

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5537150号
(P5537150)

(45) 発行日 平成26年7月2日(2014.7.2)

(24) 登録日 平成26年5月9日(2014.5.9)

(51) Int.Cl.

HO2N 2/18 (2006.01)

F 1

HO2N 2/00

A

請求項の数 18 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2009-505677 (P2009-505677)
 (86) (22) 出願日 平成19年4月18日 (2007.4.18)
 (65) 公表番号 特表2009-534013 (P2009-534013A)
 (43) 公表日 平成21年9月17日 (2009.9.17)
 (86) 國際出願番号 PCT/AU2007/000492
 (87) 國際公開番号 WO2007/118277
 (87) 國際公開日 平成19年10月25日 (2007.10.25)
 審査請求日 平成22年3月29日 (2010.3.29)
 (31) 優先権主張番号 2006902000
 (32) 優先日 平成18年4月18日 (2006.4.18)
 (33) 優先権主張国 オーストラリア (AU)
 (31) 優先権主張番号 2007900908
 (32) 優先日 平成19年2月22日 (2007.2.22)
 (33) 優先権主張国 オーストラリア (AU)

(73) 特許権者 590003283
 コモンウェルス サイエンティフィック
 アンドインダストリアル リサーチ オー
 ガナイゼーション
 オーストラリア オーストラリアン キャ
 ピタル テリトリー キャンベラ ライム
 ストーン アベニュー (番地なし)
 (74) 代理人 100092783
 弁理士 小林 浩
 (74) 代理人 100095360
 弁理士 片山 英二
 (74) 代理人 100093676
 弁理士 小林 純子
 (74) 代理人 100120134
 弁理士 大森 規雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】機械的振動からエネルギーを収穫するための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

変化するエネルギー特性を有する個別の振動エネルギー爆発の源からエネルギーを収穫する方法であって、前記変化するエネルギー特性における変化を監視するステップ、および前記変化に応じて前記エネルギーを収穫するように調整された収穫装置の特性を適応的に制御するステップを含み、前記収穫装置の特性は前記源の変化するエネルギー特性に応じて、適応学習アルゴリズムに基づいて非瞬間期間変化させられる、方法。

【請求項 2】

変化パラメータを取得するために非瞬間期間にわたって前記変化するエネルギー特性を監視するステップと、前記変化パラメータを利用して前記収穫装置の特性の変化を制御するステップを更に含む、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記振動エネルギーを電気エネルギーに変換するためにトランスデューサが利用され、前記変化パラメータは電流または電圧である、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

適応的に制御する前記ステップは、前記変化するエネルギー特性の変化を予測し、前記予測された変化に応じて前記収穫装置の特性の変化を制御するステップを含む、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記源の変化するエネルギー特性を、個々の個別のエネルギー爆発についての前記収穫

20

装置の予測された最適収穫状態にマッピングすることを含む、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記収穫装置は電気的収穫回路を含み、前記収穫装置の特性は前記収穫回路のインピーダンスである、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

変化するエネルギー特性を有する個別の振動エネルギー爆発の源からエネルギーを収穫するための装置であって、

前記エネルギーを収穫するように調整された収穫装置であって、前記源の変化するエネルギー特性に応じて非瞬間期間変えられるように調整された特性を有する装置、および

前記非瞬間期間にわたって前記変化するエネルギー特性における変化を決定し、適応学習アルゴリズムに基づいて前記変化に応じて前記収穫装置の特性を適応的に制御するように調整されている適応性コントローラ、
を備える装置。

【請求項 8】

個別のエネルギー爆発について前記収穫装置の予測される最適収穫状態に対して前記源の前記変化するエネルギー特性をマッピングするマッピングモジュールを更に含む、請求項 7 に記載の装置。

