

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6545280号
(P6545280)

(45) 発行日 令和1年7月17日(2019.7.17)

(24) 登録日 令和1年6月28日(2019.6.28)

(51) Int.Cl.

H02N 1/04 (2006.01)

F 1

H02N 1/04

請求項の数 15 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2017-550849 (P2017-550849)
 (86) (22) 出願日 平成28年3月24日 (2016.3.24)
 (65) 公表番号 特表2018-510608 (P2018-510608A)
 (43) 公表日 平成30年4月12日 (2018.4.12)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2016/056493
 (87) 國際公開番号 WO2016/156180
 (87) 國際公開日 平成28年10月6日 (2016.10.6)
 審査請求日 平成31年2月18日 (2019.2.18)
 (31) 優先権主張番号 15161948.3
 (32) 優先日 平成27年3月31日 (2015.3.31)
 (33) 優先権主張国 歐州特許庁 (EP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 590000248
 コーニンクレッカ フィリップス エヌ
 ヴェ
 KONINKLIJKE PHILIPS
 N. V.
 オランダ国 5656 アーネー アイン
 ドーフェン ハイテック キャンパス 5
 High Tech Campus 5,
 NL-5656 AE Eindhoven
 (74) 代理人 110001690
 特許業務法人M&Sパートナーズ

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】摩擦発電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電力を生成するための発電機であって、前記発電機は充電状態を有する第1の素子及び第2の素子を備え、前記第1の素子及び前記第2の素子が前記充電状態を含むときに電力を生成するために前記第1の素子及び前記第2の素子が互いに対し移動可能であり、前記第1の素子及び前記第2の素子が互いに接触及び接触解除されるように構成される、発電機と、

前記第1の素子及び前記第2の素子を接触及び接触解除させるための駆動機構と、を備えるシステムであって、

前記システムは、

前記第1の素子及び前記第2の素子が、前記充電状態を変更するために接触する充電モードと、前記第1の素子及び前記第2の素子が接触解除されている発電モードとで動作される、システムにおいて、

前記システムは、

前記充電状態を判断するためのデバイスと、

コントローラと、をさらに備え、

前記コントローラが、

前記充電状態に応じて前記充電モードのタイミング及び／若しくは期間を制御するか、又は

前記充電状態に応じて前記充電モードのタイミング及び／若しくは期間を制御する際

10

20

に使用する情報を出力することを特徴とする、システム。

【請求項 2】

前記充電状態を判断するための前記デバイスが、前記発電機の出力信号を受信するための比較回路を備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記比較回路が、シュミットトリガ回路を備える、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記第 1 の素子及び前記第 2 の素子が、互いに対し回転可能な第 1 のディスク素子及び第 2 のディスク素子を備える、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 5】

前記第 1 の素子及び前記第 2 の素子が、前記発電モードで特定の値に固定される移動距離で、互いに対し移動可能である、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 6】

前記駆動機構が、前記第 1 のディスク素子及び / 又は前記第 2 のディスク素子の表面上に形成される、1つ又は複数の螺旋状パターントポグラフィ特徴を備え、前記螺旋状パターントポグラフィ特徴が、回転に応じて前記第 1 の素子と前記第 2 の素子との間の距離を生成する、請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記第 1 の素子と前記第 2 の素子との間の相対運動を発生させるためのモータユニットをさらに備える、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 8】

前記コントローラが、前記モータユニットへの駆動入力電圧を制御するため、前記モータユニットに接続されたモータコントローラ回路を備える、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記駆動機構が、メカトロニクス作動素子を備える、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 10】

前記コントローラが、メカトロニクス作動制御回路を備える、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記コントローラが、ユーザからのコマンドを受信するためのユーザ入力モジュールを備える、請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 12】

前記コントローラが、前記充電モードの前記タイミング及び / 又は前記期間を手動で制御する際に使用する情報をユーザに出力するためのユーザ出力モジュールを備える、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 13】

電力を生成するための発電機を動作させる方法であって、前記発電機が第 1 の素子及び第 2 の素子を備え、前記第 1 の素子及び前記第 2 の素子が、充電状態を有し、前記電力を生成するために互いに対し移動可能であり、前記第 1 の素子及び前記第 2 の素子が、互いに接触及び接触解除されるように構成され、前記方法は、

前記充電状態を変更するために前記第 1 の素子及び前記第 2 の素子が接触する充電モードと、前記第 1 の素子及び前記第 2 の素子が接触解除する非充電モードとを実現するように、前記第 1 の素子及び前記第 2 の素子を接触及び接触解除させるステップを含む、方法において、

前記方法はまた、

前記充電状態を判断するステップと、

前記充電状態に応じて前記充電のタイミング及び / 若しくは期間を制御するステップか、又は、代替的に、

前記充電状態に応じて前記充電モードのタイミング及び / 若しくは期間を制御する際に

10

20

30

40

50

使用する情報を出力するステップと、を含むことを特徴とする、方法。

【請求項 14】

前記第1の素子及び前記第2の素子は、前記発電機の出力電圧が下側閾値より上から前記下側閾値より下に低下することに応答して接触され、前記第1の素子及び前記第2の素子が、前記発電機の出力電圧が上側閾値より下から前記上側閾値より上に上昇することに応答して接触解除される、請求項13に記載の方法。

【請求項 15】

前記第1の素子及び前記第2の素子が、メカトロニクス制御素子によって接触及び／又は接触解除される、請求項13又は14に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、機械エネルギーを電気エネルギーに変換するための、エネルギー生成及び／又は変換システムに関する。

【背景技術】

【0002】

機械エネルギーが電気エネルギーに変換される、そのようなシステムの一例は、摩擦電気エネルギー生成システムである。摩擦帶電 (triboelectric effect) (摩擦帶電 (triboelectric charging) としても知られる) は、物質が、摩擦によって異なる物質と接触すると、その物質が帯電する、接触誘導帶電である。摩擦発電は、摩擦帶電を静電誘導と結びつける方法によって、機械エネルギーを電気エネルギーに変換することに基づく。歩行、ランダムな体動、風、振動、又は波浪のような供給源からの使われていない機械エネルギーを捕らえることによって、センサなどのウェアラブルデバイスやスマートフォンに電力供給するために摩擦発電を利用することが提案されている（例えば、Wang、Sihong、Long Lin、及びZhang Lin Wang「Triboelectric nanogenerators as self-powered active sensors.」Nano Energy 11 (2015) : 436 - 462 を参照）。

20

【0003】

摩擦帶電は、電子を得る（負帯電する）性質又は電子を失う（正帯電する）性質に従つて、様々な物質を並べた系列に基づく。この系列は、例えば、A. F. Diaz 及び R. M. Felix - Navarro、「A semi-quantitative tribo-electric series for polymeric materials: the influence of chemical structure and properties」, Journal of Electrostatics 62 (2004) 277 - 290 に開示されている。静電気を生じる物質の最良の組み合わせは、正帯電リストからの物質及び負帯電リストからの物質（例えば、銅に対するポリテトラフルオロエチレン（PTFE）、又はアルミニウムに対するフッ化エチレンプロピレン（FEP））である。ガラスを毛皮でこすこと、又は髪を通す櫛が、摩擦電気の日常生活でのよく知られた例である。

30

【0004】

最も単純な形態では、摩擦発電機は、1つが電子供与体、もう1つが電子受容体である、非類似の物質からなる2つのシートを使用する。物質が接触されると、電子が、1つの物質からもう1つの物質へと交換される。単純には、これが摩擦帶電である。ここでシートが分離されると、それぞれのシートは、シート間の隙間によって絶縁された（異なる極性の）電荷を保持し、電位が高まる。電気負荷が、2つの物質表面の裏側に配置された電極の間に接続される場合、横方向又は垂直方向のいずれかの、シートの任意のさらなる変位が、それに応じて2つの電極間に通電を引き起こす。単純には、これが静電誘導の例である。2つのプレートのそれぞれの電荷中心間の距離が増加すると、それによって2つの間の隙間を横切る引力のある電界が弱まり、その結果、負荷を介した電荷の電気的引力が

