(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6989259号
(P6989259)
(45)発行日　令和4年1月5日(2022.1.5)　(24)登録日　令和3年12月6日(2021.12.6)

(51)Int.Cl.　F I
H02K 3/26 (2006.01)　H02K 3/26 E

請求項の数 7　(全 16 頁)

(21)出願番号　特願2016-522524(P2016-522524)
(86)(22)出願日　平成26年6月27日(2014.6.27)
(65)公表番号　特表2016-525860(P2016-525860A)
(43)公表日　平成28年8月25日(2016.8.25)
(86)国際出願番号　PCT/EP2014/063640
(87)国際公開番号　WO2014/207174
(87)国際公開日　平成26年12月31日(2014.12.31)
審査請求日　平成29年5月24日(2017.5.24)
審判番号　不服2019-9075(P2019-9075/J1)
審判請求日　令和1年7月5日(2019.7.5)
(31)優先権主張番号　13173946.8
(32)優先日　平成25年6月27日(2013.6.27)
(33)優先権主張国・地域又は機関
欧州特許庁(EP)

(73)特許権者　515351138
ユニヴェルシテ　カトリック　ド　ルヴァン
Ｕｎｉｖｅｒｓｉｔｅ　Ｃａｔｈｏｌｉｑｕｅ　ｄｅ　Ｌｏｕｖａｉｎ
ベルギー王国　ベ－１３４８　ルーヴァン　ラ　ヌーヴ，パレス　ド　ユニヴェルシテ　１
(74)代理人　110001302
特許業務法人北青山インターナショナル
(72)発明者　デーヘ，ブルーノ
ベルギー王国　ベ－５３１０，リエルニュ，ルート　ド　ペルヴェ　１１８

最終頁に続く

(54)【発明の名称】回転電気機械の巻線およびそのような巻線を設計する方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
回転電気機械（１）の巻線（４０）であって、前記機械が、インダクタ（２０）であって、永久磁石またはＤＣ電流が供給されるコイルであり、回転軸に垂直な方向に磁界を生成するインダクタ、鉄芯（５０）、およびこれらの間の空隙（３０）を含み、前記巻線（４０）が、基板の第１の表面に複数の導体（６０）および第２の表面に複数の導体（６１）を有する可撓性ＰＣＢ（４５）を含み、前記導体（６０、６１）が前記ＰＣＢ（４５）に印刷されたトラックであり、前記第１の表面の導体（６０）が、ターン（７０、８０）を形成すべくビア孔（４３）を介して前記第２の表面の導体（６１）に接続され、前記ＰＣＢ（４５）が、平らな構成のときに高さおよび長さを有し、前記ＰＣＢが長方形であり、前記導体（６０、６１）が前記長方形に含まれ、１層以上となるように前記ＰＣＢ（４５）が前記長さ方向に１回以上丸く巻かれていて、軸方向に前記空隙（３０）内へ挿入されるよう構成されている、巻線（４０）において、
前記ＰＣＢ（４５）が平らな構成のときに、導体（６０、６１）が、前記可撓性ＰＣＢ（４５）の高さの底縁部から前記ＰＣＢ（４５）の高さの上縁部まで延在して、連続的な曲線または３より大きいｎ個の直線区間を有する形状であり、前記ｎには、（ｉ）電流入力端子、（ｉｉ）電流出力端子、および（ｉｉｉ）前記ＰＣＢの頂部または底部で、前記第１の表面の導体（６０）と前記第２の表面の導体（６１）とが交差する位置よりも上または下において、前記ターンを形成する導体接続部、が含まれず、
対称軸が前記長方形の長さに沿った前記長方形の中央の高さの線であり、各導体がそれ

ぞれ前記対称軸に対して線対称な形状を有し、
コイルを形成すべく複数のターンが電気的に直列に接続されており、
前記ＰＣＢ（４５）が平らな構成のときに、前記複数のターンがｔ個のターンであり、前記第１の表面の導体（６０）が前記ＰＣＢ（４５）の長さ方向に１からｔまで付番され、前記第２の表面の導体（６１）も前記ＰＣＢ（４５）の長さ方向に１からｔまで付番され、前記第１の表面の導体ｉが前記ビア孔（４３）と前記ＰＣＢ（４５）の長さ方向に延在するトラック（６５）を介して前記第２の表面の導体ｔ－ｉに接続される場合に、前記ビア孔（４３）と前記トラック（６５）の位置がｉ＝１からｉ＝ｔ－１の順序に、前記ＰＣＢの上端から下端の方に高さが低くなっていき、第１の表面の導体ｔは電流出力端子に接続されており、前記第１の表面の導体ｉが前記ビア孔（４３）と前記ＰＣＢ（４５）の前記長さ方向に延在するトラック（６５）を介して前記第２の表面の導体ｔ－ｉ＋１に接続される場合に、前記ビア孔（４３）と前記トラック（６５）の位置がｉ＝１からｉ＝ｔの順序に、前記ＰＣＢの下端から上端の方に高さが高くなっていき、第２の表面の導体ｔは電流入力端子に接続されていることを特徴とする巻線。

【請求項２】
請求項１に記載の巻線（４０）において、前記導体（６０、６１）が、１の導体（６０、６１）と隣接する導体（６０、６１）との間の間隙が前記導体（６０、６１）の長さにわたって所定の一定の距離を有するように可変的な幅を有することを特徴とする巻線（４０）。

【請求項３】
請求項１または２に記載の巻線（４０）において、前記導体（６０、６１）が、ｎ個の直線区間にわたって延在し、ｎが６より大きく且つ１００以下であることを特徴とする巻線（４０）。