【請求項 9】

非瞬間期間にわたって変化パラメータを取得するために振動のエネルギー源の振動の大きさを監視するためのモニタを更に含み、

前記変化パラメータは前記収穫装置の変化する特性を制御するために前記コントローラによって使用される、請求項 7 または 8 に記載の装置。

【請求項 10】

前記振動エネルギーを電気エネルギーに変換するために電気トランスデューサが利用され、前記変化パラメータは前記トランスデューサからの電流または電圧である、請求項 9 に記載の装置。

【請求項 11】

前記コントローラは前記変化するエネルギー特性の変化を予測し、前記予測された変化に応じて前記収穫装置の特性の変化を制御するように調整されている、請求項 7 から 10 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 12】

前記収穫装置は電気的収穫回路を含み、前記収穫装置の特性は前記収穫回路のインピーダンスである、請求項 7 から 11 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 13】

変化するエネルギー特性を有する個別の振動エネルギーの爆発源からエネルギーを収穫するための収穫装置を制御するための装置であって、

前記振動エネルギー源の前記変化するエネルギー特性を監視し、前記変化するエネルギー特性における変化を予測するためのモニタ、および

前記振動エネルギー源の前記変化するエネルギー特性における前記予測された変化に応じて前記収穫装置の特性の変化を非瞬間期間適応的に制御するように調整されたコントローラ、

を含む装置。

【請求項 14】

前記コントローラは前記収穫装置を制御するために適応学習アルゴリズムを実行するように調整されている、請求項 13 に記載の装置。

【請求項 15】

前記源のエネルギー特性の変化を、個別のエネルギー爆発についての前記収穫装置の予測された最適収穫状態にマッピングするマッピングモジュールを備える、請求項 13 または 14 に記載の装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 6】

請求項7から15のいずれか一項に記載の装置を実現するためにコンピュータ装置を制御するための、コンピュータプログラム。

【請求項 1 7】

請求項16に記載のコンピュータプログラムを与える、コンピュータ可読媒体。

【請求項 1 8】

変化するエネルギー特性を有する個別のエネルギー爆発の源からエネルギーを収穫する方法であって、前記変化するエネルギー特性を監視し、前記エネルギーを収穫するように調整された収穫装置の特性を適応的に制御するステップを含み、前記収穫装置の特性は前記エネルギー源の変化するエネルギー特性における予測された変化に応じて非瞬間期間制御される、方法。10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エネルギーを収穫するための方法および装置に関し、特にしかし限定的にではないが、振動からエネルギーを収穫するための方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

振動エネルギー収穫（V E H）は、引き続いて生じる使用または蓄積のための機械エネルギー（振動の結果から生じる）の電気エネルギーへの変換に関する比較的新しい考え方である。典型的には機械から電気への変換は、電磁トランスデューサまたは圧電トランスデューサのいずれかを使用して実行されるが、他の多くのトランスデューサタイプも利用可能である。20

【0003】

エネルギー収穫に適した振動の多い環境は、日常生活のほとんどすべての面で見出され得る。例えば歩くという単純な行動を通じて、潜在的に収穫されて例えば携帯電話のような装置に電力供給するために使用され得る振動が経験される。

【0004】

一般にV E Hのための現在の装置は、トランスデューサから電気の形のエネルギーを抽出して負荷（携帯電話など）を駆動するように構成された収穫回路の使用を提案している。収穫回路は、インピーダンスを与える構成要素、またはインピーダンスまたはアドミタンスを合成するように制御される構成要素（例えば制御されたスイッチ回路）を含む。インピーダンスは一般に、最適なエネルギー移転を得ようとする試みにおいてエネルギーが収穫される機械的およびトランスデューサシステムに「整合」しようとする試みで選択される。30

【0005】

振動エネルギーは「爆発的」である傾向があるが；個別の（および時には予測不可能な）爆発として発生する（例えば人が歩いているときにステップが取られるとき）。エネルギーは、インピーダンスが効率的に機械的およびトランスデューサシステムに整合する収穫回路が設計された場合でも、効率的には収穫されない。40