40

50

、隙間を横切る静電引力を超えると、2つの外側の電極間の電位差が増加する。

【0005】

このようにして、摩擦発電機は、2つの主な物理的機構、すなわち接触帶電（摩擦帶電）及び静電誘導を結びつけることを通じて、機械エネルギーを電気エネルギーに変換する。

【0006】

プレートの電荷中心間の相互分離を周期的に増加及び減少させることにより、電流が、それに反応してプレート間を前後に流れるように誘導され得る。それによって負荷を横切って交流電流が発生される。電力出力は、ミクロンスケールのパターンをポリマーシートに適用することによって増加され得る。パターニングは、接触領域を効果的に増加させ、それによって、電荷移送の有効性を向上させる。

【0007】

Wang, Z. L., 「Triboelectric nanogenerators as new energy technology for self-powered systems and as active mechanical and chemical sensors.」ACS nano 7.11(2013) : 9533 - 9557 に開示されるように、近年、この効果を利用する発電（環境発電）及び電力変換のための新たな技術が、開発されている。この効果に基づいて、いわゆる摩擦帶電型ナノ発電機（「TENG」）といういくつかのデバイス構成が、開発されている。2012年のこれらの最初の報告以来、TENGの出力電力密度は、大いに改善されている。体積電力密度は、1立方メートル当たり400キロワット以上に達し、約60%の効率が、実証されている（同書）。高い出力性能に加えて、TENG技術は、低い生産コスト、高い信頼性及び堅牢性、並びに低い環境影響などの、多数のその他の利点を持っている。TENGは、発電機、即ち、例えば、振動、風、水、ランダムな体動、又は機械的に利用可能な力の電気への変換からの環境発電として用いられる。

【0008】

TENGは、4つの主な動作クラスに大まかに分割され、その1つがいわゆる線形スライディングモードで動作し、それらの間で重なる領域を変化させるために、帶電したプレートが、もう一方に対して横方向にスライドするように誘導される。電位差が、プレート全体に引き起こされ、重なる領域全体の変化率に比例する瞬時値を有する。プレートを互いに相互に重なり合わせること、及び重ならないようにすることを繰り返すことによって、プレートの間に接続された負荷を横切って交流電流が確立される。

【0009】

線形スライディングモードTENGの1つの特定のサブセットは、回転ディスクTENGであり、それは、接触モード（即ち、連続的な摩擦帶電及び静電誘導）又は非接触モード（即ち、最初の接触帶電後は静電誘導のみ）の両方で動作され得る。回転ディスクTENGは、典型的には、少なくとも1つの回転子及び1つの固定子からなり、それぞれが、間隔をあけた円セクタ（セグメント）のセットとして形成される。2つのディスクが互いに対しても回転すると、セクタは重なり合い、次いで、分離する。上述のように、電流は、横方向にスライドし、その逆は帶電する、2つの層の間で誘導され、大きさは、重複領域の変化率に比例する。回転子のそれぞれの連続して間隔をあけたセクタが、所与の固定子セクタと重なり、次いで重ならなくなると、電流は、2つのセクタプレート間で、プレートの重複が増加する時最初に第1の方向に誘導され、次いで、プレートの重複が減少する時反対方向に誘導される。

【0010】

セグメント構造のディスクTENGの初期のバージョンの制限（Long Lin他、Segmentally Structured Disk Triboelectric Nanogenerator for Harvesting Rotational Mechanical Energy, Nano Lett., 2013, 13(6), 2916 ~ 2923ページ）は、回転及び静止する摩擦電気層が、金属電極の蒸着及

10

20

30

40

50

び電気リードとの接続を必要とすることであり、回転部品の不都合な動作につながる。

【0011】

両方のグループのパターン化電極が、回転ディスク上の自立摩擦電気層と共に、静止したディスク上に取り付けられているディスクTENGは、Long Lin他、Non contact Free-Rotating Disk Triboelectric Nanogenerator as a Sustainable Energy Harvester and Self-Powered Mechanical Sensor. ACS Appl. Mater. Interfaces, 2014, 6(4)、3031~3038ページに開示されているように、これらの問題を解決することができる。そのような構造では、回転部品への電極の蒸着又は電気接続に対する必要性はなく、それは、環境発電の稼働設備を劇的に改善する。10

【0012】

回転ディスクTENG、及び実際には、線形スライディングモードTENGは、概して接触モード及び非接触モードの両方で動作され得る。（最初とその後の両方に、漏出を妨害するように）プレートを摩擦帯電させるために接触は望ましいが、静電誘導プロセス自体（それによって電気エネルギーが生成される）は、プレート間の接触を必要とせず、（例えば、約0.5mmの）小さなプレート間隔で良好に動作する。

【0013】

プレートが継続的に摩擦接触して維持される、接触モードでの動作は、プレートが継続的に充電されており、したがって、漏出などを通じて失われる電荷の継続的な置換によって、ある理論上の最大充電容量（バイプレートシステムの静電容量によって定義される）に継続的に維持されるため、より高い電力出力をもたらす。本来、電荷密度が大きいほど、プレート内の電子間により大きな静電力を誘導するため、プレート上に維持され得る電荷が大きくなるほど、発生され得る静電誘導出力は、大きくなる。20

【0014】

しかしながら、接触モードでの動作は、それに付随して、過剰な雑音の発生及び表面摩耗によるデバイス物質の劣化、並びにプレート間の摩擦を克服しなければならないことに起因する電力損失を含む、様々な困難をもたらす。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0015】

本発明の目的は、特に前述した困難のうちの1つ又は複数を減少させることである。この目的は、独立請求項で定められる発明で達成される。従属請求項は、有利な実施形態を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0016】

したがって、本発明は、上記困難のうちの1つに関連する影響を減少させつつ、電力出力を増加させ、又は最適化することが可能な、発電システム及び方法を提供する。これは、デバイスの動作モードによって達成される。動作モードには、電力を生成するために電荷を運ぶ、相互に移動する素子の間に接触がない発電モードと、発電モードの間に失われた任意の電荷を補充するために、移動する素子間に接触がある充電モードとが存在する。40

【0017】

発電モードにおいて電荷が漏れ出る速度に依存して、充電モードは、それとともに時間を短縮され、いずれかの困難に関連する影響のいずれかを低減させる効果を高める。

【0018】

モードは、可動部分を周期的に再充電するために、時間とともに断続的に動作され得る。したがって、本発明は、接触モードで発電機を作動させることに関連する、雑音及び/又は表面の摩耗の問題を回避又は軽減しつつ、例えば、周期的に再充電することによって、特定の所望の出力容量を実現するために、ある所望の閾値以上に電力出力が維持されることを可能にする。50

【0019】

本発明では、発電は、電力信号の生成を意味する。そのような電力信号は、電圧信号又は電流信号であり、電力に対して定義するのが通常である。

【0020】

2つの素子間に存在する充電状態は、第1の素子及び第2の素子のうちの1つだけが、電荷を含むこと、又は、両方が、同等ではない同一極性の電荷を含むことを意味する。両方が、実質的に同一であるが、極性が反対の電荷を含むことが好ましい。素子の相互運動後の発電機の電力出力をもたらし得る（電力出力の原因である）任意の充電状態は、本発明で機能する。

【0021】

10

発電機は、摩擦発電機を含み、第1の素子及び第2の素子は、第1の摩擦発電プレート及び第2の摩擦発電プレートを含む。これらの例では、したがって、本発明は、摩擦発電のためのシステムを提供する。発電機の動作モードは、プレートのうちの1つ又は両方がその間に摩擦帶電する接触モードと、静電誘導を通じてその間にエネルギーが生成される（又は変換される）非接触モードとの間で断続的に切り替えられる。この場合、充電状態を変更することは、充電状態を増加させることを含む。一方、他の例としての実施形態では、充電状態を変更することは、充電状態を減少させることを含む。

【0022】

コントローラは、充電モード（接触フェーズ）及び発電モード（非接触フェーズ）のタイミング及び／又は期間を制御する。制御は、検出されたプレートの充電状態に依存する。この目的のために、システムは、例えば、コントローラを通じて、2つの動作モードを制御する（手動であり得る）際に使用する充電状態情報を出力することができる。さらに又は代替的に、システムは、この充電状態情報を使用して、動作モードのタイミング及び／又は期間を直接制御することができる。いずれかの、又は両方のやり方では、プレート上の電荷が、ある閾値より低下する時に、充電モードが実施され得る。例えば、コントローラは、プレートを接触させる駆動機構を、自動的に、又はユーザ起動で制御し、それによって、接触モード（又は充電モードフェーズ）を開始する。充電モードは、固定の期間を有するか、又はプレート上の電荷が特定の閾値を再び超えると、停止され得る。例えば、コントローラは、自動的に、又はユーザ起動で、2つのプレートを分離するようにドライバを制御し、よって、非接触（又はエネルギー生成）モードを開始する。電力モード及び充電モードでシステムを断続的に動作させるこのプロセスは、継続的に繰り返され、プレートの充電状態に応じて、周期的にプレート間の接触が行われ、次いで接触解除される。

