

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5031727号  
(P5031727)

(45) 発行日 平成24年9月26日(2012.9.26)

(24) 登録日 平成24年7月6日(2012.7.6)

(51) Int.Cl.

F I

H O 2 K 35/00 (2006.01)

H O 2 K 35/00

H O 2 N 2/18 (2006.01)

H O 2 N 2/00

A

請求項の数 21 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2008-505951 (P2008-505951)  
 (86) (22) 出願日 平成18年4月11日(2006.4.11)  
 (65) 公表番号 特表2008-536470 (P2008-536470A)  
 (43) 公表日 平成20年9月4日(2008.9.4)  
 (86) 国際出願番号 PCT/GB2006/001304  
 (87) 国際公開番号 W02006/109037  
 (87) 国際公開日 平成18年10月19日(2006.10.19)  
 審査請求日 平成21年3月23日(2009.3.23)  
 (31) 優先権主張番号 0507390.3  
 (32) 優先日 平成17年4月12日(2005.4.12)  
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

(73) 特許権者 507340234  
 パーペトゥウム、リミテッド  
 PERPETUUM LTD.  
 イギリス国サウサンプトン、チルワース、  
 サイエンス、パーク、エプシロン、ハウス  
 (74) 代理人 100075812  
 弁理士 吉武 賢次  
 (74) 代理人 100091982  
 弁理士 永井 浩之  
 (74) 代理人 100096895  
 弁理士 岡田 淳平  
 (74) 代理人 100117787  
 弁理士 勝沼 宏仁  
 (74) 代理人 100127465  
 弁理士 堀田 幸裕

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 機械的振動エネルギーの電気エネルギーへの変換

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換するための電気機械的デバイスであって、減衰係数および共振周波数を持つ速度減衰共振器である電気機械的デバイスと、

前記電気機械的デバイスが出力した電力を検出するための電力検出器と、

制御装置と、

前記電気機械的デバイスの前記減衰係数を調節するための減衰係数調節器と、を備え、

前記制御装置は、前記電力検出器が検出した電力出力に応じて前記減衰係数調節器を制御するように構成されている

ことを特徴とする電気機械的発電機。

【請求項 2】

前記減衰係数調節器は、予め設定された第1減衰係数をデフォルトとするように設定される

ことを特徴とする請求項1に記載の電気機械的発電機。

【請求項 3】

前記減衰係数調節器は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が前記電力検出器によって検出されると、予め設定された第1減衰係数をデフォルトとするように、設定されることを特徴とする請求項2に記載の電気機械的発電機。

【請求項 4】

前記減衰係数調節器は、前記電力検出器が共振周波数で最大電力出力を検出した後、前

記制御装置の制御下で、前記減衰係数を前記予め設定された第 1 減衰係数から減少させるようになされている

ことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の電気機械的発電機。

【請求項 5】

前記減衰係数調節器は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が前記電力検出器によって検出されない場合に、前記第 1 減衰係数よりも高い予め設定された第 2 減衰係数をデフォルトとするように、設定される

ことを特徴とする請求項 2、3 または 4 に記載の電気機械的発電機。

【請求項 6】

前記電気機械的デバイスの共振周波数を調節するための共振周波数調節器をさらに備える、 10

前記制御装置は、前記電力検出器によって検出された出力電力に応じて前記共振周波数調節器を制御するように構成されている

ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の電気機械的発電機。

【請求項 7】

前記共振周波数調節器は、予め設定された第 1 周波数をデフォルトとするように設定される

ことを特徴とする請求項 6 に記載の電気機械的発電機。

【請求項 8】

前記共振周波数調節器は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が前記電力検出器によって検出されると、予め設定された第 1 周波数をデフォルトとするように、設定されることを特徴とする請求項 7 に記載の電気機械的発電機。 20

【請求項 9】

前記共振周波数調節器は、特定の減衰係数において、前記制御装置の制御下で、前記第 1 周波数から周波数を変化させるようになされており、

前記周波数は、前記電力検出器によって最大電力出力が検出されるまで、変化させられる

ことを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の電気機械的発電機。

【請求項 10】

前記共振周波数調節器は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が前記電力検出器によって検出されない場合に、前記第 1 周波数とは異なる予め設定された第 2 周波数をデフォルトとするように、設定される 30

ことを特徴とする請求項 6 乃至 9 のいずれか一項に記載の電気機械的発電機。

【請求項 11】

前記電気機械的デバイスの前記共振器は所定のばね定数を有し、

前記共振周波数調節器は、前記ばね定数を調節することによって共振周波数を制御するようになされている

ことを特徴とする請求項 6 乃至 10 のいずれか一項に記載の電気機械的発電機。

【請求項 12】

前記制御装置を駆動するための電力回路であって、前記出力電力によって駆動される電力回路をさらに備える 40

ことを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の電気機械的発電機。

【請求項 13】

前記電気機械的デバイスからの最大出力電力を確認するためのコンパレータを、前記制御装置内に、さらに備える

ことを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の電気機械的発電機。

【請求項 14】

前記制御装置は、前記減衰係数調節器を定期的に制御するようになされている

ことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか一項に記載の電気機械的発電機。

【請求項 15】

前記制御装置は、前記共振周波数調節器を定期的に制御するようになされていることを特徴とする請求項 6 乃至 11 のいずれか一項に従属する請求項 14 に記載の電気機械的発電機。

【請求項 16】

前記制御装置は、前記共振周波数調節器を定期的に制御して、前記電気機械的発電機の振動の周囲周波数における何らかの変化に適応するように、なされていることを特徴とする請求項 15 に記載の電気機械的発電機。