【発明の開示】

【0006】

第1の態様によれば本発明は、変化するエネルギー特性を有する振動エネルギー源からエネルギーを収穫する方法であって、エネルギーを収穫するように整えられた収穫装置の特性を変えるステップを含み、この収穫装置の特性は振動エネルギー源の変化するエネルギー特性に応じて非瞬間期間変えられる方法を提供する。

【0007】

10

20

30

40

50

収穫装置の特性は振動エネルギー源からのエネルギー移転に影響を与えることになる特性でもあり得る。一実施形態では収穫装置は、電気的収穫回路を含み、収穫装置の特性はこの収穫回路のインピーダンスである。

【0008】

本出願人等は、変化するエネルギー特性に応じて収穫装置の特性を変えることによって、少なくとも一実施形態においてエネルギー移転の効率を改善することが可能であることを発見した。本手法は、従来技術の手法とは全く異なる。機械システムに整合するように収穫回路の特性の値を選択して(従来技術)その値を維持する代わりに、本発明においては収穫装置の特性はエネルギー源の変化するエネルギー特性に応じて変えられる。本出願人等は、本手法がエネルギー移転の効率の改善という結果をもたらし得ることを発見した。これは、収穫回路のインピーダンスのような特性の静的または線形の値が最適なエネルギー移転のために必要であることが暗示的に受け入れられてきた従来技術では認められなかった。これは、特にエネルギーが「爆発的」である振動源に関して本発明者等が理解しているように、実際には正しくない。

10

【0009】

振動エネルギー源の特性は、いく通りの方法にでも変化し得る。一実施形態では変化するエネルギー特性は不規則に変化し、ある程度まで予測不能であり得る。もう1つの実施形態では変化は、正弦波のように規則的であり得る。

【0010】

一実施形態では本方法は、変化パラメータを取得するために変化するエネルギー特性を非瞬間期間にわたって監視するステップと、変化パラメータを利用して収穫装置の特性の変化を制御するステップを更に含む。振動エネルギーを変換するための電気トランスデューサを含む実施形態では、変化パラメータはトランスデューサからの電流または電圧であり得る。代替実施形態では変化パラメータは振動の大きさ(例えば外乱の測定)であり得る。一実施形態では変化パラメータは、収穫装置の特性の変化を制御するために使用され得る複数のパラメータを含み得る。

20

【0011】

一実施形態では本方法は、変化するエネルギー特性の変化を監視するステップと、これらの変化に応じて収穫装置の特性の変化を順応的に制御するステップを更に含む。一実施形態では順応的に制御するステップは、変化するエネルギー特性の変化を予測して、予測された変化に応じて収穫装置の特性の変化を制御するステップを含む。振動エネルギーの大きさおよび範囲は変化し得る。一実施形態では、これらの変化に応じるように収穫装置を制御するために、適応学習アルゴリズムが実行され得る。収穫装置が電気的収穫回路を含む一実施形態では、コントローラは収穫回路を制御するために適応学習アルゴリズムを含むプログラムを含み得る。

30

【0012】

振動エネルギー源は、規則的にまたは不規則にエネルギーの爆発またはパルスを放出するいかなるエネルギー源(通常これは機械的なものである)でもよい。エネルギー源は、例えば人の歩行、または車両のサスペンションシステムのような機械システム、または橋のような大きな構造物であり得る。一実施形態ではエネルギー源はまた、エネルギーを与えるランダムな、または広帯域の振動を含み得る。

40

【0013】

第2の態様によれば本発明は、変化するエネルギー特性を有する振動エネルギー源からエネルギーを収穫するための装置であって、この装置はエネルギーを収穫するように整えられた収穫装置を含み、この収穫装置は振動エネルギー源の変化するエネルギー特性に応じて非瞬間期間変えられるように整えられた特性を有する装置を提供する。

