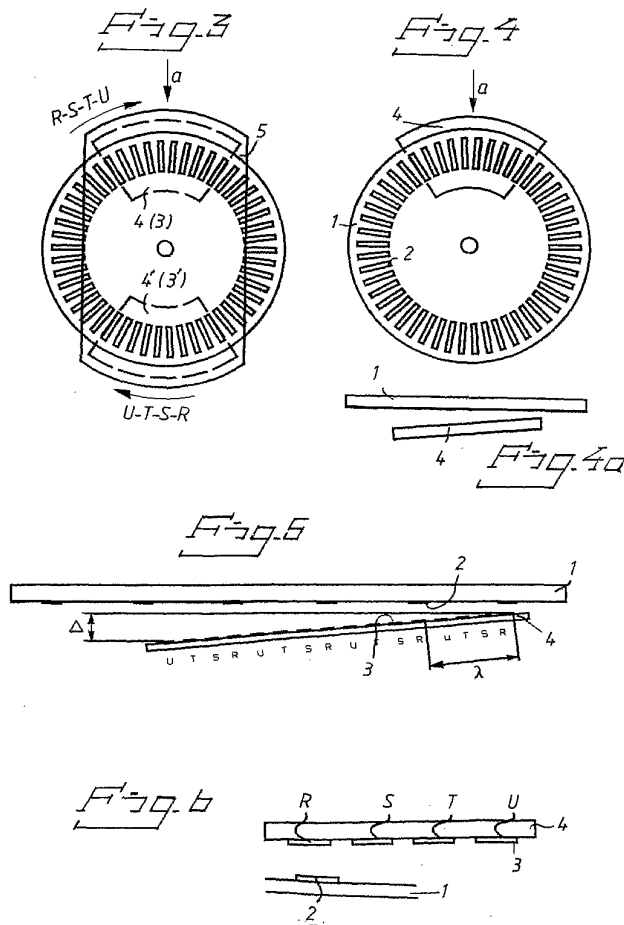


SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

2/15



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

3 / 15

Fig. 7a



Fig. 7b

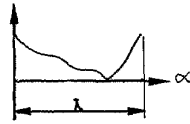


Fig. 7c

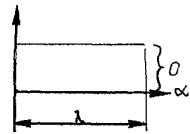


Fig. 8

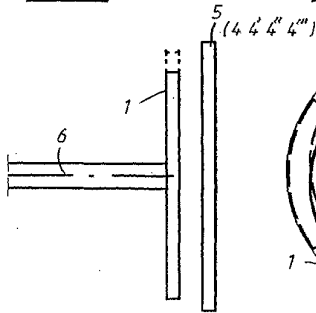
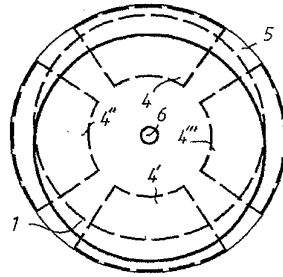


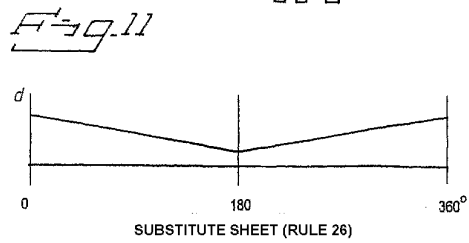
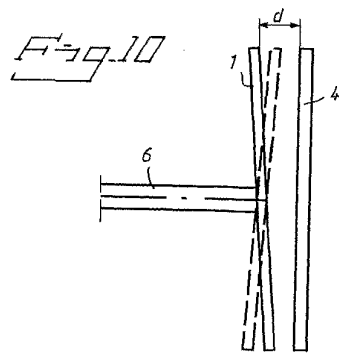
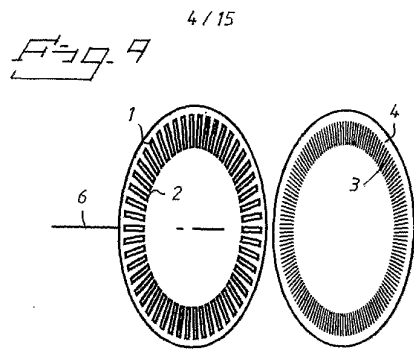
Fig. 8a