20

【0023】

プレート間の総接触時間を最小化しつつ、例えば、特定の所望の出力容量を実現するために、特定の最小プレート電荷の維持を保証するように、2つの動作モード（接触及び非接触）のタイミングが最適化される。このようにして、出力負荷が所望の最小レベルより低下しないことを保証しつつ、雑音及び表面の摩耗が、最小化される。したがって、少なくとも1つの発電モード期間及び（それに続く）充電モード期間（又はその逆）を含むタイムスパン内で、充電期間は、好ましくは、50%、40%、30%、20%、10%、10%、5%、1%、0.1%以下のパーセンテージのタイムスパンを占める。パーセンテージが下がると、困難の影響のうちのいずれかが、より低減され得る。パーセンテージは、タイムスパン毎に固定であり得るが、システムの動作の間、又は動作中に調整可能であり得る。充電状態が、周期的に測定される場合、モードの期間並びにモードの開始及び／又は停止時間は、最後に測定された充電状態に基づいて周期的に調整され得る。

30

【0024】

40

システムは、充電状態を判断するためのデバイスを含む。コントローラは、発電機の出力負荷電圧を受信するための比較回路を含む。例えば、プレートの電荷が（摩擦）帶電プロセスに続く（非接触フェーズ）期間に漏出するにつれて、TENG発電機の出力電力及び出力電圧は、低下する。それ故に、充電状態は、出力信号（出力電圧、電流、又は出力

50

電力のどちらか)をモニタリングすることによって、時間の関数として評価される。したがって、比較回路は、例えば、瞬間出力電力信号をある基準値と比較し、それに応答して出力信号を生成するために使用される。

【0025】

比較回路は、例えば、シュミットトリガ回路を含む。シュミットトリガ回路は、発電機の出力信号(電圧、電流、又は電力)が、所与の第1の(下側)閾値レベルより低下することに応答して、新たな充電フェーズをトリガし、続いて、発電機の出力信号(電圧、電流、又は電力)が、所与の第2の(上側)閾値レベルより上昇することに応答して、充電フェーズを終了させるように適合される。

【0026】

第1の素子及び第2の素子の可動性に対応するために、それらは、回転の仮想軸を中心とする相対回転速度で、互いに対しても回転可能であるように構成され得る。第1の素子及び第2の素子が、互いに対して回転可能な第1のディスク素子及び第2のディスク素子を含む。したがって、回転の仮想軸が存在し、素子のうちの少なくとも1つがそれを中心として回転する。この場合、発電機は、回転ディスクTENGを含み、第1の素子及び第2の素子(即ち、プレート)は、互いに対面する表面を有する。表面は、充電状態を作り出すために電荷を運ぶことができる。素子は、例えば、(少なくとも)1つの回転子及び1つの固定子からなり、それぞれが、間隔をあけた円セクタのセットとして形成される。

【0027】

前段のある例では、駆動機構は、第1の素子と第2の素子との間の距離を生成し、及び/又は維持するために構成される機構を含む。そこでは、距離は、回転の仮想軸に沿って測定され得る。この機構は、距離が、第1の素子及び第2の素子の相対回転に依存するよう、さらに構成されることによって距離を生成し、及び/又は維持するためにさらに構成されることが好ましい。特に、第1の素子及び第2の素子は、第1のディスク素子(26)及び/又は第2のディスク素子(28)の表面上に形成される、1つ又は複数の螺旋状パターントポグラフィ特徴を有することができる。螺旋状パターントポグラフィ特徴は、仮想軸に沿って測定され得る距離を生成するためのものである。第1の素子及び第2の素子の間の流体力学的揚力が、回転に応答して。ディスクが互いに対して回転されるにつれて、相対回転速度に関係する大きさの力で、プレートが押し広げられるように、流動体(ディスクが配置される環境(ガス雰囲気、又は液体))においてポンプ作用が発生する。ディスクが、例えば、互いに向かってプレートを押す多少の小さな予圧力、例えば、プレートが水平に並べられている場合の上のプレートの重さを受ける場合、回転速度が増加すると、結果としてプレート間の間隔が比例して増加する。その後ディスクが減速すると、ディスク素子間の空間が結果として狭くなる。互いに近付く方向にプレートを押す力は、ゴムバンド、機械バネ、電気機械的手段、磁気的手段などを用いたバネ式治具によっても構成され得る。

【0028】

したがって、本発明は、機械エネルギーを電気エネルギーに変換するためのシステムとして使用され得る。それ故に、それは、エネルギー捕集デバイスとして使用され得る。代替的に、又は実際に、上記実施形態のうちのいずれかによれば、システムは、第1の素子及び第2の素子の間の相対運動を発生させるためのモータユニットをさらに含む。このようにして、システムは、例えば、ある部品においてモータによって生成された電気エネルギーを、モータ位置から遠く離れた別の部品に移送することが可能である。これは、モータが大きすぎる場所、及び/又は電力を提供する他のやり方が適当でない場所での電力の利用可能性を有効にする。例では、モータユニットは、燃焼、電気、電池、燃料電池、原子力、又は任意の他の適当な電力源など、多様なエネルギー源のうちの1つ又は複数によって電力供給される。コントローラは、この場合、モータユニットに接続され、モータユニットへの駆動入力電圧を制御するためのモータコントローラ回路を含む。このようにして、ディスク素子の相対速度、及びそれ故に、素子間の間隔は、例えば、発電機の出力電圧の低下又は上昇に応答して、システムによって正確に制御される。いくつかの場合、例

10

20

30

40

50

えば、コントローラは、比較回路を含み、ある閾値以下又は以上への発電機の出力電圧／電力の低下又は上昇に応答して、モータ速度が、異なる値の間で調節するようにトリガされ得るように、比較回路の出力信号は、モータ制御回路の入力に接続する。

【0029】

一方、他の例では、発電機のプレート間の相対運動を発生させるためのモータユニットは、螺旋状軸受駆動機構と併せて提供されない。プレート間の間隔は、この場合、回転速度を制御することによって制御されなければならないが、発電機の主なモータドライバは、何らかの外部機械的供給源（例えば、風力タービン又は水力タービンなど）、及び、例えば、抵抗を提供することによって、必要に応じて外部供給源を制限又は制約するために追加的に利用される、追加のメカトロニクスコンポーネントを含む。このようにして、速度は、最大（外部モータ源に機械抵抗が全く適用されない時）と最小（モータ源に対して最大抵抗力が適用される時）との間で変化する。10

【0030】

この実施形態又は任意の他の実施形態によれば、駆動機構は、1つ又は複数のメカトロニクス作動素子を含む。これらは、非限定的な例として、ステッパモータを含み、電動ねじ、制御される電磁石、又は液圧若しくは空気圧シャッタ若しくはバルブを含む。これらは、プレートの運動を駆動するために提供されるモータユニットと併せて使用されてもよく、又は使用されなくてもよく、上述した螺旋状軸受の実施形態と併せて使用されてもよく、又は使用されなくてもよい。いくつかの場合、例えば、螺旋状軸受が提供されず、プレートが、メカトロニクス作動素子単体の使用を通じて接触され、及び接触解除されるよう単純に制御される。これは、風又は水などの、物理エネルギーの外部供給源と併せて使用され、又は提供されるモータユニットと併せて使用される。20

【0031】

コントローラは、これらの場合、例えば、コントローラとの信号通信において、メカトロニクス作動制御回路を含む。メカトロニクス動作制御回路は、メカトロニクス作動ユニットを制御するためのものである。

【0032】

コントローラは、ユーザからのコマンドを受信するためのユーザ入力モジュールを含む。コマンドは、開始時間、停止時間、充電モード及び／若しくは発電モードの期間、電力出力信号の上側閾値、電力出力信号の下側閾値、充電状態の下側閾値、又は充電状態の上側閾値のうちの1つ又は複数を定義するためのものであり得る。コントローラは、ユーザからの上記コマンドに応答して、接触及び非接触フェーズのタイミング及び／又は期間を制御するように適合される。ユーザ入力モジュールは、例えば、「手動オーバライド」機能性を提供するために、上述の「オートメーション化された」制御の実施形態のうちの1つ又は複数と併せて提供される。それによって、特定の時間に特定の動作モードをシステムに採用させるために、それ以外は自動的に調整するシステムにユーザが介入する。代替的に、駆動機構が、ユーザから受信した手動コマンドに応答して完全に制御されるように、システムは、完全に手動で制御される。30