【請求項４】
回転電気機械（１）の巻線（４０）であって、前記機械が、インダクタ（２０）であって、永久磁石またはＤＣ電流が供給されるコイルであり、回転軸に垂直な方向に磁界を生成するインダクタ、鉄芯（５０）、およびこれらの間の空隙（３０）を含み、前記巻線（４０）が、基板の第１の表面に複数の導体（６０）および第２の表面に複数の導体（６１）を有する可撓性ＰＣＢ（４５）を含み、前記導体（６０、６１）が前記ＰＣＢ（４５）に印刷されたトラックであり、前記第１の表面の導体（６０）が、ターン（７０、８０）を形成すべくビア孔（４３）を介して前記第２の表面の導体（６１）に接続され、前記ＰＣＢ（４５）が、平らな構成のときに高さおよび長さを有し、前記ＰＣＢが長方形であり、前記導体（６０、６１）が前記長方形に含まれ、１層以上となるように前記ＰＣＢ（４５）が前記長さ方向に１回以上丸く巻かれていて、軸方向に前記空隙（３０）内へ挿入されるよう構成されている、巻線（４０）において、
前記ＰＣＢ（４５）が平らな構成のときに、導体（６０、６１）が、前記可撓性ＰＣＢ（４５）の高さの底縁部から前記ＰＣＢ（４５）の高さの上縁部まで延在して、連続的な曲線または３より大きいｎ個の直線区間を有する形状であり、前記ｎには、（ｉ）電流入力端子、（ｉｉ）電流出力端子、および（ｉｉｉ）前記ＰＣＢの頂部または底部で、前記第１の表面の導体（６０）と前記第２の表面の導体（６１）とが交差する位置よりも上または下において、前記ターンを形成する導体接続部、が含まれず、
各導体がそれぞれ点対称な形状を有し、点対象の中心が前記ＰＣＢ（４５）の中央の高さにあり、
連続する第１の表面の導体（６０）と第２の表面の導体（６１）の複数のターンが直列に接続されて、ターンの列を形成し、
前記ＰＣＢ（４５）が平らな構成のときに、複数のターンが前記ＰＣＢ（４５）の長さの方向に間隔を空けて連続して配置され、前記複数のターンがｔ個のターンであり、隣接する導体が前記第１および第２の表面の両方で前記ＰＣＢ（４５）の長さの方向に１からｔまで付番され、前記第１の表面の導体１～ｔが、前記ビア孔（４３）と前記ＰＣＢ（４５）の長さ方向に延在するｔ個のトラック（６５）を介して前記第２の表面の導体ｔ～１

に、１からｔの順序で、前記ＰＣＢの上端から下端の方に高さが低くなっていって各々接続され、および前記第２の表面の導体１～ｔが、前記ビア孔（４３）と前記ＰＣＢ（４５）の長さ方向に延在するトラック（６５）を介して前記第１の表面の導体ｔ～１に、１からｔの順序で、前記ＰＣＢの下端から上端の方に高さが高くなっていって、各々接続され、

例外として前記ターンの列の一部において、

前記第１の表面の導体１～ｔ－１が、前記ビア孔（４３）と前記ＰＣＢ（４５）の長さの方向に延在するｔ－１個のトラック（６５）を介して前記第２の表面の導体ｔ－１～１に、１からｔ－１の順序で、前記ＰＣＢの上端から下端に高さが低くなっていって各々接続され、第１の表面の導体ｔは電流出力端子に接続されており、第２の表面の導体ｔは電流入力端子に接続されていることを特徴とする巻線。

【請求項５】

請求項１または４に記載の巻線において、前記ＰＣＢ（４５）の長さ方向に延在する前記トラックが、前記ＰＣＢ（４５）の前記第１および前記第２の表面の両方に位置することを特徴とする巻線。

【請求項６】

請求項５に記載の巻線において、複数のビア孔（４３）が前記ＰＣＢ（４５）の前記第１および第２の表面で前記対応するトラックを接続することを特徴とする巻線。

【請求項７】

回転電気機械（１）の巻線（４０）を設計する方法において、前記機械がインダクタ（２０）であって、永久磁石またはＤＣ電流が供給されるコイルであり、回転軸に垂直な方向に磁界を生成するインダクタ、鉄芯（５０）、およびこれらの間の空隙（３０）を含み、前記巻線（４０）が、第１の表面に複数の導体（６０）および第２の表面に複数の導体（６１）を有する可撓性ＰＣＢ（４５）を含み、前記導体（６０、６１）が前記ＰＣＢ（４５）に印刷されたトラックであり、前記第１の表面の導体（６０）が、ターンを形成すべくビア孔（４３）を介して前記第２の表面の導体（６１）に接続され、前記ＰＣＢ（４５）が、平らな構成のときに高さおよび長さを有し、１層以上となるように前記ＰＣＢ（４５）が前記長さ方向に１回以上丸く巻かれていて、軸方向に前記空隙内へ挿入されるよう構成されており、

前記ＰＣＢ（４５）が平らな構成のときに、導体（６０、６１）が、前記可撓性ＰＣＢ（４５）の高さの底縁部から前記ＰＣＢ（４５）の高さの上縁部まで延在して、連続的な曲線または３より大きいｎ個の直線区間を有し、前記ｎには、（ｉ）電流入力端子、（ｉｉ）電流出力端子、および（ｉｉｉ）前記ＰＣＢの頂部または底部で、前記第１の表面の導体（６０）と前記第２の表面の導体（６１）とが交差する位置よりも上または下において、前記ターンを形成する導体接続部、が含まれず、１の導体とこれに隣接する導体の間隙が、前記導体の長さにわたって所定の一定の距離を有し、