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773



WO 02/21081

PCT/SE01/01773

5 / 15

Fig. 12

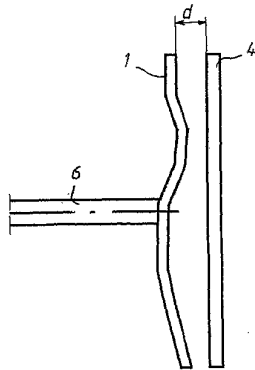
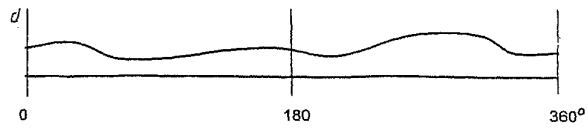


Fig. 13

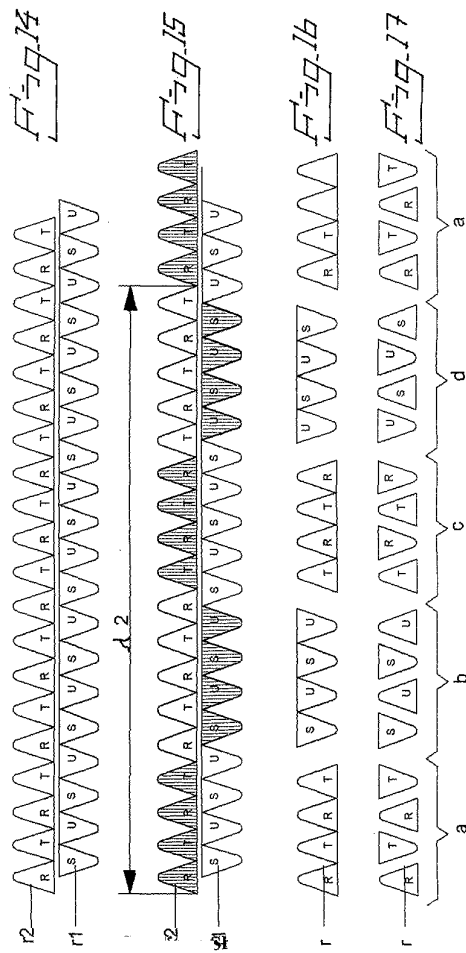


SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

6/15



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

7/15

Fig. 18

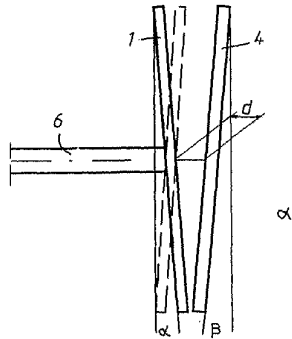
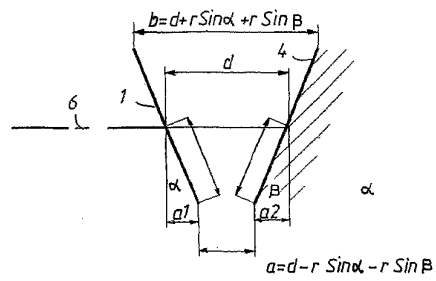


Fig. 20



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

8 / 15

Fig. 19

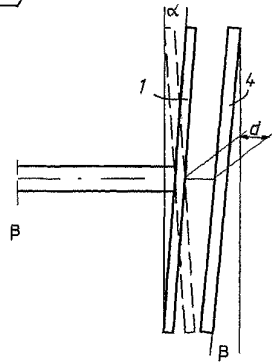
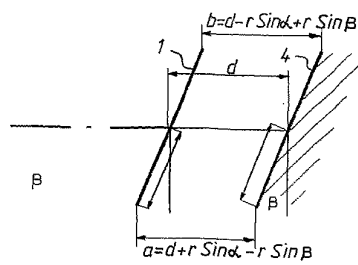