【請求項 17】

前記電気機械的デバイスは、電磁結合によって機械力を電力に変換するようになされている

10

ことを特徴とする請求項 1 乃至 16 のいずれか一項に記載の電気機械的発電機。

【請求項 18】

前記電気機械的デバイスは、圧電結合によって機械力を電力に変換するようになされている

ことを特徴とする請求項 1 乃至 16 のいずれか一項に記載の電気機械的発電機。

【請求項 19】

電気機械的発電機を用いて機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換する方法であって、

減衰係数および共振周波数を持つ速度減衰共振器を含む電気機械的デバイスを準備する工程と、

20

前記電気機械的デバイスを振動させる工程と、

前記電気機械的デバイスからの出力電力を検出する工程と、

前記検出された出力電力に応じて前記電気機械的デバイスの減衰係数を調節する工程と、を備える

ことを特徴とする方法。

【請求項 20】

前記準備する工程は、

前記減衰係数を、予め設定された第 1 減衰係数に設定する工程と、

前記共振周波数を、予め設定された第 1 周波数に設定する工程と、を含み、

前記調節する工程は、

30

前記電気機械的デバイスの前記共振周波数を、前記予め設定された第 1 減衰係数で最大電力出力が検出されるまで前記予め設定された第 1 周波数から変化させ、前記共振周波数を最終共振周波数に変化させる工程と、

前記最終共振周波数で最大電力出力が検出されるまで、前記電気機械的デバイスの前記減衰係数を前記予め設定された第 1 減衰係数から減少させる工程と、を備える

ことを特徴とする請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

前記電気機械的デバイスからの出力電力を検出する工程と、前記予め設定された第 1 減衰係数で最大電力出力が検出されるまで前記電気機械的デバイスの前記共振周波数を前記予め設定された第 1 周波数から変化させ、前記共振周波数を最終共振周波数に変化させる工程と、前記最終共振周波数で最大電力出力が検出されるまで、前記電気機械的デバイスの前記減衰係数を前記予め設定された第 1 減衰係数から減少させる工程と、は定期的に繰り返し続けて実施され、これにより、前記減衰係数および前記共振周波数を制御することを特徴とする請求項 20 に記載の方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換するための電気機械的発電機、および、機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換する方法に関する。詳細には、本発明は、例えばインテリジェントセンサシステムに電力を提供するのに使用するための、周囲振

50

動エネルギーを電気エネルギーに変換することができる小型発電機等のデバイスに関する。このようなシステムは、電力の提供またはセンサのデータ伝送を行うために導線を取り付けることが実際上不可能なアクセス不能領域で 사용할 ことができる。

【発明の背景および発明の概要】

【0002】

現在、超小型電気機械的システム(MEMS)デバイス用の代替電源の分野で、研究活動のレベルが向上している。このようなデバイスは、当該技術分野において、「エネルギー獲得」に使用され、「寄生電源(parasitic power)」として使用されると説明されている。このような電源は、無線センサに電力を提供するため、現在研究中である。

【0003】

10

周囲振動から有用な電力を獲得するため、電気機械的発電機を使用することが既知である。代表的な磁石-コイル発電機は、システムが振動したとき、磁石コアが形成する磁束をコイルが横切るように磁石またはコイルに取り付けられたばね-質量組み合わせを含む。振動時に移動する質量は、片持ち梁ビームに取り付けられている。ビームが磁石コアに連結されており、コイルがデバイスのエンクロージャーに対して固定されていてもよいし、その逆の構成であってもよい。

【0004】

例えば、WO-A-2005/022726には、様々なコイル/磁石形体を持ち、詳細には多層デバイスに組み込んだ、周囲振動(ambient vibration)から有用な電力を獲得するための電気機械的発電機が開示されている。

20

【0005】

2004年6月に刊行されたマイクロメカニカルシステムズ誌の第13巻第3号の第335頁乃至第342頁に記載されたミッチェソン等の「振動駆動式超小型発電機の構造」という表題の論文には、様々な電気機械的発電機が開示されている。詳細には、速度減衰共振発電機(VDRG)が開示されている。この発電機は、質量-ばねシステムからエネルギーを取り出すためのダンパーを含む。このようなダンパーは、例えば、二つの磁石がキーパーに取り付けられてC形状コアを形成し、コイルが、磁石間の空隙に、片持ち梁ビームの質量の移動方向に対して直角に配置された磁石-コイル発電機を含んでいてもよい。

【0006】

30

執筆者達は、速度減衰共振発電機から得ることのできる最大電力を決定するため、減衰ファクタを確認した。詳細には、執筆者達は、最大電力が得られる最適の減衰ファクタについて計算を行った。速度減衰共振発電機の共振周波数を使用して最適の減衰ファクタを計算した。

【0007】

この従来の開示により、理論的電気機械的発電機を設計するための有用な機構を製造したが、電気機械的発電機を実際の用途で使 用した場合、共振周波数または最適の減衰ファクタを正確に予想することはできない。電気機械的発電機は、起りそうな作動条件について設計され且つ調整される。しかしながら、実際の作動条件が、特定の用途に対し、電気機械的発電機を調整するのに使用された理論的且つ理想的な条件と一致するという保証はどこにもない。実際には、電気機械的発電機は、起りそうな作動条件の狭い範囲に亘って作動することができるように調整される。詳細には、電力出力が最適の電力出力を含む所定範囲内にあるように減衰ファクタを調整する。しかしながら、実際の電力出力が特定の用途に対して最適化されることは非常にまれである。したがって、電気機械的発電機は、機械的振動エネルギーを電気エネルギーに、これにともなって、有用な電力に変換する上で最大効率では作動しない。

40

【0008】

さらに、周囲振動の周波数は、作動中に変化してしまう。既知の電気機械的発電機は、こうした変化により、最大効率で作動することはできない。

【0009】

50

別の技術では、US - A - 2004 / 0041315には、特にヘリコプター等の航空機で使用するための、質量 - バネダンパーシステムと関連したエネルギー変換器を組み込んだ振動減衰デバイスが開示されている。制御回路は、減衰を二つの極値間で変化させることができる。フライトコンピュータを使用し、制御回路は、航空機が安定して飛行している場合に第1制御値を採用し、航空機が進行方向変更状態にある場合に第2制御値を採用する。この開示は、周囲振動から有用な電力を獲得するための電気機械的発電機と関連していない。

【0010】

したがって、機械的振動エネルギーを電気的エネルギーに、これにともなって有用な電力に変換する効率を高める必要がある。

10

【0011】

本発明の目的は、機械的振動エネルギーを電気的エネルギーに変換するための、実際に使用されている既知のデバイスよりも高い効率で作動することができる、改良電気機械的発電機を提供することである。