前記方法が、

前記連続的な曲線または３より大きいｎ個の直線区間を有する導体の形状を決定するために、

ａ）前記導体の形状に依存して前記回転電気機械のトルク定数k_Tを決定するステップと、

ｂ）前記導体の前記形状に依存して前記巻線の相抵抗R_{ph}を決定するステップと、

ｃ）前記導体の最適形状を得るために、以下の比

$$k_p = \frac{k_T}{\sqrt{R_{ph}}},$$

、である目的関数を最適化するために前記導体の形状を変化させるステップと、を含むこ

とを特徴とする方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、回転電気機械の巻線に関し、機械はインダクタ、鉄芯、およびこれらの間の空隙を含み、巻線は、基板の第１の表面に複数の導体および第２の表面に複数の導体を有する可撓性ＰＣＢを含み、前記導体は前記ＰＣＢに印刷されたトラックであり、第１の表面の導体は、ターンを形成すべくビア孔を介して第２の表面の導体に接続され、それにより、長さに沿って１回以上巻上げられた場合に軸方向に前記空隙内へ挿入されるよう適合されている。本発明はまた、そのような巻線を設計する方法にも関する。
【背景技術】
【０００２】
銅線で作られた従来の巻線は、無ブラシＤＣ電気モーター（ＢＬＤＣモーター）等の電気モーターの製造用に知られ、且つ利用されている。可撓性回路基板（可撓性ＰＣＢ）に印刷された巻線もまた、このようなモーターの製造に用いられ、銅線から作られた巻線と比較して、製造が容易且つ廉価であって、形状および設計がより柔軟になるため、これらのＢＬＤＣモーターの性能を向上させる機会を提供してきた。
【０００３】
フランス特許第７６２８８号明細書に平面ＤＣモーターが開示されており、このモーターでは磁石の有効磁場は軸方向であり、モーターの巻線は、第１の表面に導体を有すると共にビア孔を介して接続された第２の表面に回路を有する剛性平面ＰＣＢに印刷されている。この文献は、湾曲形状の導体を有する巻線の利用を開示している。平面モーターにおける湾曲形状を有する巻線の利用は機械の性能を向上させるものとして良く知られている。しかし、湾曲形状の巻線が平面モーターでは良く知られているという事実にもかかわらず、これらの巻線は、磁石の有効磁場が径方向である無ブラシＤＣ電気モーター（ＢＬＤＣモーター）の性能を向上させるものとしては知られていない。
【０００４】
米国特許出願公開第２００９００７２６５１号明細書およびフランス特許出願公開第２６２８８０号明細書は共に、回転電気機械のスロットレス巻線およびその製造方法を開示している。これらの文献は、ビア孔により接続された、第１の表面に導体を有すると共に第２の表面にも導体を有する可撓性ＰＣＢの利用を開示している。しかし、これらの文献は、性能を最適化するという課題には対処しておらず、各々のＰＣＢ面上の導体が２または３個の直線区間からなる巻線に限られ、しかも第１および第２の表面の導体間の接続をどのように行うかについて記述していない。
【発明の概要】
【０００５】
ＢＬＤＣ機械の可撓性ＰＣＢスロットレス巻線は、“Ｂ．Ｄｅｈｅｚ，Ｍ．Ｍａｒｋｏｖｉｃ，Ｙ．Ｐｅｒｒｉａｒｄ，“Ａｎａｌｙｓｉｓ ａｎｄ ｃｏｍｐａｒｉｓｏｎ ｏｆ ｃｌａｓｓｉｃａｌ ａｎｄ ｆｌｅｘ－ＰＣＢ ｓｌｏｔｌｅｓｓ ｗｉｎｄｉｎｇｓ ｉｎ ＢＬＤＣ ｍｏｔｏｒｓ”，Ｅｌｅｃｔｒｉｃａｌ Ｍａｃｈｉｎｅｓ ａｎｄ Ｓｙｓｔｅｍｓ（ＩＣＥＭＳ），２０１２ １５ｔｈ Ｉｎｔｅｒｎａｔｉｏｎａｌ Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ，ｐｐ．１－６，２１－２４ Ｏｃｔ．２０１２”により知られている。以下で参考文献１として参照するこの文献は、ＢＬＤＣモーターの一般的な構造について記述している。巻線を特徴付ける２個のパラメータ、すなわちトルク定数および電気抵抗の解析式が与えられる。古典的な銅導線の巻線と、単純な形状（ＰＣＢの一方の側の導体が、ＰＣＢの最下部からＰＣＢの最上部までの間に３個の区間を有し、各々図２および３に示すように傾斜した、または菱形の巻線の何れかを形成する）を有する可撓性ＰＣＢ巻線との比較がなされ、可撓性ＰＣＢ巻線が、古典的な銅巻線よりも電力密度が潜在的に３０％向上していることが示される。しかし、最適な性能が得られる設計を見出す試みはなされていない。コイルまたはターン列を形成すべく第１の表面の導体をどの

ように第２の表面の導体と共に配置するかについて詳述していない。
【０００６】
本発明の目的は、回転電気機械の性能を向上させる巻線、およびそのような巻線を設計する方法を提供することである。
【０００７】
本発明は、独立請求項により定義される。従属請求項は、有利な実施形態を定義する。
【０００８】
本発明の第１の態様によれば、回転電気機械の巻線を提供し、前記機械はインダクタ、鉄芯、およびこれらの間の空隙を含み、前記巻線は、基板の第１の表面に複数の導体および第２の表面に複数の導体を有する可撓性ＰＣＢを含み、前記導体は前記ＰＣＢに印刷されたトラックであり、第１の表面の導体は、ターンを形成すべくビア孔を介して第２の表面の導体に接続され、前記ＰＣＢは、高さおよび長さを有し、それにより、１個以上の層内で長さに沿って１回以上巻上げられた場合に軸方向に前記空隙内へ挿入されるよう適合されている。本発明によれば、導体は、連続的な曲線または３よりも大きいｎ個の直線区間に沿って、前記可撓性ＰＣＢの底面高から前記ＰＣＢの上面高まで軸方向に伸張する形状を有する。本出願人は、導体により複雑な形状、すなわち連続的な曲線または３個よりも多くの直線区間を与えることにより、電気機械の性能を向上させる予想外に良好な結果が得られることを見出した。
【０００９】
好適には、形状は、導体と隣接する導体との間の間隙が前記導体の長さに沿って所定の定数に等しくなるように可変的な幅を有している。所定の定数距離は、ＰＣＢの同じ側にある２個の隣接するコンダクタの間で良好な電気絶縁を実現すべく選択される。換言すれば、導体は可変的な幅を有する。
【００１０】
導体の形状がｎ個の直線区間に沿って伸張している場合、ｎは６より大きく且つ１００以下であることが有利である。本出願人は、６個以上の区間でも依然として性能が向上するが、１００個より多くの区間を用いても顕著な向上が得られないことを見出した。
【００１１】
第１の好適な実施形態によれば、導体が線対称な形状を有し、対称軸はＰＣＢの中央高においてＰＣＢの長さに沿った線である。この種の巻線は、当技術分野で重ね巻きとして知られる。
【００１２】
好適には、コイルを形成すべく複数のターンが直列に接続されている。
【００１３】
第１の接続形態において、１個のターンの第１の表面の導体がその長さに沿って伸張し、且つ前記コイルの２個の連続的なターン間の接続を形成すべくビア孔を介して第２の表面の導体に接続され、２個の連続的なターンは長さ方向に間隔が空けられている。
【００１４】
第２の接続形態において、前記複数のターンはｔ個のターンであり、第１の表面の導体は長さ方向に１からｔまで付番され、第２の表面の導体も長さ方向に１からｔまで付番され、ｉ＝１からｉ＝ｔ－１まで高さの降順に、第１の表面の導体ｉはＰＣＢの長さ方向に沿って伸張するトラックを介してＰＣＢの上端で第２の表面の導体ｔ－ｉに接続され、およびｉ＝１からｉ＝ｔまで高さの昇順に、第１の表面の導体ｉはＰＣＢの長さ方向に沿って伸張するトラックを介してＰＣＢの下端で第２の表面の導体ｔ－ｉ＋１に接続されている。第１および第２の表面の導体ｔは端子に接続されている。この第２の接続形態を用いることにより、第１の接続形態と同じトルクが得られる。しかし、導体の全長が短くなるに従い、抵抗が小さくなって性能が向上する。
【００１５】
第２の好適な実施形態によれば、前記導体は点対称な形状を有し、反射点はＰＣＢの中央高にある。この種の巻線は、当技術分野で波巻きとして知られる。