Fig. 21



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

9 / 15

Fig. 22

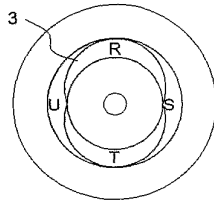


Fig. 23

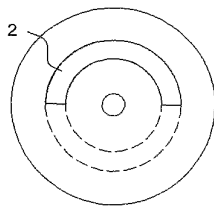
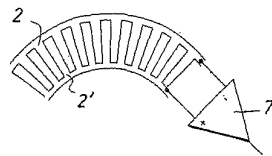


Fig. 24



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

10 / 15

Fig. 25

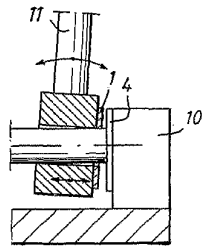


Fig. 26

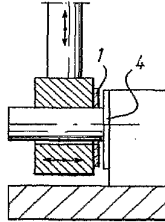


Fig. 27

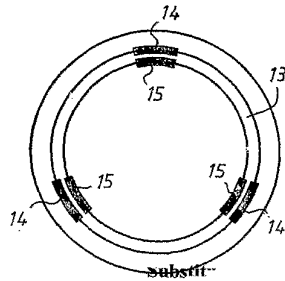
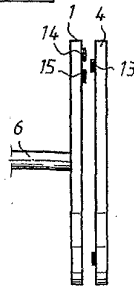


Fig. 27a



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

11/15

Fig. 28

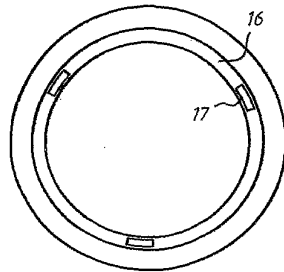
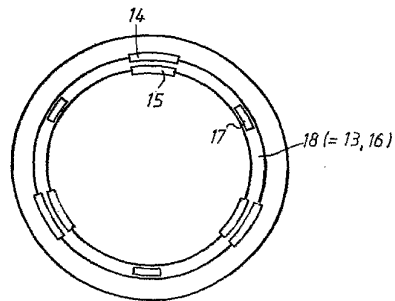


Fig. 29



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

12 / 15

Fig. 30

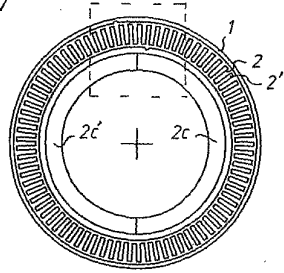


Fig. 31

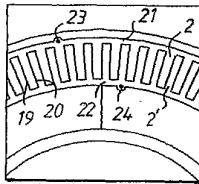


Fig. 32

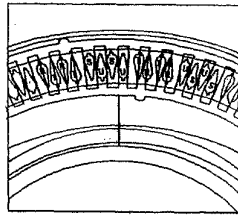
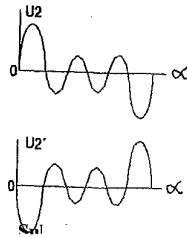


Fig. 33



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

Fig. 34

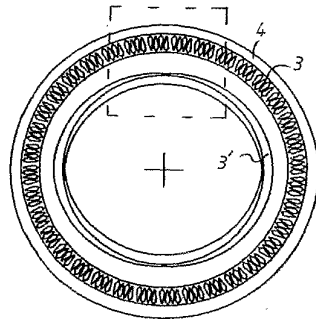
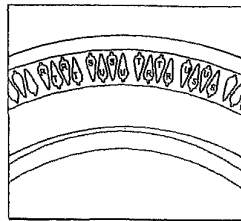


Fig. 35



WO 02/21081

PCT/SE01/01773

14 / 15

Fig. 36

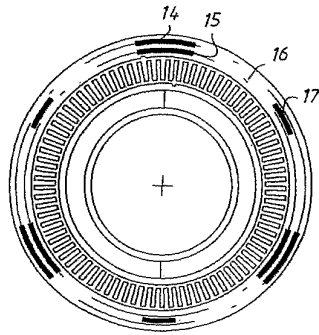
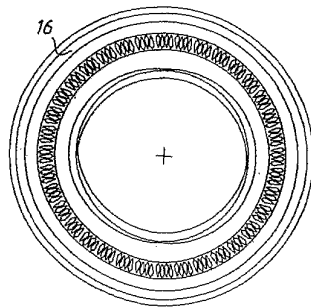