【0014】

一実施形態では本装置は、収穫装置の特性を変えるために収穫装置を制御するように整

50

えられたコントローラを含む。一実施形態では本装置は、変化パラメータを取得するためには変化するエネルギー特性を監視するためのモニタを含む。変化パラメータは収穫装置の変化する特性を制御するためにコントローラによって使用される。振動エネルギーを変換するための電気トランスデューサを含む一実施形態では、変化パラメータはトランスデューサからの電流または電圧であり得る。代替実施形態では、変化パラメータは振動の大きさ(例えば外乱の測定によって取得される)であり得る。

【0015】

一実施形態では本収穫装置は電気的収穫回路を含み、収穫装置の特性は収穫回路のインピーダンスである。

【0016】

モニタおよびコントローラを含む一実施形態では、可変エネルギー特性の変化は非瞬間期間にわたって監視されることが可能であり、収穫装置の特性の変化はこれらの変化に応じて順応的に制御され得る。コントローラは、可変エネルギー特性の変化を予測して、予測された変化に応じて収穫装置の特性の変化を制御するように整えられ得る。一実施形態ではコントローラは、収穫装置を制御するために適応学習アルゴリズムを実行し得る。

【0017】

第3の態様によれば本発明は、本発明の第2の態様による装置を実現するためにコンピュータ装置および収穫回路を制御するように整えられたコンピュータプログラムを提供する。このコンピュータプログラムは、低電力マイクロプロセッサ、デジタル信号プロセッサ(DSP)などを含み得るハードウェアおよび/またはソフトウェアに実現され得る。

【0018】

第4の態様によれば本発明は、本発明の第3の態様によるコンピュータプログラムを与えるコンピュータ可読媒体を提供する。

【0019】

第5の態様によれば本発明は、変化するエネルギー特性を有する振動エネルギー源からエネルギーを収穫するための収穫装置を制御するための装置であって、変化するエネルギー特性に応じて収穫装置の特性を変えるために収穫装置の特性を制御するように整えられたコントローラを含む装置を提供する。

【0020】

一実施形態では本装置は、変化するエネルギー特性を監視するためのモニタを含み得る。

【0021】

一実施形態ではコントローラは、変化するエネルギー特性の変化に応じて収穫装置の特性の変化を順応的に制御するように整えられる。コントローラは、可変エネルギー特性の変化を予測し、予測された変化に応じて収穫装置の特性の変化を制御するように整えられ得る。一実施形態ではコントローラは収穫装置を制御するために適応学習アルゴリズムを実行し得る。

【0022】

第6の態様によれば本発明は、本発明の第5の態様による装置を実現するためにコンピュータ装置を制御するためのコンピュータプログラムを提供する。

【0023】

第7の態様によれば本発明は、本発明の第6の態様によるコンピュータプログラムを与えるコンピュータ可読媒体を提供する。

【0024】

本発明の更なる態様は、機械振動からのエネルギーの収穫に限定されない。この態様が適用可能であり得る他の分野が存在する。例えば、なお振動システムではあるが振動が熱駆動される熱音響学においてである。更なる用途は、回転フライホイールにおけるエネルギー貯蔵であり、またダムに蓄えられた水からの水力発電である。

【0025】

第8の態様によれば本発明は、変化するエネルギー特性を有するエネルギー源からエネ

10

20

30

40

50

ルギーを収穫する方法であって、エネルギーを収穫するように整えられた収穫装置の特性を変えるステップを含み、収穫装置の特性はエネルギー源の変化するエネルギー特性に応じて変えられる方法を提供する。

【0026】

第9の態様によれば本発明は、変化するエネルギー特性を有するエネルギー源からエネルギーを収穫するための装置であって、この装置はエネルギーを収穫するように整えられた収穫装置を含み、この収穫装置はエネルギー源の変化するエネルギー特性に応じて変えられるように整えられた特性を有する装置を提供する。