【００１６】
好適には、複数のターンが直列に接続されてターン列を形成している。
【００１７】
第１の接続形態において、複数の隣接するターン列が長さ方向に間隔を空けて配置され、１列のうち１個のターンの第１の表面の導体がその長さに沿って伸張し、且つ第２の表面の連続的な列の、対応して伸長している導体にビア孔を介して接続されることで２個の連続的な列間の接続が形成され、２個の連続的な列が長さ方向に間隔が空けられている。
【００１８】
第２の接続形態において、複数の隣接するターン列が長さ方向に順次間隔を空けて配置され、前記複数の列はｔ個の列であり、隣接する導体は第１および第２の表面の両方で１からｔまで付番され、第１の表面の導体１～ｔは、高さの降順にＰＣＢの長さ方向に沿って伸張するｔ個のトラックを介してＰＣＢの上端で第２の表面の導体１～ｔに各々接続され、および第２の表面の導体１～ｔは、高さの昇順にＰＣＢの長さ方向に沿って伸張するｔ個のトラックを介してＰＣＢの下端で第１の表面の導体ｔ～１に接続されている。前記複数の列の隣接するターンの１個の列に対して、第１の表面の導体１～ｔ－１は、高さの降順にＰＣＢの長さ方向に沿って伸張するｔ－１個のトラックを介してＰＣＢの上端で第２の表面の導体ｔ－１～１に各々接続されている。第１および第２の表面の導体ｔは端子に接続されている。この第２の接続形態を用いることにより、第１の接続形態と同じトルクが得られる。しかし、導体の全長が短くなるに従い、抵抗が小さくなって性能が向上する。
【００１９】
第１および第２の実施形態において、第２の接続形態のトラックは、ＰＣＢの第１および第２の表面の両方に位置することが有利である。これは更に、巻線の抵抗を減らして機械の性能を向上させる。
【００２０】
この場合、ＰＣＢの両側のトラックは、複数のビア孔を介して接続されていてよい。
【００２１】
巻線／導体の形状は、前記巻線の相抵抗R_{ph}の２乗根に対するトルク定数k_Tの比k_p

$$k_p = \frac{k_T}{\sqrt{R_{ph}}}. \qquad (1)$$

を最適化すべく設計されていることが有利である。
【００２２】
効率、すなわち入力パワーに対する出力パワーの比、またはパワー密度、あるいは電気機械のサイズ等、最適化すべき他の目的関数が選択されてもよい。
【００２３】
本発明の第２態様によれば、回転電気機械の巻線を設計する方法を提供し、前記機械はインダクタ、鉄芯、およびこれらの間の空隙を含み、前記巻線は、第１の表面に複数の導体および第２の表面に複数の導体を有する可撓性ＰＣＢを含み、前記導体は前記ＰＣＢに印刷されたトラックであり、第１の表面の導体は、ターンを形成すべくビア孔を介して第２の表面の導体に接続され、前記ＰＣＢは、高さおよび長さを有し、それにより、１個以上の層内で長さに沿って１回以上巻上げられた場合に軸方向に前記空隙内へ挿入されるよう適合されている。導体が、連続的な曲線または３よりも大きいｎ個の直線区間に沿って、可撓性ＰＣＢの底面高からＰＣＢの上面高まで軸方向に伸張し、且つ導体と隣接する導体との間の間隙が前記導体の長さに沿って所定の定数に等しくなるように可変的な幅を有する。本発明によれば、本方法は、

ａ）前記導体の形状の幾何学的パラメータに依存して前記回転電気機械のトルク定数ｋ$_{T}$を決定するステップと、
ｂ）前記導体の形状の幾何学的パラメータに依存して前記巻線の相抵抗Ｒ$_{ph}$を決定するステップと、
ｃ）前記導体の最適形状を得るために目的関数

$$k_p = \frac{k_T}{\sqrt{R_{ph}}},$$

を最適化すべく形状パラメータを変化させるステップと
を含んでいる。上述以外の他の目的関数も選択されることができる。
【００２４】
最適化は、遺伝的アルゴリズムを利用して実行できることが有利である。
【００２５】
本発明の上記および更なる態様について、例を挙げて添付の図面を参照しながらより詳細に記述する。
【図面の簡単な説明】
【００２６】
【図１】図１は、本発明による回転電気機械の軸と直交する平面に沿った概略断面図である。
【図２ａ】図２ａは、本発明による巻線を有する、ターンが重ね巻きされたＰＣＢの巻上げ状態での概略図である。
【図２ｂ】図２ｂは、本発明による巻線を有する、ターンが重ね巻きされたＰＣＢの伸張状態での概略図である。
【図３ａ】図３ａは、図２ａと同様であるが、導体がより多くの直線区間を有し、従ってより改良された形状を有する、本発明による巻線を有するＰＣＢの概略図である。
【図３ｂ】図３ｂは、図２ｂと同様であるが、導体がより多くの直線区間を有し、従ってより改良された形状を有する、本発明による巻線を有するＰＣＢの概略図である。
【図４ａ】図４ａは、本発明による巻線を有するＰＣＢの巻上げられた状態においてターンが波巻きをなす概略図である。
【図４ｂ】図４ｂは、本発明による巻線を有するＰＣＢの伸張した状態においてターンが波巻きをなす概略図である。
【図５ａ】図５ａは、図４ａと同様であるが、導体がより多くの直線区間を有し、従ってより改良された形状を有する、本発明による巻線を有するＰＣＢの概略図である。
【図５ｂ】図５ｂは、図４ｂと同様であるが、導体がより多くの直線区間を有し、従ってより改良された形状を有する、本発明による巻線を有するＰＣＢの概略図である。
【図６ａ】図６ａは、多数の直線区間を有する、本発明による巻線を有する導体の形状を示す。
【図６ｂ】図６ｂは、導体の直線区間の個数ｎに依存する性能比ｋ$_{p}$に対する相対利得を示す。
【図７ａ】図７ａは、本発明の第１の実施形態による、第１のターン間接続形態における機械の巻線を示す。
【図７ｂ】図７ｂは、本発明の第２の実施形態による、第１のターン間接続形態における機械の巻線を示す。
【図８ａ】図８ａは、本発明の第１の実施形態による、第２のターン間接続形態における機械の巻線を示す。
【図８ｂ】図８ｂは、本発明の第２の実施形態による、第２のターン間接続形態における機械の巻線を示す。
【図９ａ】図９ａは、本発明の第１の実施形態における、第１のターン間接続形態による