【0012】

本発明の目的は、さらに、機械的振動エネルギーを電気的エネルギーに変換するための、実際に使用されている既知のデバイスを使用するよりも高いエネルギー変換効率で作動することができる、電気機械的発電機を作動するための改良された方法を提供することである。

【0013】

したがって、本発明は、機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換するための電気機械的デバイス (electromechanical generator) であって、減衰係数および共振周波数 (共振振動数) を持つ速度減衰共振器 (velocity damped resonator) である電気機械的デバイスと、前記電気機械的デバイスが出力した電力を検出するための電力検出器と、制御装置と、前記電気機械的デバイスの前記減衰係数を調節するための減衰係数調節器と、を備え、前記制御装置は、前記電力検出器が検出した電力出力に応じて前記減衰係数調節器を制御するように構成されていることを特徴とする、電気機械的発電機を提供する。

20

【0014】

好ましくは、前記減衰係数調節器は、予め設定された第1減衰係数をデフォルトとするように設定される。

【0015】

さらに好ましくは、前記減衰係数調節器は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が前記電力検出器によって検出されると、予め設定された第1減衰係数をデフォルトとするように、設定される。

30

【0016】

好ましくは、前記減衰係数調節器は、前記電力検出器が共振周波数で最大電力出力を検出した後、前記制御装置の制御下で、前記減衰係数を前記予め設定された第1減衰係数から減少させるようになされている。

【0017】

任意ではあるが、前記減衰係数調節器は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が前記電力検出器によって検出されない場合に、前記第1減衰係数よりも高い予め設定された第2減衰係数をデフォルトとするように、設定される。

40

【0018】

好ましい実施の形態において、電気機械的発電機は、前記電気機械的デバイスの共振周波数を調節するための共振周波数調節器をさらに備え、前記制御装置は、前記電力検出器によって検出された出力電力に応じて前記共振周波数調節器を制御するように構成されている。

【0019】

好ましくは、前記共振周波数調節器は、予め設定された第1周波数をデフォルトとするように設定される。

【0020】

50

さらに好ましくは、前記共振周波数調節器は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が前記電力検出器によって検出されると、予め設定された第1周波数をデフォルトとするように、設定される。

【0021】

好ましくは、前記共振周波数調節器は、特定の減衰係数において、前記制御装置の制御下で、前記第1周波数から周波数を変化させるようになされており、前記周波数は、前記電力検出器によって最大電力出力が検出されるまで、変化させられる。

【0022】

代表的には、周波数は増加されるが、用途によっては、周波数は減少されるようにしてもよい。

10

【0023】

任意ではあるが、前記共振周波数調節器は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が前記電力検出器によって検出されない場合に、前記第1周波数とは異なる予め設定された第2周波数をデフォルトとするように、設定される。

【0024】

代表的には、予備設定された第2周波数は、予備設定された第1周波数よりも高い。

【0025】

好ましくは、前記電気機械的デバイスの前記共振器は所定のばね定数を有し、前記共振周波数調節器は、前記ばね定数を調節することによって共振周波数を制御するようになされている。

20

【0026】

電気機械的発電機は、前記制御装置を駆動するための電力回路であって、前記出力電力によって駆動される電力回路をさらに備えるようにしてもよい。

【0027】

電気機械的発電機は、前記電気機械的デバイスからの最大出力電力を確認するためのコンパレータを、前記制御装置内に、さらに備えるようにしてもよい。

【0028】

好ましくは、前記制御装置は、前記減衰係数調節器を定期的に制御するようになされている。

【0029】

30

好ましくは、前記制御装置は、前記共振周波数調節器を定期的に制御するようになされている。

【0030】

さらに好ましくは、前記制御装置は、前記共振周波数調節器を定期的に制御して、前記電気機械的発電機の振動の周囲周波数（周囲振動数、ambient frequency）における何らかの変化に適応するように、なされている。

【0031】

前記電気機械的デバイスは、電磁結合によって又は圧電結合によって、機械力（mechanical power）を電力（electrical power）に変換するようになされていてもよい。

【0032】

40

本発明は、電気機械的発電機を用いて機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換する方法であって、減衰係数および共振周波数を持つ速度減衰共振器を含む電気機械的デバイスを準備する工程と、前記電気機械的デバイスを振動させる工程と、前記電気機械的デバイスからの出力電力を検出する工程と、前記検出された出力電力に応じて前記電気機械的デバイスの減衰係数を調節する工程と、を備えることを特徴とする、方法をさらに提供する。

【0033】

方法は、前記減衰係数を、予め設定された第1減衰係数に設定する工程をさらに備えるようにしてもよい。

【0034】

50

好ましくは、予め設定された閾値よりも高い出力電力が検出されると、前記減衰係数は予め設定された第1減衰係数に設定される。

【0035】

方法は、共振周波数で最大電力出力を検出した後に、減衰係数を前記予め設定された第1減衰係数から減少させる工程を、さらに備えるようにしてもよい。

【0036】

方法は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が検出されない場合に、前記第1減衰係数よりも高い予め設定された第2減衰係数に前記減衰係数を設定する工程を、さらに備えるようにしてもよい。

【0037】

方法は、前記検出された出力電力に応じて前記電気機械的デバイスの前記共振周波数を調節する工程を、さらに備えるようにしてもよい。

【0038】

方法は、前記共振周波数を、第1周波数に設定する工程をさらに備えるようにしてもよい。

【0039】

好ましくは、予め設定された閾値よりも高い出力電力が検出されると、前記共振周波数は予め設定された第1周波数に設定される。

【0040】

好ましくは、前記共振周波数は、特定の減衰係数において、予め設定された第1周波数から、最大電力出力が検出されるまで変化させられる。

【0041】

代表的には、周波数は増加されるが、用途によっては、周波数は減少されるようにしてもよい。

【0042】

好ましくは、前記共振周波数は、予め設定された閾値よりも高い出力電力が検出されない場合に、前記第1周波数とは異なる予め設定された第2周波数に設定される。

【0043】

代表的には、予備設定された第2周波数は、予備設定された第1周波数よりも高い。

【0044】

好ましくは、前記電気機械的デバイスからの前記出力電力を検出する工程と、前記検出された出力電力に応じて前記電気機械的デバイスの減衰係数を調節する工程と、は定期的に繰り返し続けて実施され、これにより、前記減衰係数を制御する。