【0027】

一実施形態では本発明者等は、エネルギーが抽出されるときのタイミングによって、システムから抽出され得るエネルギーの全量が影響されることを認めている。 10

【0028】

第10の態様によれば本発明は、変化するエネルギー特性を有するエネルギー源からエネルギーを抽出するための方法であって、変化するエネルギー特性の間中の決められた時間にエネルギーを抽出するステップを備える方法を提供する。

【0029】

第11の態様によれば本発明は、変化するエネルギー特性を有するエネルギー源からエネルギーを抽出するための装置であって、変化するエネルギー特性の間中の決められた時間にエネルギーを抽出するように整えられた収穫装置を備える装置を提供する。

【0030】

本発明の特徴および利点は、下記の付属図面を参照しながら単に例としての本発明の実施形態の下記の説明から明らかになる。 20

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

本発明の方法および装置の実施形態を詳細に説明する前に、従来技術のエネルギー収穫装置が図1(a)および(b)を参照しながら説明される。

【0032】

機械構造物102は、外部源からの振動を受けるように整えられている。振動は、機械力から圧電トランスデューサであり得るトランスデューサ104を経由して電気エネルギーに変換される。トランスデューサ104の出力は、合成インピーダンス回路106に電気的に接続される。合成インピーダンス回路106は、「負荷」のインピーダンス値を合成し、時にはエネルギー蓄積または負荷112から供給されるエネルギーによって電力供給される。合成されたインピーダンス値は、エネルギー移転を最適化する試みにおいて機械的およびトランスデューサシステム102、104に「整合」するように選択される。これは、「最適」エネルギー移転のための線形または静的負荷インピーダンスを確立することを含む。しかしながら本発明者等によって認められているように、インピーダンス特性のこのような従来の処理は、入力エネルギー源の特性(振動周波数、力、振動間の周期などのような)が時間とともに変化しつつあるとき、または「爆発的」であるとき負荷に最適なエネルギー移転を与えない。更に従来技術の装置は、無効回路要素をエミュレートすることに関連する実際のエネルギー損失を考慮していない。振動システムはしばしば大量の無効エネルギーを有するので、いくらかの無効電力流がシステムの振動を保持することを助けるが、無効回路要素をエミュレートすることは、かなりの実エネルギーを浪費し、おそらく収穫回路がいかなる正味実エネルギー出力を取得することをも妨げる。 30 40

【0033】

下記の説明は、振動エネルギー源からのエネルギー移転に関連した問題の理解を助けるためと、本発明のよりよい理解を容易にするためのものである。

【0034】

本発明の実施形態が取り扱う振動システムは典型的には個別の爆発においてエネルギーを受けるので、「次の爆発が発生する前に、あるエネルギーの爆発からどのようにして最大エネルギーを抽出するか。」という問題が大まかに考えられ得る。図2(a)および2(50

b) を参照すると、エネルギー移転問題および本発明の一実施形態による解決策を示すための単純化された例が示されている。図2(a)の単純な回路構成は振動システムではない(従って無効電力の効果は考慮されていない)が、挙動は本発明の実施形態によって取り扱われる振動システムに類似している(後に詳細に説明される)。

【0035】

図2(a)の回路200は、回路要素203によって表されるソースインピーダンス(R_s)および初期電荷(V_0)を有するコンデンサ202を備える。コンデンサ202は負荷204に直列に接続される。例示的パラメータ値は以下の通りである。

$$V_0 = 10 \text{ V}$$

$$C = 20 \text{ mF}$$

$$R_s = 1 \text{ k}$$

$$T_p = 60 \text{ 秒}$$

これらのパラメータはコンデンサ202に蓄積された1ジュールエネルギーという初期状態を与える。

【0036】

1) 従来の最大電力移転

従来の最大電力移転問題は暗黙的に、エネルギー源(この場合はコンデンサ202)はソースインピーダンス R_s によって制限されるが無限の利用可能電力を有することを仮定している。最大電力移転問題に対する解決策は、ソースインピーダンスの複素共役に等しい負荷インピーダンスを設定することである。この単純化された例に関して、これは丁度、負荷インピーダンス R_L が R_s に等しく、所与のパラメータに関してコンデンサ202内のエネルギーの47.5%が時間 T_p において負荷によって吸収されることを意味する(図2(b)を参照のこと)。