ターン間接続の説明図である。
【図９ｂ】図９ｂは、本発明の第１の実施形態における、第１のターン間接続形態によるターン間接続の詳細拡大図である。
【図１０ａ】図１０ａは、本発明の第１の実施形態における、第２のターン間接続形態によるターン間接続の説明図である。
【図１０ｂ】図１０ｂは、本発明の第１の実施形態における、第２のターン間接続形態によるターン間接続の詳細拡大図である。
【００２７】
各図面は、原寸大および一定の縮尺の何れでも描かれていない。一般に、図面内で同一の構成要素を同じ参照番号で示している。
【発明を実施するための形態】
【００２８】
図１は、本発明による回転電気機械１の回転軸と直交する平面に沿った概略断面図である。中心を始点として、半径R_rを有する鉄またはその他の強磁性材料製の軸１０がある。この軸には、永久磁石２０且つ２極磁石であって半径R_rから半径R_mまで伸張するインダクタが配置されていて、回転軸と直交する方向に磁場を生成し、その磁化方向は矢印に沿った方位角θを向いている。インダクタはまた、ＤＣ電流が供給されるコイルであってよい。半径R_rから半径R_mまで伸張されて電気機械の回転子と固定子を分離する空隙３０がある。本発明による巻線４０は、半径R_wおよびR_sの間に配置されている。半径R_sから半径R_eまで伸張する鉄その他の強磁性材料製の鉄製筐体５０が磁気回路を閉じる。
【００２９】
図２ａは、本発明の第１の実施形態による巻線４０のＰＣＢ４５を巻上げ状態で示す概略図である。図２ｂは、同じＰＣＢ４５を伸張した状態で示す。長さφは、ＰＣＢが巻上げられた場合の方位角に対応する。ＰＣＢの高さL_wは、ＰＣＢが巻上げられて空隙内へ挿入された場合に電気機械の軸に沿って伸張されている。ＰＣＢ４５の一方の側（可視側）に印刷された導体６１を連続的な線として示す。ＰＣＢ４５の他方の側に印刷された別の導体６０を破線で示す。導体６０、６１は、ＰＣＢ４５の中央高における線に関して線対称（または鏡面対称）である。導体６０、６１は、垂直線に関して互いに鏡像関係にある。導体６０、６１は、底部のビア孔４３により接続されて重ねターン４１を形成していてよい。導体６０、６１は、図面では高さL_w全体にわたり伸張するように示されているが、ＰＣＢの基板はマージンを持たせるべく若干伸張されていてよい。ターン４１に電流が流れた場合、図面の平面と直交する磁場が生じる。導体６０、６１は各々ｎ＝４個の直線区間を含んでいる。図２ｂの巻線は１回のターンで巻上げることができ、ターンの右側がターンの左側に重なっている。図２ｂのＰＣＢもまた、長さ方向に多数回伸張されていてよく、複数の層を有する巻線を形成すべく前記回数だけ巻上げられても、またはより多くの極およびより大きい直径を有する巻線を形成すべく１回のターンで巻上げられてもよい。多層、多極巻線の組合せもまた設計することができる。
【００３０】
図３ａおよび３ｂは、図２ａおよび２ｂと同様であるが、直線区間の個数ｎは１０に等しい。直線区間の個数を増やすことにより、事実上連続的な曲線を得ることができる。
【００３１】
図４ａ、４ｂ、５ａ、および５ｂは、図２ａ、２ｂ、３ａ、３ｂと同様であるが、導体６０、６１は長さ方向の中点に関して点対称である。導体６０、６１はまた、垂直線に関して互いに鏡像関係にある。導体６０、６１は、ビア孔４３を介して接続されて波状ターン４２を形成していてよい。
【００３２】
図６ａは、多数の直線区間を有する、本発明による巻線を有する導体の形状を示す。導体６０は、図６ａに連続的に示すように接合された辺を有する多数の直線区間を含んでいる。区間の個数ｎを増やすことにより、所望の程度に連続的な曲線に近づけることができ

る。区間s_iは、両端の座標（ϕ_{i-1}、z_{i-1}）および（ϕ_i、z_i）により定義される。区間の幅W_iは、その傾斜および、導体と隣接する導体との間の距離に依存する。ＰＣＢ技術を用いることにより、任意の形状の巻線を設計することができる。本発明の出願人は、導体の形状を慎重に設計することにより、電気機械の性能を電力密度および電気効率の両面で顕著に向上できることを示した。

【００３３】

図７ａは、本発明の第１の実施形態および第１のターン接続形態による回転電気機械の巻線を示す。複数の連続的なターンがコイルを形成すべく直列に接続されている。ＰＣＢの前面側の第１の導体６１（番号１）が、最上部において下向き矢印で示す電流入力端子に接続されていると共に、底部においてＰＣＢの後面側の第１の導体６０（同じく番号１）にビア孔を介して接続されている。第１の導体６０は次いで、L_1で示す高さにおいて第１の導体の６１と交差し、L_2で示す高さまで伸張することにより前面側の導体番号２と交差してビア孔４３を介して接続されている。このように伸張することにより、第２のターンの導体が第１のターンの導体から間隔を空けて配置されることが保証される。これらの伸張の長さは、ターン間の距離が所定の定数に等しくなるように取られている。前面および後面側の導体は、上向き矢印で示す電流出口端子に到達する後面側の最後（１０番目）の導体６０まで直列に同様に接続されている。３相を示している。巻線の左端を覆うように巻線の右端が１回巻上げられると、３相の２極巻線が形成される。巻線はまた、破線で示すように伸張されて、１回以上巻上げられて任意の個数の相、極および層を形成することができる。