【0045】

さらに好ましくは、前記周波数は定期的に変化させられる。

【0046】

さらに好ましくは、前記周波数は定期的に変化させられ、これにより、電気機械的発電機の振動の周囲周波数における何らかの変化に適応するようになっている。

【0047】

好ましくは、前記電気機械的デバイスは、電磁結合によって又は圧電結合によって、機械力を電力に変換するようになされている。

【0048】

本発明は、電気機械的発電機を用いて機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換する方法であって、減衰係数および共振周波数を持つ速度減衰共振器を含む電気機械的デバイスを準備する工程と、前記減衰係数を、予め設定された第1減衰係数に設定する工程と、前記共振周波数を、予め設定された第1周波数に設定する工程と、前記電気機械的デバイスを振動させる工程と、前記電気機械的デバイスからの出力電力を検出する工程と、前記電気機械的デバイスの前記共振周波数を、前記予め設定された第1減衰係数で最大電力出力が検出されるまで前記予め設定された第1周波数から変化させ、前記共振周波数を最終共振周波数に変化させる工程と、前記最終共振周波数で最大電力出力が検出されるまで、前

10

20

30

40

50

記電気機械的デバイスの前記減衰係数を前記予め設定された第 1 減衰係数から減少させる工程と、を備えることを特徴とする、方法をさらに提供する。

【 0 0 4 9 】

代表的には、最終共振周波数は予備設定された第 1 周波数よりも高いが、用途によっては、最終共振周波数は予備設定された第 1 周波数よりも低くてもよい。

【 0 0 5 0 】

好ましくは、前記電気機械的デバイスからの出力電力を検出する工程と、前記予め設定された第 1 減衰係数で最大電力出力が検出されるまで前記電気機械的デバイスの前記共振周波数を前記予め設定された第 1 周波数から変化させ、前記共振周波数を最終共振周波数に変化させる工程と、前記最終共振周波数で最大電力出力が検出されるまで、前記電気機械的デバイスの前記減衰係数を前記予め設定された第 1 減衰係数から減少させる工程と、は定期的に繰り返し続けて実施され、これにより、前記減衰係数および前記共振周波数を制御する。

【 0 0 5 1 】

さらに好ましくは、前記周波数は定期的に変化させられ、これにより、電気機械的発電機の振動の周囲周波数における何らかの変化に適応するようになっている。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 5 2 】

以下、本発明の一実施の形態を、添付図面を参照し、単なる例として説明する。

【 0 0 5 3 】

図 1 は、本発明の一実施の形態で用いられる、機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換するための電気機械的デバイス 2 を示す。電気機械的デバイス 2 は、エンクロージャー 6 内に取り付けられた共振質量 - ばね構成 4 を使用する。共振質量 - ばね構成 (resonant mass-spring arrangement) 4 は、エンクロージャー (enclosure、囲い) 6 の内壁 10 にばね 12 およびダンパー 14 によって取り付けられた慣性質量 8 を含む。ばね 12 およびダンパー 14 は、平行に配列されている。

【 0 0 5 4 】

エンクロージャー 6 を方向 A - A に沿って移動させる外部振動源をエンクロージャー 6 に適用した場合、慣性質量 8 がエンクロージャー 6 に対して移動することができる。この移動もまた、方向 A - A に沿って生じる。これを行うと、ばね 12 の長さが変化し、圧縮されるか或いは伸長され、ダンパー 14 に対して仕事を行う。

【 0 0 5 5 】

図 1 では、簡単にするため、ダンパー 14 をピストン - シリンダ構成 (piston and cylinder arrangement) として概略的に示した。しかしながら、当業者に知られているように、ダンパー 14 は、その二つの部品に相対的移動が加わったときに電流を発生することができるアセンブリを含む。電磁結合 (electromagnetic coupling) により又は圧電結合 (piezoelectric coupling) により、機械的動力を電力に変換してもよい。代表的には、並進移動可能に構成された「ピストン」は電気コイルを含み、定置であるように構成された「シリンダ」は、磁気アセンブリを含む。電気コイルは磁気アセンブリが発生する磁束領域の内部に配置される。しかしながら、逆の構成を使用してもよい。電気コイルが磁束内で移動することにより、電気コイルに電流を誘導し、これを外部デバイス (図示せず) を駆動するための電源として使用することができる。

【 0 0 5 6 】

本発明は、当該技術分野で「速度減衰 (velocity-damped)」として既知の共振発電機である電気機械的デバイス (electromechanical device) を使用する。「速度減衰」においては、エンクロージャー 6 に対する慣性質量 8 の移動によって行われた全ての仕事が慣性質量 8 の瞬間的速度と比例するようになる。この仕事の一部は不可避免的に吸収され、望ましくならぬ機械的または電氣的損失を解決するが、上文中に説明した電気コイル / 磁気アセンブリ (electrical coil/magnetic assembly) 等の適当な変換機構によって、残りの仕事を使用して電流を発生することができる。質量 - ばね機構および変換機構を、電力

10

20

30

40

50



を最適に発生するように力学的に最適化することが、本発明の一つの目的である。

【 0 0 5 7 】

速度減衰共振発電機は、方向 A - A での機械的振動によって起動 (excited) された場合、よく知られた特性応答を有する。エンクロージャに関する質量  $m$  の相対的移動の振幅  $Z_0$  は、正弦波振動の角周波数  $f$  および振幅  $Y_0$ 、ばね定数  $k$  および減衰係数  $c$  の関数であり、以下の式 (1) で表される。

【数 1】

$$Z_0 = \frac{f^2}{\sqrt{\left(\frac{k}{m} - f^2\right)^2 + \left(\frac{cf}{m}\right)^2}} Y_0 \quad (1)$$