【0037】

2) 最大エネルギー移転のための「最適」インピーダンス

上記に論じられたように、時間 T_p に負荷によって吸収されるエネルギーを最大にする試みにおいて、一定の最適負荷インピーダンス(R_L)が決定され得る。このようにして回路200に関して負荷204によって吸収されるエネルギーは、下記の式によって与えられる。

【数1】

$$E_L = \frac{1}{2} C V_0^2 \left(\frac{R_s}{R_s + R_L} \right) \left(1 - e^{-\frac{2T_p}{R_s + R_L} C} \right) \quad (1)$$

回路200の例示的パラメータに関して最大化されるとき、コンデンサ202内のエネルギーの58.5%が時間 T_p に負荷204によって吸収されるという結果をもたらす(図2(b)を参照のこと)。

【0038】

上記の両方の技法によればシステム挙動は、システムが構成され得るように前もって知られていなくてはならない。

【0039】

本発明の一実施形態によれば、負荷を静インピーダンスに制限する(従来の技法によって観察されるように)よりむしろ、インピーダンスは電圧/電流関係に基づいて変えられる。単純な回路構成200によれば、負荷(E_L)によって吸収されるエネルギーは下記のようにこれらの項に表される。

【数2】

$$E_L = V_0 \int_0^{T_p} i(\tau) d\tau - \frac{1}{2C} \left(\int_0^{T_p} i(\tau) d\tau \right)^2 - R_s \int_0^{T_p} i^2(\tau) d\tau \quad (2)$$

【0040】

方程式(2)から負荷(E_L)によって吸収されるエネルギーはコンデンサ202によ

10

20

30

40

50

つて失われるエネルギー（すなわち最初の2項）マイナス、ソースインピーダンス（ R_s ）によって消費されるエネルギーに等しいことが分かる。方程式（2）が負荷の瞬間インピーダンス（方程式（3）で下記に示されるように）の項で表されるならば、本実施形態に従って負荷204にエネルギーを転送するための最適解決策は事実上、時間 T_p に亘って負荷インピーダンスを変えることによって与えられることが分かる。

【数3】

$$R_L(t) = \frac{T_p - t}{C} + R_s \quad \text{ここで } t \in [0, T_p] \quad (3)$$

【0041】

再び図2(b)を参照すると、時間 T_p に亘って負荷インピーダンスを変えることによって与えられるエネルギー移転は負荷への60%エネルギー移転に等しいことが分かる。これは、本発明の一実施形態によれば、入力エネルギー特性の理解によってエネルギー源と負荷の間のエネルギー移転が最適化され得ることを示す。従来技術ではシステム励振が考えられるときでも、「最適」（一定の）インピーダンスを選択する試みが行われ、最適エネルギー移転の試みは失敗する。本発明者等は、この単純化された例示的システムに關しても最適インピーダンスが実際に静止関係よりむしろ時間的に変化する関数である（従つて負荷インピーダンスが事実上、非線形負荷インピーダンスなどであり得る）ことを認めている。従来技術では、最適インピーダンスを識別するという観点からこの問題を見る人は誰でも直ちに、次善の結果を得ることを余儀なくされる。

【0042】

図3(a)および3(b)を参照すると、力の図300および機械エネルギーを電気エネルギーに変換するために使用され得るトランスデューサ302の等価回路が示されている。この場合のトランスデューサは電磁トランスデューサである。このトランスデューサは、本発明の一実施形態による収穫装置に入力を与え得る。

【0043】

図3(b)を参照すると、トランスデューサ302は、直列に接続された抵抗304、インダクタンス306、および従属電圧源308として電気的にモデル化され得る。従属電圧源308の電圧(V_e)は、図3(a)に示された質量(M)の速度(\dot{x})に比例する。機械的にトランスデューサ302は、力の入力の値がトランスデューサ302内を流れる電流(i)に比例し、下記の方程式によって記述される力の入力 f_d としてモデル化される。