【００３４】

図７ｂは、本発明の第２の実施形態および第１のターン接続形態による回転電気機械の巻線を示す。ターンは、ターン列を形成すべく直列に接続されている。下向き矢印で示す電流入力端子を始点として、第１の導体６１が、底部ビア孔４３を介して後面側の第１の導体６０に接続されていると共に、高さL_1で最上部ビア孔４３’を介して前面側の第１の導体６１’にも接続されている。巻線が巻上げられた場合に、この導体の最下端は第１の導体６０の最下端に接続されて、第１のターン列を形成している。連続的なターン列は、高さL_2までの伸張度合に応じて、ビア孔４４を介して接続されているため、連続的なターン列が長さ方向の所定の距離で分離される。最後（１０番目）の導体６０の最上端は、上向き矢印で示す電流出口端子に接続されている。ビア孔４４は、２個の電流端子間の高さL_2に位置し、ビア孔４３’は他の箇所で高さL_1に位置している。巻線の左端を覆うように巻線の右端が１回巻上げられると、３相の２極巻線が形成される。巻線はまた、破線で示すように伸張されて、１回以上巻上げられて任意の個数の相、極および層を形成することができる。

【００３５】

図８ａは、第２のターン間接続形態における本発明の第１の実施形態による機械の巻線を示す。下向き矢印で示す電流入力端子を始点として、前面側の最後（１０番目）の導体６１は、ＰＣＢの底部で水平方向トラック６５に接続され、後面側の第１の導体６０まで伸張している。導体、ビア孔および水平方向トラックは、上向き矢印で示す電流出口端子に接続されている後面側の最後（１０番目）の導体６０まで図８ａに示すように螺旋状に続いている。連続的な水平方向トラック６５は益々短くなり、ＰＣＢの中央水平線により近くなる。最後のトラック、すなわち前面側の第１の導体６１と、底部における後面側の最後の導体（導体番号１０）および最上部の導体番号９の間の接続部は極めて短いかまたは存在しなくてよい。図７ａを参照しながら述べたように、巻線の左端を覆うように巻線の右端が１回巻上げられると、３相の２極巻線が形成される。巻線はまた、破線で示すように伸張されて、１回以上巻上げられて任意の個数の相、極および層を形成することができる。

【００３６】

図８ｂは、第２のターン間接続形態における本発明の第２の実施形態による機械の巻線を示す。本図は図７ｂと同様であって、図８ａのターン間接続を用いている。

【００３７】
図９ａは、図７ａのように巻かれた単一コイルの説明図である。図９ｂは、図９ａの上部の拡大図である。２個の矢印は、後面側の導体６０および前面側の導体６１の対応部分における電流を示す。当業者には公知のように、電流の軸成分だけがモーターにトルクを発生させる。従って、後面側の導体６０と前面側の導体６１が重なる略三角形の領域において、結果的に生じるトルクはゼロである（軸成分が無く、２個の矢印から生じるベクトルが水平方向を向いている）。このことが、電気機械がモーターである場合に図１０ａ、１０ｂに示す第２のターン間接続形態がトルクに損失が生じない理由を説明している。幾何形状および電流が同じであれば、図１０ａの巻線は図９ａを巻線と同じトルクを生じる。図９ａの巻線と比較して、図１０ａの巻線はトラックが短いため、相抵抗R_{ph}が減少する。同じ理由により、電気機械が発電機である場合、図１０ａの巻線により生じるｅｍｆは均等である。

【００３８】
２個のパラメータ、トルク定数k_Tすなわち電流に対するトルクの比、および相抵抗R_{ph}すなわち導体の全抵抗が電気機械の性能を基本的に決定する。これらのパラメータと、巻線の幾何形状パラメータの関係を参考文献１に示しており、トルク定数についてより具体的に、波巻き（斜め巻き）の場合は式１６、重ね巻き（菱形巻き）の場合は式１７で与える。これらのパラメータはまた、電圧、電流、永久磁石に生じる磁場の形状等、他のパラメータにも依存する。これらのパラメータは、最適化プロセスでは変更されていない。相抵抗は式２９で与えられ、波巻きの場合は式１７および１８を、重ね巻きの場合は式２１および２２を参照している。式１のパラメータk_pは、所与のサイズのモーターのトルク密度を表す。実際、比の分子と分母に電流振幅を乗算すれば、パラメータk_pは、まさにモータートルクとジュール損失の平方根との比であると考えられる。寸法が同じ、従って熱損失を逃がす能力がほぼ同じ場合、k_pが最大であるモーターが従って最大名目トルクを発生することができよう。図６ａに関して述べたように、より大きい値のk_pを与える導体の幾何学的パラメータを発見すべく探索が実行された。導体の直線区間の個数ｎの異なる値について、以下のk_pの相対値が発見された。

n	k_p
2	100%
3	109,5%
4	112%
10	114%

これらの結果は、本発明の改良された形状の性能が、既知の形状に比べて顕著に向上していることを示す。図６ｂに、ｎに対する性能比の依存性を示す。ｎ＝１０の場合に顕著に向上している。ｎがより大きい値である場合は顕著な向上は見られない。

【００３９】
本発明を特定の実施形態に関して説明してきたが、実施形態は本発明を例示するものであって限定的に解釈してはならない。より一般的には、本発明が上で個別に図示および／または記述した内容に限定されないことは当業者には理解されよう。より具体的には、本発明の巻線は電気機械の固定子または回転子に施されてよい。電気機械はモーターまたは発電機であってよい。上述のＰＣＢの第１および第２の表面の導体は均等に、多層ＰＣＢの２個以上の層にあってよい。上の例では、コイルまたはターン列の連続的なターンが同じ形状および幅を有するように示しているが、コイルまたはターン列の各導体の形状および幅は、機械の性能を更に最適化するためのパラメータであると考えられる。

【００４０】
請求項内の参照番号はそれらの保護範囲を限定しない。動詞「～を含む」、「～を包含する」、「～からなる」、または他の任意の変型は、各々の活用形と共に、明示されてい

ない要素の存在を排除しない。要素に先行する冠詞「１つの（ａ）」、「１つの（ａｎ）」、または「その（ｔｈｅ）」は、そのような要素が複数存在することを排除しない。

【００４１】

本発明はまた、以下のように記載することができる。本発明は、第１の表面に複数の導体および第２の表面に複数の導体を有する可撓性ＰＣＢを含む回転電気機械の巻線であって、前記導体が機械の性能を最適化する形状を有する、巻線と、そのよう巻線を設計する方法とを提供する。