Fig. 37

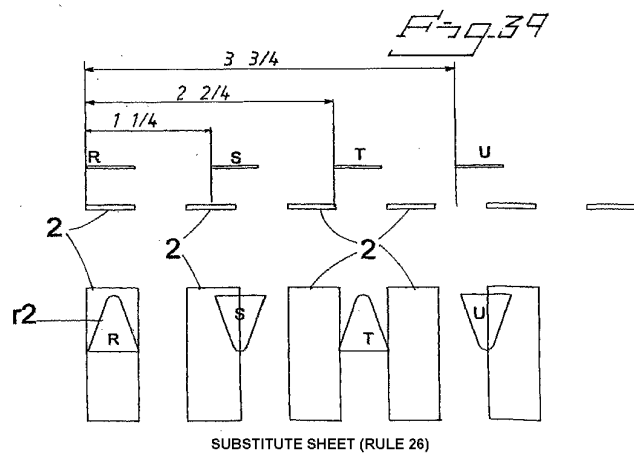
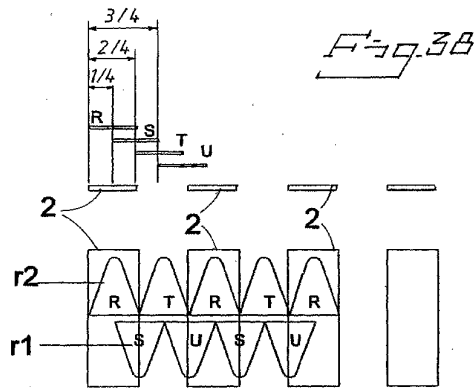


SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/21081

PCT/SE01/01773

15 / 15



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/SE 01/01773
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC7: G01D 5/20, G01D 5/24 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC7: G01D, G01B, G08C, B25J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
SE,DK,FI,NO classes as above		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4839646 A (G.TYSON), 13 June 1989 (13.06.89), column 4, line 21 - line 68; column 5, line 1 - line 19; column 5, line 32 - line 35, col 8, li.23-36, fig 1,3,7 --	1-14
A	GB 2118720 A (ROGER CHARLES HEY SIDLEY), 2 November 1983 (02.11.83), page 2, line 8 - line 61; page 3, line 20 - line 27; page 4, line 42 - line 50, figures 1,4 --	1-14
A	EP 0270440 A1 (THOMSON-CSF), 8 June 1988 (08.06.88), see the whole document -- -----	1-14
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ 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 application or patent 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
22 November 2001		03 -12- 2001
Name and mailing address of the ISA/ Swedish Patent Office Box 5055, S-102 42 STOCKHOLM Facsimile No. +46 8 666 02 86		Authorized officer Ender Dag / itw Telephone No. +46 8 782 25 00

INTERNATIONAL SEARCH REPORT Information on patent family members				International application No. PCT/SE 01/01773	
Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US	4839646 A	13/06/89	AU	595587 B	05/04/90
			AU	6971487 A	03/09/87
			DE	3727790 A	02/03/89
			GB	2206412 A,B	05/01/89
			GB	8715232 D	00/00/00
GB	2118720 A	02/11/83	GB	8303296 D	00/00/00
EP	0270440 A1	08/06/88	DE	3767681 D	00/00/00
			FR	2607246 A,B	27/05/88

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZW

(72)発明者 ペテルソン、ボー

スウェーデン国 トルシェーラ、ホルムトルプスヴェーゲン 5

(72)発明者 グスタフソン、カール - エリク

スウェーデン国 エスキルスツナ、レクトルスヴェーゲン 19

Fターム(参考) 2F077 AA46 CC02 NN02 NN05 NN14 PP01 TT01 VV01 VV21