【数4】

$$f_d - c_e = M\ddot{x} + B\dot{x} + kx \quad (4)$$

【数5】

$$V_{Load} = c_e \ddot{x} - iR_e - L_e \frac{di}{dt} \quad (5)$$

【0044】

負荷310の力学は、このモデルでは明確には記述されない。この自由度は、本発明の一実施形態に従つて質量システム300から負荷310へのエネルギーの最適移転を与える負荷特性を決定するために使用される。

【0045】

負荷特性を決定するために、方程式(5)は下記の形式の最適化問題として表現され得る。

【数6】

$$\max_{i(t)} \int_0^{\infty} i V_{Load} dt \quad (6)$$

【0046】

テストの目的のために、システムへの機械力の入力は、設定された速度で歩く人にシス

10

20

30

40

50

テムが取り付けられた、または埋め込まれた場合に期待され得る振動または励振とよく似ているステップ力の入力 (f_d) の形をしている。好都合にもシステムが最初に静止していれば、2 k のステップの大きさは、一旦システムが平衡に達したとき f_d によって行われる仕事の 1 J という結果になる。ステップ力の入力は、このタイプのシステムが遭遇し得る励振に対する単純化されてはいるがなお現実的な近似である。

【0047】

本発明の一実施形態によれば、システムのエネルギー移転を最適化するために励振の特性はこの最適化に含まれる。

【0048】

図 4 に転じると、本発明の一実施形態による図 3 に示されたようなシステムからエネルギーを収穫するための装置 400 が示されている。装置 400 は、入力 401 として示された振動エネルギー源からエネルギーを収穫する。機械構造物 402 およびトランスデューサ 404 は、引き続いて起こるエネルギー蓄積または負荷 406 への供給のために振動エネルギー源から受け取られた機械エネルギーを電気エネルギーに変換するように整えられる。トランスデューサ 404 は、例えば電磁トランスデューサまたは圧電トランスデューサを備え得る。代替実施形態ではトランスデューサ 404 は、電気活性トランスデューサ、電歪トランスデューサまたはイオンポリマートラנסデューサであり得る。本装置 400 は更に、振動エネルギー源 401 からエネルギーを収穫するように整えられた本発明の一実施形態による収穫装置 410 を備える。この収穫装置 410 は、振動エネルギー源 401 の変化するエネルギー特性に従って変えられ得る特性を有する。この例における収穫装置 401 は、整流器 410 (後により詳細に説明される) の形の電気変換装置 410 であって、整流器 410 の特性はインピーダンスである。本実施形態の装置はまた、この例では整流器 410 の特性の変化を制御するための適応コントローラ 414 であるコントローラ 414 を含む。本実施形態における装置はまた、整流器 410 を制御するために適応コントローラ 414 によって利用される 1 つまたはそれ以上の変化パラメータを取得するためにエネルギー源の変化するエネルギー特性を監視するためのモニタ 412 を含む。この例ではモニタは、振動力外乱 401 を感知するための力トランスデューサの形をしたセンサー 412 であり、変化パラメータは力の大きさである。代替実施形態ではセンサーは、振動エネルギー源の速度を測定するためのレーザードップラー振動計の形であり得る。本実施形態における整流器 410 は、エネルギーを消散させるよりむしろ任意のインピーダンスの挙動をエミュレートできるスイッチング装置であって、これはエネルギーをエネルギー蓄積 (例えばバッテリ) または負荷 406 に転送する。代替実施形態では適応コントローラ 414 は、エミュレートされたインピーダンスを介して間接的に負荷電流を制御する代わりに負荷電流を直接制御するために変化パラメータを使用し得る。