10

ダンパーで放散 (dissipated、消散、消失) される動力は以下の通りである。

【数 2】

$$P = \frac{1}{2} f^2 c Z_0^2 \quad (2)$$

式 (1) を式 (2) に代入することにより、以下の式が得られる。

【数 3】

$$P = \frac{\frac{1}{2} f^6 c}{\left(\frac{k}{m} - f^2\right)^2 + \left(\frac{cf}{m}\right)^2} Y_0^2 \quad (3)$$

20

【 0 0 5 8 】

したがって、ダンパーで放散される動力、および、機械的振動により得ることのできる可能性がある電力は、とりわけ、減衰係数および周波数 (振動数、frequency) で決定される。

【 0 0 5 9 】

図 2 は、ダンパーで放散される動力と周波数との間の関係の一例のプロットを、三つの異なる減衰係数、即ち  $c = 0.005 \text{ N s / m}$ 、 $c = 0.04 \text{ N s / m}$ 、 $c = 0.1 \text{ N s / m}$  において、示す。この例では、質量 - ばねシステムは、1 g の質量 ( $m$ ) および  $98.7 \text{ N / m}$  のばね定数を使用することによって、50 Hz の領域の共振周波数 ( $f$ ) で作動するように設計されている。振動の振幅 ( $Y_0$ ) は 1 mm である。

30

【 0 0 6 0 】

図 2 は、放散された動力 (これにともなって、取り出しに利用できる動力) は、周波数に応じて減衰係数を様々に選択することによって最適化されるということを明瞭に示す。さらに複雑な分析によれば、機械的抗力等によって生じる寄生減衰 (parasitic damping) を考慮した場合でも、このことが示される。図 2 は、減衰係数が比較的低い ( $c = 0.005 \text{ N s / m}$ ) 場合、最大電力出力が高く、減衰係数が上昇する ( $c = 0.04 \text{ N s / m}$  まで、そして次いで  $c = 0.1 \text{ N s / m}$  まで) にしたがって、最大電力出力が徐々に減少するということを示す。しかしながら最大電力出力が増大するにしたがって、振動力スペクトル (振動力範囲、vibration power spectrum) が徐々に狭くなる。

40

【 0 0 6 1 】

多くの実際の状況では、その周囲からできるだけ多くの動力を取り出すため、振動エネルギー獲得デバイス (vibration energy-harvesting device) が必要とされている。図 2 は、振動力スペクトルの従来の知識のみでこれを得ることができるということを示す。したがって、従来技術では、減衰ファクタを最少にするように減衰ファクタを調整する (他のパラメータは一定であると仮定する) ことによって最大電力出力が理論的に得られるように、電気機械的発電機を設計することが知られている。この周知の技術的アプローチには

50

二つの問題点がある。第 1 に、多くの場合、振動力スペクトルが、実際には経時的に変化することがわかっている。これは、振動源が駆動する負荷の変化、あるいは、材料の経年変化又は疲労による構造の剛性の変化を含む、多くの理由による。したがって、有用な設計寿命に亘る電力の取り出しを最適化するため、振動についての従来の十分な知識を常に提供することはできない。第 2 に、実際の用途で、すなわち実際の振動条件で使用した場合、特に周波数が、減衰係数を選択するのに使用された理論的条件と一致しない場合がある。図 2 に示すように、高い電力出力では、振動力スペクトルは徐々に狭くなり、および、周波数に関する有用電力出力における変化に対する感度が高くなる。

#### 【 0 0 6 2 】

本発明は、デバイスの共振周波数（共振振動数、resonant frequency）を固定した場合、電力を最適化するのに可変の減衰を使用してもよいという本発明者の認識に基づいて予測される。図 2 は、共振周波数が調節可能である場合には、デバイスの共振周波数をシフトして振動力スペクトルのピークと一致させることによって電力の最適化が行われるということを示す。詳細には、本発明者は、振動エネルギー獲得デバイスの作動条件についての従来の不十分な知識が得られた場合、取り出される電力を最適化するため、デバイスの応答を動的に変化させることができないから、と認識している。したがって、デバイスの減衰係数および好ましくは共振周波数を調整することができることが、電力出力を最適化する上で必要とされる全てである。さらに、電磁発電機の作動寿命中に周囲振動の周波数が変化する場合、デバイスの応答を変化させて周波数の変化を吸収（変化に対応、変化に順応、変化に適応）することができ、これによって電磁発電機は、周波数の変化にも関わらず、最大効率で作動することができる。

#### 【 0 0 6 3 】

図 3 は、本発明の第 1 実施の形態による電磁発電機 20 の概略ブロックダイアグラムである。

#### 【 0 0 6 4 】

電気機械的発電機 20 は、図 1 を参照して上文中に説明した、機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換するための電気機械的デバイス 2 を含む。しかしながら減衰係数調節器 22 および共振周波数調節器 24 が追加に設けられている。このような減衰係数調節器 22 および共振周波数調節器 24 の構造および作動は、当業者には明らかであろう（例えば、上文中に論じた、ミッチェソン等の「振動駆動式超小型発電機の構造」という論文を参照されたい）。共振器デバイスに接続された負荷インピーダンスを変化させることによって、減衰係数は変化させられる。一例として、コイルを通して流れることが許容された電流を変化させることにより、例えばコイルを含む回路の電気抵抗を変化させることにより、例えば、減衰係数を調節することができる。共振器（velocity damped resonator、共振子）を変えることによって、共振周波数は変化する。ばねの振動特性を変化させることによって（例えば、ばねに取り付けられた圧電素子を使用してばね定数  $k$  を変化させることによって、抵抗加熱によって又は力を加えてばねの断面を変化させることによって）、共振周波数を調節することができる。別の態様では、慣性質量を変化させることによって、共振周波数を調節してもよい。慣性質量は、例えば、共振器の寸法を変えることによって、または、加えられた無効負荷（applied reactive load）を変化させることによって、変化させられる。例示の実施の形態では、共振周波数調節器 24 は、ばね定数  $k$  を変化させるようになっている。