【0033】

これらの実施形態又は任意の他の実施形態では、コントローラが、充電モードのタイミング及び／又は期間を手動で制御する際に使用する情報をユーザに出力するためのユーザ出力モジュールを含む。それ故に、コントローラは、システムとユーザとの間のインターフェースを単に提供し、例えば、プレートの充電状態、又は発電機の出力電圧／電力に関する情報を通信することによって、システムが接触及び非接触モード間の切り替えを行ふかをユーザが決定することを可能にする。40

【0034】

本発明によれば、電力を生成するための発電機（24、52）を動作させる方法も、提供される。システムについて定義される特徴は、方法の修正にも使用される。それとともにシステムについて定義される利点は、修正された方法にも適用する。

【0035】

50

方法の実施形態では、第1の素子及び第2の素子が、発電機の出力電圧が下側閾値より上から下側閾値より下に低下することに応答して接触され、第1の素子及び第2の素子が、発電機の出力電圧が上側閾値より下から上側閾値より上に上昇することに応答して接触解除される。

【0036】

非限定的な例として、ステッパモータ、電動ねじ、制御される電磁石、又は液圧若しくは空気圧シャッタ若しくはバルブなどのメカトロニクス制御素子によって、第1の素子及び第2の素子が、接触及び／又は接触解除される。

【0037】

いくつかの実施形態では、第1の素子及び第2の素子は、互いに対しても回転可能な第1のディスク素子及び第2のディスク素子を含み、上記ディスク素子のうちの少なくとも1つは、螺旋状パーソナルポグラフィ特徴を含む。この場合、第1の素子及び第2の素子は、2つの素子間の相対回転速度を変化させ、それによって、2つの素子間に可変の流体力学的揚力を発生させることによって、互いに接触及び／又は接触解除される。10

【0038】

ここで、本発明の例が、添付の概略図を参照して詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】例としての回転ディスク摩擦発電機について、ピーク電力出力とプレート間隔との間の関係を示すグラフである。20

【図2】例としての回転ディスク摩擦発電機について、ピークツーピーク出力電圧とプレート間隔との間の関係を示すグラフである。

【図3】摩擦発電機を含む、第1の例としてのエネルギー生成及び／又は変換システムについての構成例のブロック図である。

【図4】摩擦発電機を含む、第2の例としてのエネルギー生成及び／又は変換システムについての構成例のブロック図である。

【図5】螺旋状グループラスト軸受を含む、例としての回転ディスク摩擦発電機についての、螺旋状パーニングの例を示す図である。

【図6】摩擦発電機を含む第3の例としてのシステムについての構成例のブロック図である。30

【図7】摩擦発電機を含む第4の例としてのシステムについての構成例のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0040】

本発明は、エネルギー生成及び／又は変換システム及び方法を提供する。発電機は、発電機の素子が接触されて充電状態を引き起こす接触モードと、発電機の素子が互いから離れ、静電誘導を通じて電気エネルギーが生成される非接触モードとが、周期的に交互になるように制御される。接触及び非接触モードのタイミング及び期間は、発電機の素子の充電状態に依存して、コントローラによって、又はユーザコマンドによって制御される。このようにして、素子は、表面電荷があるレベルより低下し、充電が必要な時にのみ接触されるように制御される。それ故、素子間の接触時間は最小化され、それによって、所与の所望の閾値電力出力を依然として維持する一方で、発生する雑音及び表面の摩耗を最小化する。40

【0041】

実施形態のある特定のセットによれば、発電機は、摩擦発電機を含み、機械エネルギーを収集し、又は機械エネルギーを電気エネルギーに変換するために、摩擦帯電と静電誘導の組み合わせが活用される。後述する特定の例では、特に、摩擦発電素子を含む、システムの実施形態が説明される。

【0042】

摩擦発電機は、非接触モードで動作するが、それらが、摩擦帯電のために密接な接触も50

活用する場合に、より高い電力出力を提供することができる。しかしながら、接触モードで動作することが、雑音及びデバイス寿命（表面の摩耗）を伴う問題をもたらす。

【0043】

本発明の実施形態は、周期的な、又は繰り返される接触モードで発電機が動作する解決策を提案する。実施形態は、摩擦帯電物質の、周期的であるが一時的な短接触を用いた摩擦発電機の動作モードを提供する。繰り返される／周期的な接触の比率は、表面の電荷漏出／損失の比率に関係して制御される。さらに、駆動機構及びフィードバック手法は、（表面電荷が失われた時を判断することによって）接触帯電頻度及び（十分な接触が行われた時を示すことによって）期間を制限し、故に最大電力レベルにおける非接触エネルギー生成期間を最大化するために提供される。以下で開示される駆動システム及び方法の例としての実施形態は、特に、回転ディスク及び往復運動するスライドプレート摩擦発電機に関連して説明される。しかしながら、これらの特定の例は、単なる実例及び例示であると理解されるべきであり、説明される方法及びシステムは、全ての種類の摩擦発電機に適用可能であると、当業者によって理解される。

10

【0044】

回転ディスク摩擦発電機は、摩擦帯電（電荷移送）のために断続的で密接な接触を必要とするが、雑音、摩擦及びデバイス寿命についての問題を克服するために非接触モードで動作するのが理想的である。したがって、非接触モード（即ち、回転子と固定子が分離）を確立するため、及びその後プレート間の隙間高さを正確に制御するための機構は、周期的な接触動作モードを実現する際の2つの重要な課題である。プレートの分離距離は、生成される摩擦電気の電圧及び電力出力に著しい影響を有するため、隙間高さの正確な制御は、特に重要である。

20

【0045】

図1には、PTFE回転子を含む例としての回転プレートTENGについての、mm単位でのプレート間隔（x軸10）とmW単位でのピーク電力出力（y軸12）との間の測定された関係を示すグラフが示されている。上述のように、電力出力は、プレートが接触している（即ち、プレート間隔が0である）時に最大であり、約0.5mWの、図1について測定された例としての回転子についてピーク出力に達する。プレート間隔が増加するにつれて、ピーク電力出力が極端に低下し、ちょうど0.5mmの間隔で80%近くの出力低下を招き、ピーク電力が、ちょうど0.1mWまで低下する。2mmの間隔で、電力出力は、ほぼ0まで低下する。

30

【0046】

同様に、図2は、TENGの同じ例について、mm単位でのプレート間隔（x軸16）と、V単位での出力電圧のピークツーピーク振幅（y軸18）との間の関係を示す。この場合も、プレート間隔の増加に応じて急激な低下が観察され、0.5mmの隙間で約75%のピークツーピーク電圧における減少（約140Vから約35V）を招く。

【0047】

それ故に、効率的に機能するために、駆動機構は、プレート間の分離距離についての高度に正確な制御を行うことが可能な、プレートの分離及び分離解除を行うことが望まれる。

40

【0048】

本発明によるエネルギー変換システムの簡単な第1の実施形態によれば、システムは、調節可能な相対変位を伴うプレートを有するTENGデバイスと、プレートの相対変位の調節及び／又は固定を作動させるための1つ又は複数のメカトロニクス制御素子と、プレートの判断された充電レベル又は状態に応じてメカトロニクス制御素子を制御するための1つ又は複数のコントローラ素子とを備える。

【0049】

図3は、本システムの1つの例としての構成のブロック図を示す。この例では、回転ディスクTENG24が、例示のために示されるが、構成は、（前の節において述べたような）TENGの他の変形に同様に適用されると、当業者によって理解される。TENG2

50

4の回転子26は、機械駆動機構30の機械的出力と動作可能に連結される。駆動機構は、運動又はモータエネルギーの入力源を提供し、それは、システムによって電気エネルギーに変換されることとなる。