【図１】

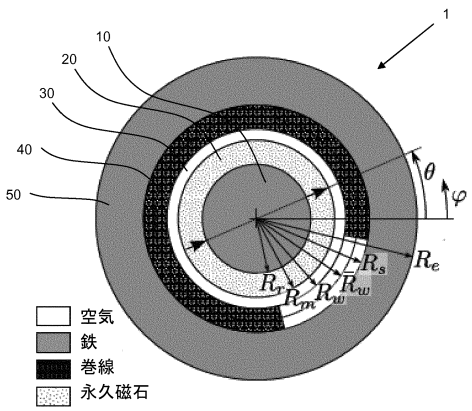

図1

【図２ａ】

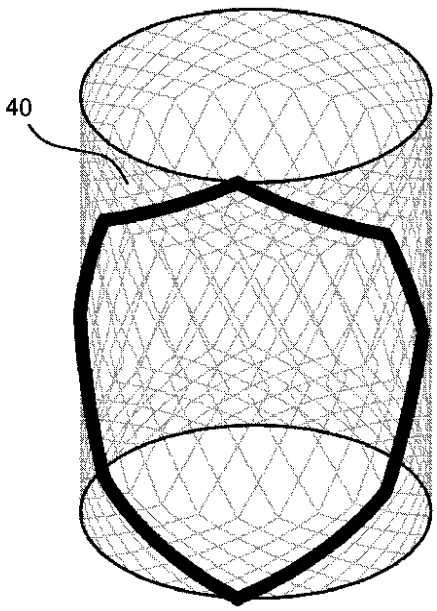

Fig. 2a

【図２ｂ】

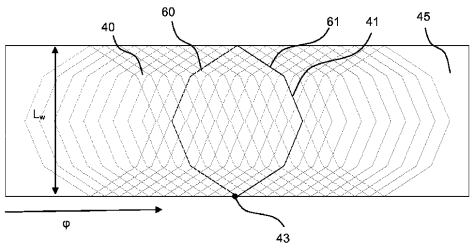

Fig. 2b

【図３ａ】

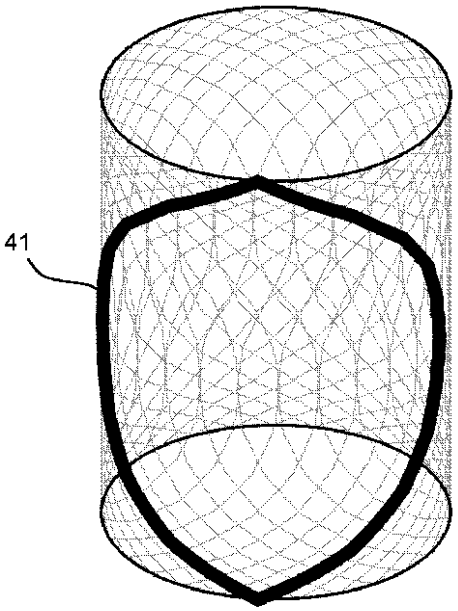

Fig. 3a

【図３ｂ】

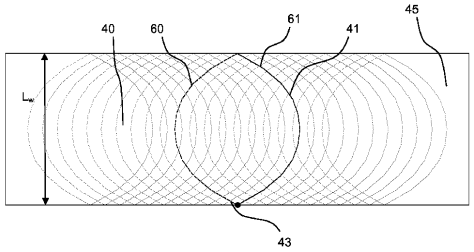

Fig. 3b

【図４ａ】

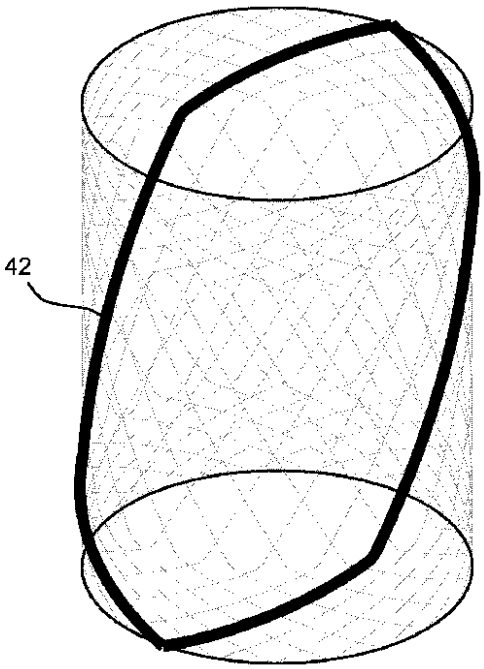

Fig. 4a

【図４ｂ】

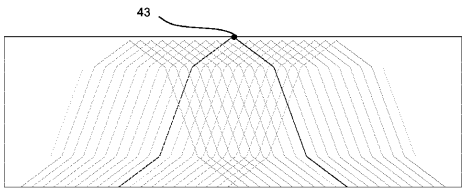

Fig. 4b

【図５ａ】

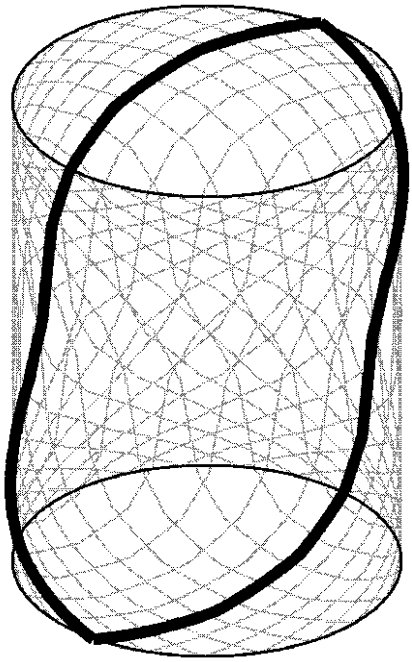

Fig. 5a

【図５ｂ】

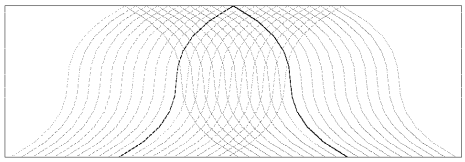

Fig. 5b

【図６ａ】

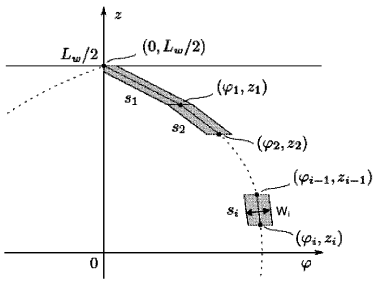

Fig. 6a

【図６ｂ】

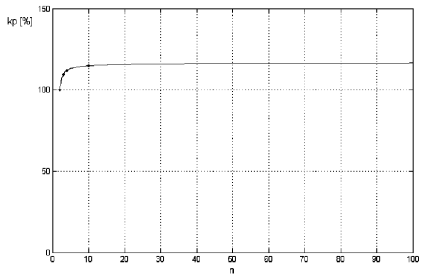

Fig. 6b

【図７ａ】

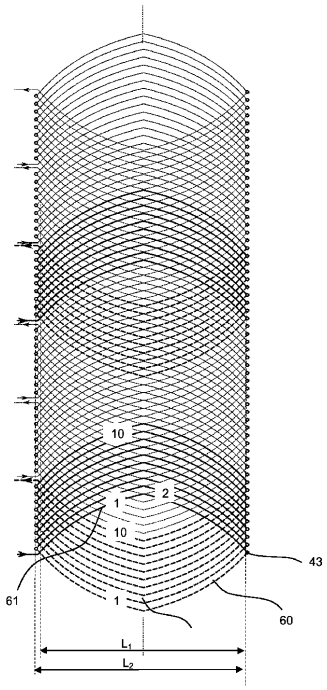

Fig. 7a

【図７ｂ】

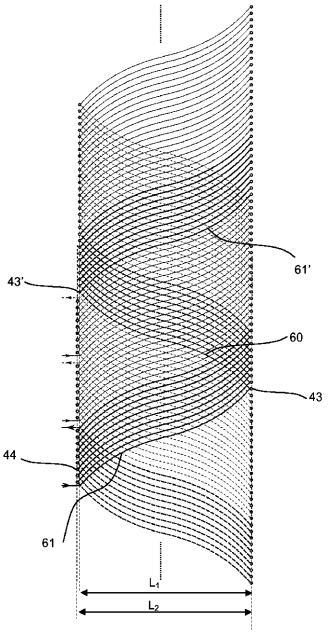

Fig. 7b

【図８ａ】

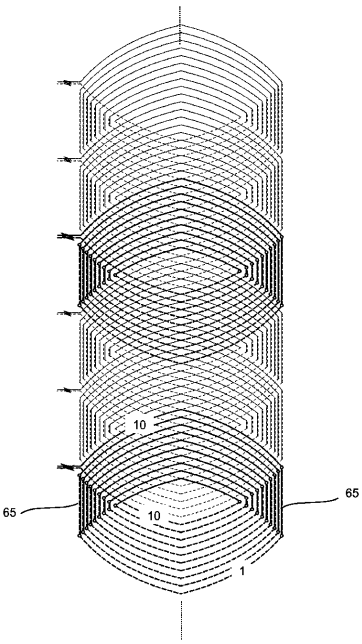

Fig. 8a

【図８ｂ】