#### 【 0 0 6 5 】

減衰係数調節器 22 は、減衰係数  $c$  の予備設定値またはデフォルト値を記憶することができるようになっている。これと対応して、共振周波数調節器 24 は、低い共振周波数と対応して、ばね定数  $k$  の予備設定値、すなわち、デフォルト値を記憶することができるようになっている。減衰係数調節器 22 および共振周波数調節器 24 は、振動が加えられた場合の電気機械的発電機の初期始動時に、それぞれのパラメータに対し、予備設定値またはデフォルト値を開始値として使用することができるようになっている。これと対応して、振動が停止し、電力が発生されないとき、デフォルト値を記憶し、その後、振動が再び

開始したとき、続いて行われる発電サイクルで開始値として再び使用される。

【 0 0 6 6 】

周波数のデフォルト値は、特定の電気機械的発電機およびその用途に基づいて、決定される。代表的には、周波数のデフォルト値は、例えば 5 0 H z または 6 0 H z である。これは、多くのデバイスが、幹線交流電力 ( 5 0 H z または 6 0 H z ) の周波数近くの周波数で振動するためである。

【 0 0 6 7 】

電気機械的デバイス 2 は、電力回路 2 8 に接続された電力出力ライン 2 6 を有する。電力出力ライン 2 6 は、電気機械的デバイス 2 で発生された全ての電流を出力し、例えば、磁石アッセンブリによって発生させられた磁束内において機械的振動運動により移動させられるように配置 ( 構成 ) されたコイルに、接続されている。電力回路 2 8 は、電力出力ライン 3 2 で電力センサ 3 0 に接続されている ( または別の態様では、一体の電力センサを備えている ) 。電力センサ 3 0 は、電力感知信号ライン 3 4 によってマイクロプロセッサ制御装置 3 6 に連結されている。電力ライン 3 8 は、電力回路 2 8 をマイクロプロセッサ制御装置 3 6 に接続し、マイクロプロセッサ制御装置 3 6 を駆動するのに十分な電力を提供する。マイクロプロセッサ制御装置 3 6 は、減衰係数を制御するための減衰係数調節器 2 2 に接続された第 1 制御ライン 4 0 と、共振周波数を制御するための共振周波数調節器 2 4 に接続された第 2 制御ライン 4 2 の二つの出力制御ラインを有する。電力センサ 3 0 からの出力ライン 4 4 は、外部デバイス ( 図示せず ) を駆動するのに十分な電力を提供する。マイクロプロセッサ制御装置 3 6 は、出力感知信号ライン 3 4 の出力電力が最大であるかどうかを決定するためのコンパレータ 4 6 を含む。

【 0 0 6 8 】

次に、図 4 を参照し、図 3 の電気機械的発電機の一つの好ましい作動方法を説明する。図 4 は、図 3 の電気機械的発電機の作動方法を示す概略フローダイアグラムである。図 5 は、図 3 の電気機械的発電機の一連の二つの異なる減衰係数についての電力出力と周波数との間の関係を示す。

【 0 0 6 9 】

まず、工程 5 0 において、減衰係数調節器 2 2 は、高い減衰係数  $c$  としてのデフォルト値に予備設定 ( preset ) される。デフォルト値  $c$  ( 初期 ) は、デバイスの残りのパラメータに関し、電気機械的発電機の制御回路、詳細にはマイクロプロセッサ制御装置 3 6 を駆動するための出力電力を許容するのに十分であるように、予備設定される。しかしながら、デフォルト値  $c$  ( 初期 ) は、出力電圧を最適化すること、あるいは、外部デバイス ( 図示せず ) を駆動するために機械的振動から有用な出力電力を獲得することには、不十分であるように予備設定される。さらに、最初に、工程 5 0 において、共振周波数調節器 2 4 は、低いばね定数  $k$  のデフォルト値に合わせて予備設定される。これは、低い共振周波数と対応する。デフォルト値  $k$  ( 初期 ) は、デフォルト周波数  $f$  ( 初期 ) が、デバイスの設計共振周波数から遠いように、および好ましくは設計共振周波数よりも低いように予備設定される。この場合も、ばね定数のデフォルト値は、そのデフォルト値での出力電力を、電気機械的発電機の制御回路、詳細にはマイクロプロセッサ制御装置 3 6 を十分に駆動するようにすることができるが、出力電力を最適化すること、すなわち機械的振動から獲得した出力電力が外部デバイス ( 図示せず ) を駆動する上で有用であるようにすること、には不十分であるように選択される。例えば、図 5 を参照すると、デフォルト減衰係数値  $c$  ( 初期 ) およびデフォルト周波数  $f$  ( 初期 ) は、デフォルトばね定数値  $k$  ( 初期 ) と対応し、予備設定が最初に行われる。

【 0 0 7 0 】

したがって、電力回路 2 8 がマイクロプロセッサ制御装置 3 6 を駆動するための制御電力を提供していない場合、あるいは、獲得した電力を電力ライン 3 8 でマイクロプロセッサ制御装置 3 6 に加えることによって、マイクロプロセッサ制御装置 3 6 を最初に駆動して作動状態にする場合、減衰係数はその最高値にあり、共振周波数はその最低値にある。

【 0 0 7 1 】

振動が開始した後、電気機械的デバイス 2 が発生した電流はマイクロプロセッサ制御装置 3 6 を駆動するのに十分な電力を発生し、マイクロプロセッサ制御装置 3 6 は、ライン 4 4 の出力電力を最大にするように電気機械的デバイス 2 を変更するように作動する。

【 0 0 7 2 】

工程 5 2 において、共振周波数調節器 2 4 は調節され、ばね定数  $k$  を変化させることによって、周波数は変更されるようになる。工程 5 4 において、出力電力を電力センサ 3 0 によって感知する。コンパレータ 4 6 によって比較工程 5 6 が実施され、出力電力が最大であるかどうかを確認される。最大でない場合には、フィードバック制御ループ 5 8 を実行し、減衰係数のデフォルト値  $c$  (初期)での最大の出力電力が周波数  $f$  (最終)で得られるように、周波数を徐々に調節する。