【0050】

いくつかの特定の例では、回転ディスクTENGが使用され、固定子28が、一連の配置された(導電性)電極を含み、一方、回転子が、絶縁体(非金属)物質の自立層を含む。この構成によれば、電荷を運ぶディスクのみが、絶縁体固定子層であり、それは、プレート間の静電容量が一定に保たれているという特有の利点を与える。さらに(Long Lin他、Noncontact Free-Rotating Disk Triboelectric Nanogenerator as a Sustainable Energy Harvester and Self-Powered Mechanical Sensor. ACS Appl. Mater. Interfaces, 2014, 6 (4), 3031~3038ページで述べられているように)、そのような構造では、回転部品への電極の蒸着又は電気接続に対する必要性はなく、それは、環境発電の稼働設備を劇的に改善する。

【0051】

駆動機構(又はモータエネルギー源)30は、いくつかの実施形態では、例えば、風力又は水力駆動タービン、振動エネルギー源、又はモータイベントの人力駆動源などの「外部」供給源を含む。この場合、システム22は、「環境発電」システムとして機能し、そこでは、そうでなければ失われる、外部生成エネルギーが捕らえられ、電気エネルギー源に変換される。一方、代替的な実施形態によれば、エネルギー源は、例えば、モータユニットなどのシステム自体の「内部の」供給源を含む。モータユニットは、燃焼、電気、電池、燃料電池、ぜんまい仕掛けのバネ、重力、原子力などの、様々なエネルギー源によって電力供給される。この場合、システム22は、簡単なエネルギー変換機能性を提供する。

【0052】

TENG24の1つ又は両方のプレート26、28に動作可能に連結されるのは、メカトロニクスプレート間隔駆動素子34であり、それは、メカトロニクス制御回路36によって制御される。TENGデバイス24の電気出力40に接続されるのは、シュミットトリガ回路42であり、その出力は、 V_{out} 端子44及びリレースイッチ46の信号入力に接続される。シュミットトリガ回路42は、システム22のためのコントローラとして機能し、リレースイッチ46と連携してメカトロニクス素子34、36の作動、よってプレートの接触及び非接触フェーズのタイミング及び期間を制御する。接触モード及び非接触モード間のプレートの運動は、発電機出力電圧40に応じて、シュミットトリガ回路42によって制御される。例えば、シュミットトリガ回路は、新たな摩擦帶電フェーズの開始を必要とするのに十分な表面電荷が失われたことを示すため、発電機出力電圧/電力の初期レベルを評価し、出力電力/電圧の減少をモニタリングし、その出力を高出力から低出力に切り替えるように適合される。それに応じて、リレー46は、シュミットトリガ回路の出力42に接続されて、ハイ信号出力からロー信号出力へ対応して切り替えられる。メカトロニクス制御回路36は、メカトロニクス駆動素子34が、TENGプレート26、28を接触モードの位置に移動するようにトリガすることによって、ハイからローへのリレー46の切り替えに応答するように適合される。

【0053】

リレー回路は必須ではなく、したがって、いくつかの例では、シュミットトリガ回路42は、2つの間にリレー回路を必要とすることなく、メカトロニクス制御回路36に直接接続されることに留意されたい。

【0054】

いくつかの例では、シュミットトリガ回路42の出力が、ハイからローに切り替えられ、それによって、出力電圧 $V_{TENG}40$ が所与の(第1の)下側閾値レベル V_{low}_{res} より低下することに応じて、接触モードフェーズの制御回路36による

10

20

30

40

50

開始をトリガするように適合される。代替的な例では、シユミットトリガ回路 4 2 は、初期出力電力又は電圧に対する（瞬間）出力電力又は電圧の比率が所与の閾値レベルより低下することに応じて、接触モードフェーズをトリガするように適合される。

【 0 0 5 5 】

さらに、一旦摩擦帯電プロセスがトリガされると、制御電子回路（即ち、この場合はシユミットトリガ回路）は、プレート電荷としての出力電圧／電力の増加をモニタリングし、十分な表面電荷が獲得されて新たな摩擦発電（非接触）モードフェーズの開始が可能となつたことを示すために、ロー出力からハイ出力にそれを切り替えるようにさらに適合される。それに応じて、リレー 4 6 は、対応してローからハイの信号出力に切り替えられる。メカトロニクス制御回路 3 6 は、T E N G プレート 2 6、2 8 を非接触モード（発電モード）の位置に移動するようにメカトロニクス駆動素子 3 4 をトリガすることによって、ローからハイへのリレー 4 6 の切り替えに応答するように適合される。10

【 0 0 5 6 】

非限定的な例示として、シユミットトリガ回路は、上述した例によれば、以下の出力を生成するように適合される。

【 数 1 】

$$V_{out} \begin{cases} 0, & \text{if } V_{lower_thresh} > V_{TENG} \\ 1, & \text{if } V_{upper_thresh} < V_{TENG} \end{cases}$$
20

【 0 0 5 7 】

第 1 の条件 ($V_{out} = 0$) が接触モードを開始し、第 2 の条件 ($V_{out} = 1$) が非接触モードを開始する。

【 0 0 5 8 】

本実施形態では、コントローラは、ある定義された値の範囲内、充電中に到達すると充電が終了されるようにトリガする、ある定義された最大値と、発電中に到達すると充電が開始されるようにトリガする、ある定義された最小値との間に、プレート上の電荷を本質的に維持するように駆動機構を制御する。その結果、電力出力は、同様に、値の何らかの範囲内、充電が最大である時の最大値と、充電が最小である時の最小値との間に維持される。プレート間の接触は、閾値充電範囲を維持するのに必要な最小値にのみ制限される。30

【 0 0 5 9 】

この範囲は、比較的小さいか又は大きいものとして定義され得る。比較的小さな範囲が定義される場合、充電フェーズは、より頻繁にトリガされるが、期間は短くなる。大きな範囲が定義される場合、充電フェーズは、あまり頻繁に発生されないが、毎回の期間は長くなる。これらの要素は、例えば、表面摩耗に対する影響を有する。

【 0 0 6 0 】

メカトロニクスプレート間隔駆動素子 3 4 について、様々な可能性が存在する。いくつかの例では、単純なステッパモータが、異なる相対位置の間でプレートの運動を作動させるために採用される。例えば、駆動素子 3 4 は、2 つのプレート 2 6、2 8 のうちの 1 つだけに動作可能に連結されるステッパモータを含む。他のプレートは、固定の（軸上の）絶対位置に維持され、移動するステッパモータを通じて作動されるプレート間の間隔は、その様々なステップ間で第 1 のプレートに取り付けられる。接触及び非接触モードの位置は、モータの 2 つの隣接するステップを含み、又は、モータの多数のステップによって分離される。代替的な例では、プレート間隔駆動素子は、電動ねじを含む。ここで、寸切ボルト（スピンドル）が、回転子、固定子のいずれか、又は両方に螺着される。プレート間隔の調整は、この構成において、駆動する回転エネルギー源 3 0 の一部を利用してスピンドルを中心にプレートを回転し、それによって回転動作をロッドに対する線形動作に変換4050

することを通じて行われる。精巧なねじのピッチは、例えば、プレートの位置決めを非常に正確に調整することを容易にする。位置決定フィードバックは、例えば、スピンドル上の光学シャフトエンコーダによって、メカトロニクスプレート間隔駆動素子のモータ電流を逆にすることによって行われ、周期的な接触 / 非接触モードが確立され得る。

【0061】

いくつかの例では、制御された電磁石が、回転子 26 及び固定子 28 を共に引っ張るために採用される。電磁石の電流をモニタリングすることは、この場合、フィードバックの一部を形成し、メカトロニクス制御回路 36 のための機構を制御する。アルミニウムなどの非磁性物質で作られた回転子の場合、永久磁石が使用されて、ディスク間の引張力が渦電流によって発生される。その時、分離距離は、発電機の回転速度によって調整され得る。
10 一方、回転速度が、TENGにおいて一定に保たれる必要がある場合、又は、回転速度がシステムによって制御されない実施形態（例えば、モータエネルギー源 30 が、外部供給源である場合）では、制御可能な電磁石が使用される。

【0062】

1つ又は複数の例示的な実施形態によれば、プレート間の間隔は、EAP（電気活性ポリマー）物質、及び / 若しくはSMM（形状記憶素材）、又は機械作動可能な任意の他の応答性物質の層を利用するアクチュエータによってもたらされる。

【0063】

いくつかの実施形態では、プレート間隔機構は、空気圧バネ付き「バルブ」を含み、プレートは、（例えば、バネによって）共に弾力的に圧縮され、加圧された空気が、回転子と固定子との間に送出され、それによって、送出空気の圧力に比例するか又は依存する距離を有するプレート間に間隔をもたらす。一旦空気の供給が停止又は減少すると、バネによってもたらされる反力が、接触モードを引き起こすために自動リバース機構として使用され得る。この実施形態又は他の実施形態によれば、例えば、液圧又は空気圧制御されたシャッタ又はバルブが、送出空気の流量（したがって、供給される圧力）を制御するために使用される。