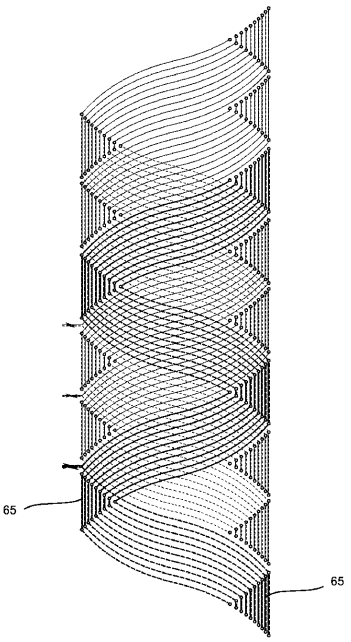

Fig. 8b

【図９ａ】

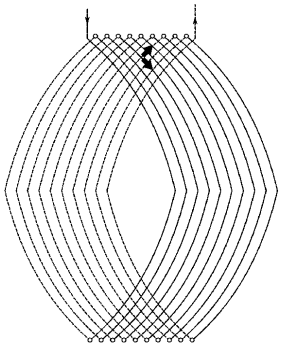

Fig. 9a

【図１０ａ】

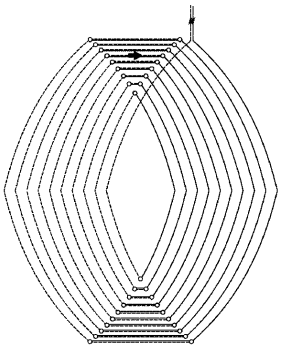

Fig. 10a

【図９ｂ】

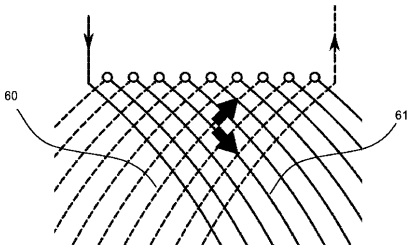

Fig. 9b

【図１０ｂ】

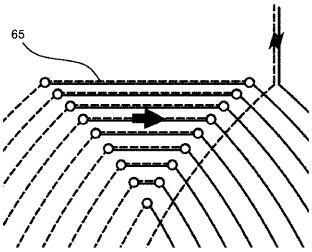

Fig. 10b

フロントページの続き

(72)発明者 ボダール, フランソワ
ベルギー王国 ベー６４６４, ブルレール, リュ デ トラピスト ５４

合議体
審判長 窪田 治彦
審判官 柿崎 拓
審判官 岡澤 洋

(56)参考文献 特開平８－３２２２２１（ＪＰ, Ａ）
特開平４－４９８３１（ＪＰ, Ａ）
特開昭５４－１４９８０６（ＪＰ, Ａ）
特開平１１－２９９２１４（ＪＰ, Ａ）
米国特許出願公開第２００９／００７２６５１（ＵＳ, Ａ１）
Ｂｒｕｎｏ Ｄｅｈｅｚ, Ｍｉｒｏｓｌａｖ Ｍａｒｋｏｖｉｃ, Ｙｖｅｓ Ｐｅｒｒｉａｒｄ, 「Ａｎａｌｙｓｉｓ ａｎｄ Ｃｏｍｐａｒｉｓｏｎ ｏｆ Ｃｌａｓｓｉｃａｌ ａｎｄ Ｆｌｅｘ－ＰＣＢ Ｓｌｏｔｌｅｓｓ Ｗｉｎｄｉｎｇｓ ｉｎ ＢＬＤＣ Ｍｏｔｏｒｓ」, ２０１２ １５ｔｈ Ｉｎｔｅｒｎａｔｉｏｎａｌ Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ ｏｎ Ｅｌｅｃｔｒｉｃａｌ Ｍａｃｈｉｎｅｓ ａｎｄ Ｓｙｓｔｅｍｓ（ＩＣＥＭＳ）, ＩＥＥＥ, ２０１２年１０月

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
H02K3/00