10

【 0 0 7 3 】

最大である場合には、工程 6 0 において、減衰係数調節器 2 2 が調節される。工程 6 2 において、出力電力を電力センサ 3 0 によって感知する。コンパレータ 4 6 によって比較工程 6 4 が実行され、出力電力が最大であるかどうかを確認される。最大でない場合には、フィードバック制御ループ 6 6 を作動し、最大出力電力が減衰係数の周波数 (最終)で得られるように、減衰係数を徐々に調節、すなわち減少させる。最大である場合には、減衰係数およびばね定数を工程 6 8 において設定する。これにより、周波数  $f$  (最終)および減衰係数  $c$  (最小)でピーク最大出力電力が得られるようになる。これらの周波数  $f$  (最終)および減衰係数  $c$  (最小)は、両方とも、予備設定された初期設定値とは異なる。

20

【 0 0 7 4 】

最終的に、フィードバック制御ループ 6 8 を使用し、電気機械的発電機の作動寿命に亘ってピーク最大出力電力が維持される。フィードバック制御ループ 6 8 は、最大出力電力が発生させられているかどうかを定期的に確認し、必要な場合には、ばね定数  $k$  を変化させることによって周波数  $f$  および減衰係数  $c$  の一方または両方を調節する。

【 0 0 7 5 】

例示の実施の形態においては、最終的な共振周波数は、予備設定された最初の周波数よりも高く、周波数は工程 5 2 において増大させられる。しかしながら、変形例では、最終的な共振周波数は、予備設定された最初の周波数よりも低く、周波数は工程 5 2 において減少させられる。

30

【 0 0 7 6 】

さらに、システムは、振動が全くない場合、あるいは、制御回路、詳細にはマイクロプロセッサ制御装置 3 6 を作動するのに十分な電力を発生する大きな振動がない場合、高い減衰係数および高い共振周波数をデフォルトとするように構成されていてもよい。必要な最小電力が発生しており且つ検出された場合に、工程 5 0 に示すように、減衰係数  $c$  が高く且つばね定数  $k$  が低い(低い周波数  $f$  に対応する)デフォルト値が予備設定されるようにしてもよい。

【 0 0 7 7 】

電気機械的発電機の他の作動方法では、他のルーチンが使用され、振動の開始時に高度に減衰された初期状態から始まって出力電力を最大にするようにしてもよい。

40

【 0 0 7 8 】

例えば、図 6 に示すように、振動の開始後に制御ルーチンを開始して制御回路を駆動するのに十分な電力を発生したとき、第 1 工程 8 0 において、電力出力が計測される。第 2 工程 8 2 において、周波数を少しだけ変化(増加または減少)させる(これは、例えば、ばね定数  $k$  を変化させることによって行われる)。次の工程 8 4 において、電力出力が再び計測される。続いて行われる工程 8 6 において、電力出力が増加したのか、あるいは、減少したのかが確認される。電力出力が減少した場合には、工程 8 8 が実行され、周波数を前の変化とは逆方向に倍の量だけ変化させる。電力出力が増加した場合には、工程 9 0 で減衰係数  $c$  に小さな変化(増加または減少)が加えられ。次の工程 9 2 において、電力出力が再び計測される。続いて行われる工程 9 4 において、電力出力が増加したのか、あ

50

るいは、減少したのかが確認される。電力出力が減少した場合には、工程 96 が実行され、減衰係数  $c$  を前の変化とは逆方向に倍の量だけ変化させる。ルーチンは、次いで、工程 82 に戻る。

#### 【0079】

これらの工程のサイクルが定期的に且つ無期限に繰り返され、電気機械的発電機の有用寿命に関連した状況での所与の振動条件で、電力出力が最大に維持される。

#### 【0080】

電気機械的発電機の作動寿命中に周囲振動の周波数が変化した場合、デバイスの応答を変化させて周波数の変化に適応 (accommodate、吸収) することができる。これにより、周波数の変化に関わらず、電気機械的発電機は、最大効率で作動することができるように

10

#### 【0081】

作動を行うためのこの他のルーチンおよびアルゴリズムは、電気機械的発電機の最大の電力出力を維持する技術の分野における当業者にとって、明らかであろう。

#### 【0082】

以下の比較例および図 2 に関する実際の使用の例は、本発明の実施の形態にしたがって減衰および周波数が調整可能であることの利点を示す。

#### 【0083】

##### 比較例 1

本発明によらないエネルギー獲得デバイスを、図 2 を参照して、最大ピーク出力電力を発生することができるように、固定減衰係数  $c = 0.005 \text{ N s / m}$  を持つようにして構成する。しかしながら、最大ピーク出力電力を得ることができる周波数の範囲は非常に狭い。周波数が経時的に変化した場合、あるいは、周波数が設計のベースとなった意図した値とは異なる場合には、出力電力は大幅に低下し、場合によっては出力電力が十分でなくなる。

20

#### 【0084】

##### 比較例 2

本発明によらないエネルギー獲得デバイスを、図 2 を参照して、最大ピーク出力電力を発生することができるように、固定減衰係数  $c = 0.005 \text{ N s / m}$  を持つようにして構成する。エネルギー獲得デバイスは、制御回路に接続されている。回路は、デバイスが 10 mW 以上の電力を発生した場合に、アクチュエータによってデバイスの共振周波数を調整できるように、構成されている。このようにして、共振が振動源と整合させられ、高い電力出力を得ることができる。図 2 は、周波数が 46.8 Hz 乃至 54.8 Hz である場合に回路が始動するというを示す (明瞭化を図るため、全ての寄生損失を無視する)。しかしながら、振動がこの範囲の外、70 Hz くらいで開始する場合には、デバイスは作動しない (デバイスがエネルギーを蓄えていないと妥当に仮定する)。

30

#### 【0085】

##### 実施例 1

本発明によるエネルギー獲得デバイスを、減衰係数が可変であるように構成する。本発明によるエネルギー獲得デバイスは、制御回路に接続されている。回路は、デバイスが 10 mW 以上の電力を発生する場合に、アクチュエータによってデバイスの共振周波数を調整することができる、また、減衰係数を調整することができるように設計されている。まず最初に減衰係数が  $c = 0.1 \text{ N s / m}$  に設定され、必要な 10 mW の出力を発生するため、41.6 Hz から遥かに高い振動に亘る許容可能な始動振動範囲を可能にする。それにも関わらず、ひとたび調整すると、デバイスは比較的低い出力電力を発生する。したがって、振動源と整合した共振で最大ピーク出力電力を発生することができるよう、減衰係数を  $c = 0.005 \text{ N s / m}$  まで減少させてもよい。したがって、共振周波数および減衰係数の両方を調整する性能を使用することによって、最適の電力出力を確実に達成することができる。本発明によれば、共振周波数および減衰係数の両方を調整できるシステムは、非常に広い範囲に亘る実世界の作動条件で最適の電力出力を得ることができるように、設計さ