【0064】

図4は、往復運動してスライドするTENG 52と連携する、加圧空気圧駆動機構 50 を含む、1つの例としての構成を示す。空気圧駆動機構は、TENGのプレート間に加圧された空気を注入し、それによって、いくらかの抵抗する（例えば、バネによって、又は代替的には重力によってもたらされる）圧縮力に対して、プレートの相対間隔を支持する空気軸受を提供する。この例によれば、プレート間の横方向のスライド運動は、TENG 52 の上部（スライドする）プレートと共に連携するように連結される風力又は水力タービンを含む、外部機械駆動機構 56 によって発生される。図3の例でのように、シュミットトリガ回路が、TENG出力電圧 40 の値に応じて、接触及び非接触モードフェーズのタイミング及び期間を制御して、充電（接触）モードが開始されるべき時にロー出力に切り替え、発電（非接触）モードが開始されるべき時にハイ出力に切り替える。これらのハイ及びローの出力は、対応するハイ及びロー信号出力を生成するようにリレー 46 をトリガし、それに応答して、空気圧制御素子 54 は、高圧力（非接触モード）及び低圧力（接触モード）の間で、TENGのプレート間に注入された空気の圧力 / 流量を変化させるために、空気圧ドライバ 50 を制御するように適合される。
30 40

【0065】

非限定的な例示として、シュミットトリガ回路は、上述した例によれば、以下の出力を生成するように適合される。

【数2】

$$V_{out} \begin{cases} 0, & \text{if } V_{lower_thresh} > V_{TENG} \\ 1, & \text{if } V_{upper_thresh} < V_{TENG} \end{cases}$$

【0066】

第1の条件 ($V_{out} = 0$) が接触モードを開始し、第2の条件 ($V_{out} = 1$) が非接触モードを開始する。

10

【0067】

この構成のいくつかの例では、空気圧ドライバ素子50は、空気の流量を制御し、それ故に、空気圧バルブとして、非接触モード及び接触モード間の切り替えを行う。

【0068】

プレート間の間隔を支持する軸受を提供するために空気を使用することは、プレートを操作するためにプレートと固体の機械的接触を行う部品を必要とする为了避免するため、特に望ましい。これは、同様に、不必要的摩耗又は物質の歪みを回避し、又は減少させ、TENGデバイス及び/又はドライバコンポーネントの寿命及び/又は効率を向上させる。さらに、空気軸受は、デバイス全体の中の機械コンポーネントの数を減少させ、潜在的な故障源を除去する。また、継ぎ手/部品間の機械接続に起因して小さな摩擦抵抗があるため、空気軸受はよりエネルギー効率がよい。

20

【0069】

1つの特定の実施形態によれば、高精度な隙間制御のための自己調節型スラスト軸受が、プレート自身の運動を利用して流体力学的揚力源を生成することを通じて、システムに提供される。この例によれば、プレートが回転されると、パターニングが作用してプレート間に空間に加圧空気の膜を生成し、プレートを押し離す力を生成するように、回転ディスクTENGのプレートの内側に面する表面に螺旋状パターニングが提供される。図5は、TENGのプレートに提供される螺旋状パターニングの一例を示し、x軸(60)及びy軸(62)は、幅及び長さの測定値をmm単位でそれぞれ表している(即ち、mm単位で、ディスクの直径を示す)。螺旋状パターンは、固定子、回転子、又はその両方にインプリントされる(又は、彫刻され、レーザ照射され、若しくは当業者によって理解されるような任意の他の適当な手段によって形成される)。

30

【0070】

生成される流体力の大きさは、回転速度に関係し、したがって、プレートがより高速に回転するほど、より大きな力が引き起こされる。例えば、プレート速度及びそれ故揚力の増加及び減少によって、プレート間隔の安定した増加及び減少がもたらされるように、プレートは、プレートと共に押す多少の(小さな)内向きバイアス力を受ける。この場合、TENGプレート自身の運動が、プレート間隔の内向き及び外向きの調整を直接駆動する。プレート間隔は、このようにして非常に正確に制御され得る。

【0071】

40

図6は、上述した自己調節型螺旋状空気軸受を組み込むシステムについての1つの例としての構成のブロック図を示す。

【0072】

この例では、固定子ディスク28に対する回転子ディスク26の機械運動が、モータユニット66によって提供される。モータユニット66の速度は、モータ制御回路68を介して供給源において直接制御される。

【0073】

一方、他の例では、機械運動の供給源は、図4の例でのように、例えば、風力又は水力などの、「外部」機械供給源によってその代わりに提供される。この場合、プレートの速度は、「供給源において」制御されることができないが、例えば、供給源モータ入力に対

50

して何らかの機械抵抗をもたらし、それによって回転速度を制限する、1つ又は複数の追加の作動素子の使用を通じて制御される。最大速度は、この場合、依然としてモータ源によって決定されるが、この供給源の機械出力に抵抗を選択的に加えることによって、TENGへのエネルギー移送の比率が制御され得る。

【0074】

前述した実施形態でのように、図6の構成は、発電機24の出力電圧 V_{TENG} に接続される入力、並びに出力負荷端子44及びリレースイッチ46に接続される出力を有するシュミットトリガ回路42を含む。いくつかの例では、シュミットトリガ回路は、TENG出力が下側閾値 V_{lower_thresh} より低下したと判断することに応答してロー出力を生成し、TENG出力が、上側閾値 V_{upper_thresh} まで上昇したと判断することに応答してハイ出力を生成するように適合される。モータ制御回路68は、モータユニット66の毎分回転数を減少させることによって、接触(充電)モードフェーズが開始されるべきであると示す、リレー46からのロー信号に応答するように適合され、それによって、回転子及び固定子間の揚力を減少させ、2つのプレートが互いに接触される。一旦プレート上の電荷が再構築され、外側の電圧が再び V_{upper_thresh} を超えたら、シュミットトリガ回路42は、リレー46を介して、モータユニットの毎分回転数を再度増加させるようにモータ制御回路68をトリガし、それによって、プレート間の揚力が増加し、非接触モードフェーズが再確立される。

【0075】

上述した実施形態では、発電機の出力電圧の変化は、接触(充電)及び非接触(発電)モードフェーズのタイミング及び/又は期間を決定するために使用される。本発明のこれらの実施形態又は任意の他の実施形態の範囲内では、プレート間の接触がいつ確立されたか、及び確立されたかどうかをコントローラが判断することも望ましい。この情報は、プレートの間隔を機械的に制御する駆動機構に、リアルタイムフィードバックを提供するために利用される。

【0076】

プレート接触情報は、プレート間隔駆動機構によって異なるやり方でシステムによって使用される。図7は、TENG24のプレート間で接触がいつ行われたか、及び行われたかどうかを判断するためにセンサ素子72を組み込む1つの例としてのシステム構成のブロック図を示す。発電機24は、この場合、上述した実施形態の螺旋状空気軸受ドライバを組み込む回転プレート発電機である。この場合、発電機のプレート間の間隔は、モータユニット66の回転速度によって決定される。接触(充電)モードが開始されるべき時、モータ制御回路68は、浮揚効果がちょうど取り除かれるレベルまで、モータの速度をゆっくり減少させる。プレート間の最初の接触は、センサ素子72によって感知され、その時点で、モータ速度の毎分回転数は、一定に保たれ、それによって、プレートを最小量の接触に維持する。これは、上側閾値電圧 V_{upper_thresh} が達成されるまで、摩擦帶電が高められることを可能にする。この時点で、シュミットトリガ回路42の出力電圧は、ローからハイに切り替わり、モータ制御回路は、リレー46によって、もう一度モータ毎分回転数の増加を開始させ、それによって非接触(発電)モードを再開するようトリガされる。

【0077】

センサ素子72は、この場合、接触及び非接触モードフェーズのタイミング又は期間のいずれかを決定せず、これは、図6の実施形態でのように、シュミットトリガ回路42(即ち、システムコントローラ)によって決定される。それは、最小又は最大出力電圧閾値のどちらかに達したことにそれぞれ応じて、モータ速度の減少、又はモータ速度の増加のいずれかを開始するようにモータ制御回路をトリガする。むしろ、センサ素子72は、単に、モータ速度の減少を停止させ、モータ毎分回転数を一定に保つべき時を判断する際に、モータ制御回路68を支援する。プレート間に多少の摩擦がある時に、充電は最も効率的であるため、接触モードを開始する際、モータを完全に停止することは望ましくない。それ故に、センサ素子72は、依然として動いているプレート間に安定した摩擦接触をも

10

20

30

40

50

たらすのにちょうど適切なレベルまで、モータ速度が減少されることを可能にする。

【0078】

センサユニットは、他の例としての実施形態内と同様のやり方で組み込まれる。例えば、センサ素子は、図3の実施形態内で使用され、メカトロニクス素子34を制御する際にメカトロニクス制御回路36にフィードバックを提供する。例えば、メカトロニクス素子34が、可変的な作動を示すアクチュエータ素子（例えば、ステッパモータ）である場合、接触センサは、発電機のプレート間で最初の接触が行われた時に感知し、現在のステップにおいて作動を止めるように制御回路36をトリガする。

【0079】

発電機素子間の接触感知を実現する特徴又は機構について、様々な可能性が存在する。
非限定的な例として、センサ素子72は、発電機の電圧出力と通信する追加のトリガ回路を単に含み、電圧出力の「転換点」、すなわち、発電機の出力が低下しなくなり、増加し始める（接触が行われ、充電が開始したことを示す）点を検出するように適合される。

【0080】

代替的に、センサ素子は、例えば、所与の閾値レベルに達するインピーダンス、具体的には、静電容量の変化を検出するように適合される。センサは、2つのプレート間の物理的接触から生じる音響信号を検出するように適合される音響センサである。適用可能な場合、TENGをモータ駆動するパラメータは、表面接触の指標、例えば、モータ電流として使用される。

【0081】

いくつかの場合、回転ディスクTENGの回転率が測定され、接触を決定するために使用される。例えば、回転率は、典型的には、表面抵抗が突然増加する時、（駆動力が一定のままであると仮定して）プレートの接触時いくらかの小さな量だけ突然減少する。これは、例えば、加速度計を用いて測定される。

【0082】

光学又は視覚信号が検出され、プレート接触を決定するために利用され、例えば、運動又は近接センサが、プレートの相対位置を検出するために使用される。接触は、触覚フィードバックを通じて、例えば、プレートが接触する際の振動を感じて、判断される。センサ素子72は、いくつかの場合、軸方向変位トランスデューサ又は近接センサを含む。

【0083】

表面の動力学がモニタリングされ、様々なパラメータ、例えば、摩擦モーメント、摩擦トルク、又は表面力が、充電が開始されたかどうかを判断するために使用される（例えば、非常に高感度の表面力の測定値が、引力及び反発力をモニタリングすることを通じて相対表面近接を決定するために使用される）。

【0084】

共振負荷を駆動する摩擦発電機の場合、発電機がエネルギー生成を開始し、共振負荷に連結される時、負荷周波数が変化する。これは、充電が開始されたことを示すのに使用される。

【0085】

いくつかの実施形態では、摩擦帯電フェーズの期間が終了可能な時をより良く決定するために、システムが、摩擦帯電フェーズ中の摩擦帯電レベルの決定を可能にするためのさらなる特徴を含むことが望ましい。図3、図4、図6、及び図7の特定の実施形態では、これは、シユミットトリガ回路42単体によって達成される。これは、発電機24、52の出力電圧が、予め決定された上側閾値レベルより下から上へと増加することに応答して、非接触モードの開始をトリガする。代替的には、異なった比較回路が提供され、初期出力電力又は電圧に対する瞬間出力電力又は電圧の比率が、特定の上側閾値を超えたと判断し、それによって、表面に十分な充電が行われたと判断するように適合される。

【0086】

一方、他の実施形態では、充電状態は、上記の例でのようなシユミットトリガ（又は、他の比較回路）ではなく、他の手段によって判断される。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 7 】

非限定的な例として、実施形態は、2つのプレート間の摩擦熱を感知又は測定することを通じて、充電モードの間の充電レベルを判断する。これは、例えば、簡単なサーミスターを用いて測定され得る。代替的には、摩擦電気的にアクティブな表面の間で発生される摩擦トルク（モーメント）が、検出され、又は測定される。代替的には、共振負荷を駆動する発電機の場合、発電機の周波数が、共振器の周波数と合致する時、入力電流が低下する。発電機の周波数が、共振器の周波数に接近するのを観察することは、充電が完了していることを示すのに使用され得る。

【 0 0 8 8 】

これらの実施形態又は任意の他の実施形態では、摩擦電気システムは、センサ又は他の入力手段によって、摩擦帯電が必要な時、及び摩擦帯電が完了した時を判断するように適合される中央コントローラユニットを含む。この機能は、例えば、コンピュータコントローラユニットによって実行され、接触及び非接触モードフェーズのタイミング及び期間の決定が、ソフトウェアを用いて実行される。

【 0 0 8 9 】

上述した例としての実施形態は、プレートの電荷レベル（故に、電力出力／電圧レベル）が、ある最小の所望レベルより低下しないようにしながら、全体の接触時間、故にプレート間の接触摩耗を最小化するように、摩擦発電機の接触及び非接触モードフェーズを調整及び制御するためのシステムを提供する。これらの例によれば、特定の範囲のプレート電荷レベル、及び電力出力レベルは、その点で接触が開始される下側閾値と、その点で接触が終了される上側閾値との間で、出力が周期的に変化して許容される。

【 0 0 9 0 】

実施形態では、接触及び非接触モードは、多様な特定のプレートパラメータの変化に応じてトリガされ、これらのパラメータは、直接又は間接のいずれかによりプレートの充電状態にリンクされる。例えば、システムは、プレートの1つ又は両方の摩擦電気電圧（即ち、プレートの電位）、プレートの1つ又は両方の摩擦電気の表面電荷密度、発電中（非接触モード）のプレート全体の、又はプレート上の静電誘導された電流／電荷のうち、1つ又は複数をモニタリングするように適合されるデバイスを含む。

【 0 0 9 1 】

いくつかの実施形態では、接触及び非接触フェーズのタイミング及び／又は期間の制御は、ユーザ入力コマンドに応答して、又はユーザ入力コマンドに依存して実行される。この場合、コントローラは、異なるモードのタイミング及び／又は期間を手動で制御する際に使用する、プレートの充電状態などのシステムのパラメータに関する情報を出力するよう適合される。この出力情報は、提供されるディスプレイユニットを介して、例えば、スピーカ素子を通じて、視覚的に又は聴覚的に、ユーザに伝達される。代替的には、一例として、出力情報は、振動する制御ハンドル又はジョイスティックを介して触覚的に伝達される。直接のユーザと機械とのインタラクションは、例えば、統合型ジョイスティックなどの、1つ又は複数のユーザフィードバック素子を介して可能となり、「生の」情報が、例えば、発電機の充電状態又は他のパラメータに関して、ユーザに中継され、ユーザが、システムを制御するための入力制御コマンドを提供する際に、直接応答することが可能となる。

【 0 0 9 2 】

1つ又は複数の実施形態によれば、システムは、完全に「手動の」摩擦帯電及び摩擦発電機能性を提供する。充電及び非充電モードフェーズのタイミング及び／又は期間、並びにメカトロニクス又はプレート間の相対間隔の制御が、様々なユーザ入力／出力素子を介してユーザによって完全に制御される。代替的には、システムは、「混合モードの」機能性を提供し、システムの制御は、部分的に自動化され、部分的に（手動で）ユーザ制御される。例えば、接触及び非接触モードフェーズのタイミング及び／又は期間の制御が、手動でユーザ入力コマンドに応答して選択可能に提供される一方、メカトロニクス又はプレート間隔の制御／駆動は自動化される。それ故に、コントローラは、ある専用ユーザ入力

10

20

30

40

50

コマンドに応答して、充電又は非充電モードのいずれかの開始、又はいずれかからの移行若しくはいずれかへの移行を自動的に制御するように適合される。この場合、モードが変更された時にユーザが制御するが、例えば、コントローラが、プレートを物理的に再構成するプロセスを自動的に制御する。