40

50

れ得る。このようなシステムは、回路が受け取る電力が作動には小さすぎる場合、高い減衰係数および低い共振周波数にデフォルト（設定）される。振動源が再開したとき、システムは、高い減衰係数を保持した状態で共振周波数を調整した後、減衰係数を減少させ、良好な調整により電力を最大にする。

【図面の簡単な説明】

【0086】

【図1】図1は、本発明の一実施の形態による電気機械的発電機で使用するための、機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換するための電気機械的デバイスの概略側面図である。

【図2】図2は、図1の電気機械的デバイスの一連の三つの異なる減衰係数についての、電力出力と周波数との間の関係を示すグラフである。

【図3】図3は、図1の電気機械的デバイスを組み込んだ本発明の第1の実施の形態による電気機械的発電機の概略ブロックダイアグラムである。

【図4】図4は、図3の電気機械的発電機の作動方法の一実施の形態を示す概略フローダイアグラムである。

【図5】図5は、図3の電気機械的発電機の一連の二つの異なる減衰係数についての、電力出力と周波数との間の関係を示すグラフである。

【図6】図6は、図3の電気機械的発電機の作動方法の別の実施の形態を示す概略フローダイアグラムである。

【図1】

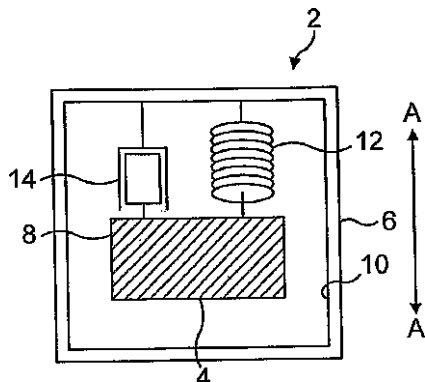
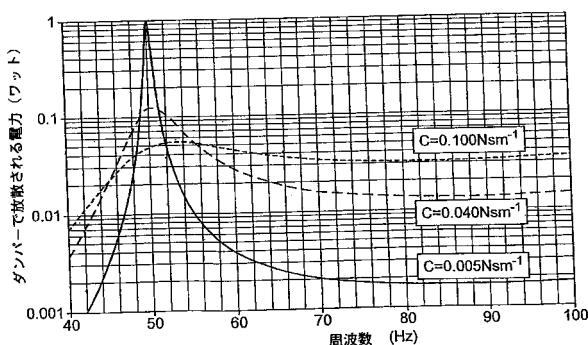


FIG. 1

【図2】



【図3】

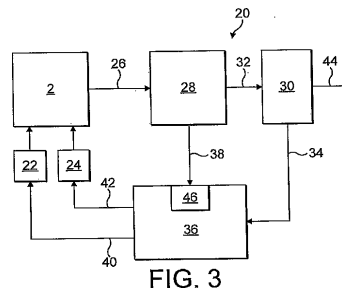
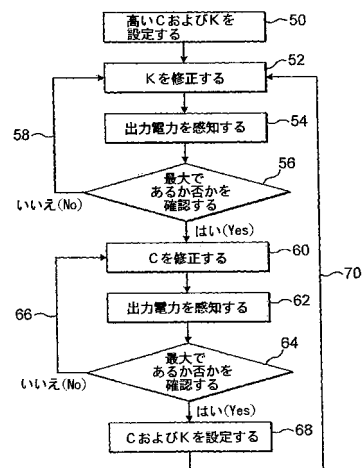
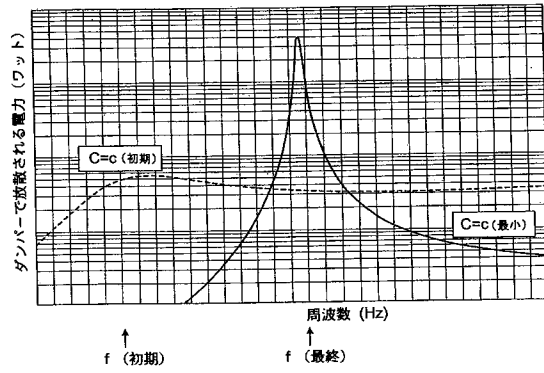


FIG. 3

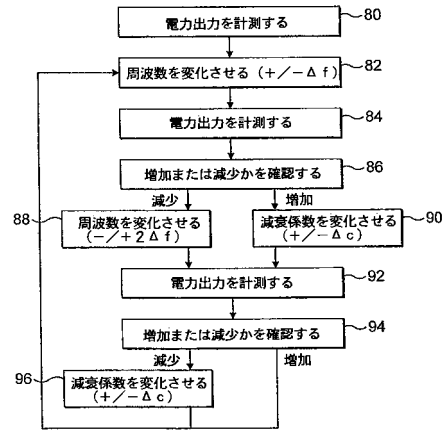
【図4】



【図 5】



【図 6】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ステファン、ロバーツ  
イギリス国ハンプシャー、ウィンチェスター、ナンズ、ロード、17
- (72)発明者 ロイ、フリーランド  
イギリス国ハンプシャー、シャウフォード、スモールウッド

審査官 栗田 雅弘

- (56)参考文献 特開2005-057820(JP,A)  
特開平10-086726(JP,A)  
特開2002-128260(JP,A)  
特開2003-199313(JP,A)  
特開2000-262031(JP,A)  
国際公開第2005/022726(WO,A1)  
特開平11-065679(JP,A)  
特開2009-036230(JP,A)  
特開2002-277811(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 35/00 - 35/06  
H02N 2/18  
H02P 9/04  
G05D 19/00  
F16F 15/02