【0093】

代替的な実施形態では、やはり、システムは、完全に自動化された動作モード、完全に手動の動作モード、及び／又は1つ若しくは複数の「混合モード」の動作モードの間で切り替え可能である。このようにして、ユーザは、システムが自動的に自己調節させておくように決定するか、又は、ユーザ制御を許容するか若しくは必要とするようにシステムを切り替えることを選択する。

10

【0094】

上述の摩擦電気エネルギー変換システムの実施形態についての適用例は、極めて多数である。特に、専用の電源又はデバイスの一次電源への供給ラインを提供する必要なしに、デバイス内の小さなコンポーネントの電力供給のために小さな電流源を生成する能力は、極めて有益である。その通常動作の過程において、モータエネルギー源を生成するか、又はモータエネルギー源にアクセス可能かのいずれかである、任意のデバイスは、局所的に配置されたTENG発電機を通じて、デバイス又はコンポーネント部品に電流又は電圧を提供する。

【0095】

本発明は、多くの発電機、特に、非接触モードで動作し、発電機に必要な電荷を失う発電機において、使用され得る。そのような発電機は、以下の種類から知られるように、実際にはTENG発電機である。

20

【0096】

第1の動作モードは、垂直接触分離モードである。垂直接触分離モードでは、2つ以上のプレートが、加えられた力によって、周期的に接触され、又は接触解除される。そのようなデバイスの一例が、Peng Bai他の「Integrated Multilayered Triboelectric Nanogenerator for Harvesting Biomechanical Energy from Human Motions」ACS Nano 2013 7(4)、3713~3719ページの記事に記載されている。ここで、デバイスは、ジグザク形状の基板上に形成される複数の層構造を含む。デバイスは、接触帶電に起因する表面電荷移送に基づいて動作する。構造に圧力が加えられる時、ジグザク形状が圧縮されて、異なる層との間に接触が作り出され、圧力が解除されると、接触が解除される。

30

【0097】

エネルギーがスライド運動から収集されることを可能にする設計が、「Free-standing Triboelectric-Layer-Based Nanogenerators for Harvesting Energy from a Moving Object of Human Motion in Contact and Non-Contact Modes」Adv. Mater. 2014, 26, 2818-2824の記事に開示されている。自立可動層は、1対の静的電極の間でスライドする。可動層は、静的電極と接触しないように構成され（即ち、静的電極の上の小さな空間において）、又はスライド接触を行う。

40

【0098】

第3の動作モードは、1つの表面が、例えば床面の道に、例えば接地され、負荷は、この第1の表面と接地の間に接続される、単一の電極モードである（例えば、Yang、Ya他の「Single-electrode-based sliding triboelectric nanogenerator for self-powered displacement vector sensor system」ACS nano 7.8 (2013) : 7342-7351を参照）。第1の表面に電気的に接続されない第2の表面は、第1の表面に接触されて、それを摩擦帶電させる。第2の表面が、

50

第1の表面から離れて移動するについて、第1の表面の余分な電荷が接地側に追いやられ、負荷を横切って電流を提供する。それ故に、(単一層上の) 単一電極のみが、出力電流を提供するためにこの動作モードで使用される。

【 0 0 9 9 】

第4の動作モードは、自立摩擦電気層モードであり、それは、電気接続が行われていない、任意の動く物体からエネルギーを収集するために設計される。この物体は、例えば、通行する車、通行する電車、又は靴である。（再び、「Triboelectric nanogenerators as new energy technology for self-powered systems and as active mechanical and chemical sensors」ACS nano 7.11(2013) : 9533-9557を参照。）

[0 1 0 0]

接触帶電に基づく2重アーチ形状構成などの、摩擦発電機のさらなる設計が存在する。圧力は、アーチをアーチ層の間に接触させるように閉じ、圧力が解除されると、アーチは開いた形状に戻る。周囲の振動からエネルギーを捕らえるための高調波共振器として形成される摩擦帶電型ナノ発電機も、提案される。

[0 1 0 1]

開示された実施形態に対する他の変形は、図面、開示、及び添付の特許請求の範囲の調査から、特許請求される発明を実施する際に当業者によって理解され、もたらされ得る。特許請求の範囲において、「備える（comprising）」という語は、他の要素又はステップを除外するものではなく、不定冠詞「a」又は「an」は、複数を除外しない。ある手段が、相互に異なる従属請求項に記載されているという単なる事実は、これらの手段の組み合わせを利用することができないということを示すものではない。特許請求の範囲におけるいかなる引用符号も、範囲を限定するものとして解釈されるべきではない。

20

【 图 1 】

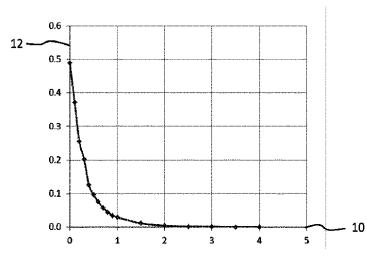


FIG. 1

〔 四 2 〕

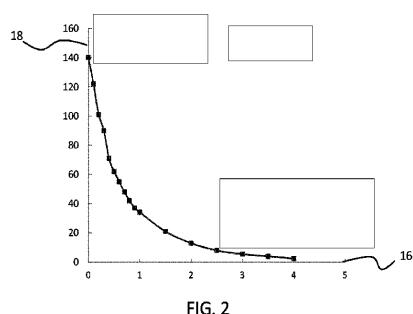


FIG. 2

〔圖3〕

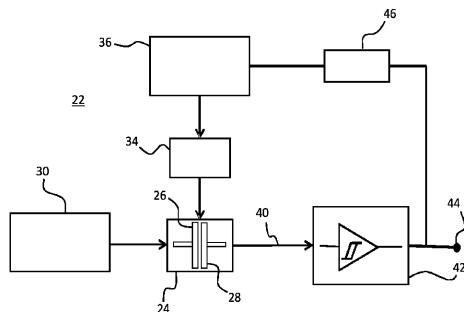
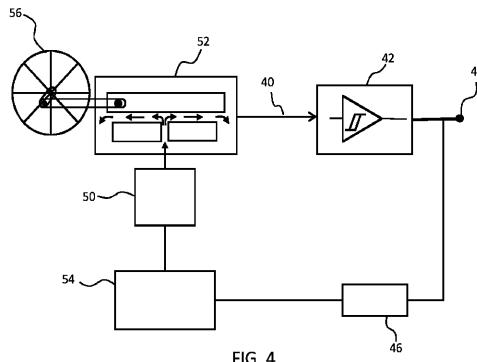


FIG. 3

【 四 4 】



【図5】

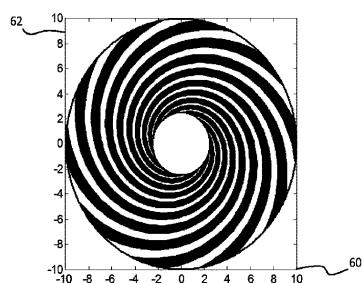


FIG. 5

【図7】

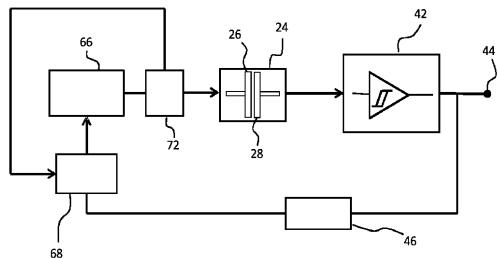


FIG. 7

【図6】

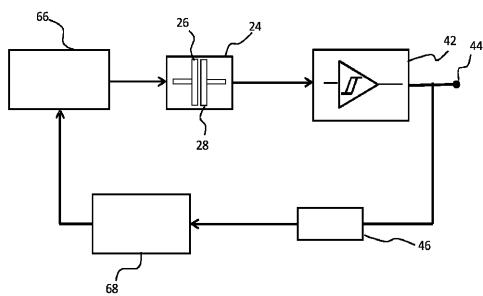


FIG. 6

フロントページの続き

(72)発明者 ジョンソン マーク トーマス
オランダ国 5656 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5
(72)発明者 ゲルハルト ルツ クリストチャン
オランダ国 5656 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5
(72)発明者 フランクリン スティーブン アーネスト
オランダ国 5656 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5
(72)発明者 デビー アラン ジェームズ
オランダ国 5656 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5
(72)発明者 ジョイエ ネイル フランシス
オランダ国 5656 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5
(72)発明者 ラトガース アンドリュー ウーリッヒ
オランダ国 5656 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5

審査官 三澤 哲也

(56)参考文献 特表2008-507250(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02N 1/04