【0049】

適応コントローラ 414 は、整流器 410 を制御するために強化学習アルゴリズムに従って動作する。時間とともにこのアルゴリズムは、エネルギー入力 (外乱) の特徴とエネルギー捕捉を最大にするために必要とされる適当なインピーダンスの間のマップを構築する。

【0050】

図 6 (b) は、時間 $t = 0$ および $t = 0.4$ 秒における力ステップに関する一例として結果的に得られる電流波形、電圧波形および電力波形を示す。機械システムはこの例を通して同じであるが、電流波形の位相および大きさの両方は第 2 のステップが発生したとき電圧波形に関して変化することに留意されたい。この変化の理由は、システムは第 1 のステップのときに、次のステップが到着する前にできるだけ多くのエネルギーを抽出するように構成されるが、第 2 のステップに関してはエネルギーを吸収するためにより多くの時間があるので、エネルギーは効率を改善するためによりゆっくり抽出されることが可能であるということである。

【0051】

図 6 (a) を参照しながら今度は、整流器 410 を制御するために適応コントローラ 4

10

20

30

40

50

14 によって利用される強化学習システムが説明される。この強化学習システムは 4 つの主要な構成要素を含む。

【 0052 】

これらの構成要素の第 1 のものはダイナミックシステムブロック 602 である。ダイナミックシステムブロック 602 は、全エネルギー変換システム（すなわち機械構造物 402、トランスデューサ 404、および収穫整流器 410）を表す。効果的にはダイナミックシステムブロック 602 は、振動が入って行き、エネルギーが出てくる、その特性がシステム性能を変えるために変えられ得るボックスと考えられ得る。ダイナミックシステムブロック出力は、(a) 電流特性情報；(b) 時間的にこの瞬間に選択された収穫整流器のインピーダンス値；(c) システムの履歴に関する情報をカプセル封入したシステム状態の関数である。この出力関数は、状態推定ブロック 604 に渡される。

10

【 0053 】

状態推定ブロック 604 は、ダイナミックシステムの現在状態についての情報を含有する。本実施形態によれば、学習マップ（後に説明される）の次元が最小化されるように、所望の収穫整流器インピーダンスを決定するために必要とされる状態情報だけが考慮される（または推測されたいいくつかの事例では）。例えば前述の基本的コンデンサ回路に関しては、最適インピーダンスを知るために必要とされる状態情報だけは、次のエネルギー・パルスまでの推定時間（すなわち単一の状態変数）である。代替として、異なる電圧に関してコンデンサが非線形出力を示していることが確定されたならば、状態情報にコンデンサ電圧の推定値を含むこともまた重要である。本実施形態（すなわちステップ力の入力）によれば、次のステップ（または外乱）がいつ期待され得るかを知ることが重要である。図 6 (b) を参照すると、 $t=0$ および $t=0.4$ 秒においてステップ力が経験された結果的に得られた波形が見られ得る。この例を通して機械システムは同じであるが、電流波形の位相および大きさの両方は第 2 のステップが発生したときに電圧波形に関して変化することに留意されたい。この変化の理由は、システムは第 1 のステップのときに、次のステップが到着する前にできるだけ多くのエネルギーを抽出するように構成されるが、第 2 のステップに関してはエネルギーを吸収するためにより多くの時間があるので、エネルギーは効率を改善するためによりゆっくり抽出されることが可能であるということである。

20

【 0054 】

ブロック 606 に学習マップが示されている。学習マップ 606 は、ルックアップテーブルとして概念化されることが可能であり、ここでは現在状態情報およびある時間に考慮されることを必要とする各制御処置（すなわち収穫整流器インピーダンスを設定すること）に基づいて、この処置の期待される結果（すなわちエネルギー・パルスから回収される全エネルギー）が基準とされ得る。

30

【 0055 】

図 6 に示される最後の構成要素は学習システムブロック 608 である。この学習システムブロックは 2 つの主要なタスク、(a) 所望の結果を達成するために適当な制御処置を与えること（すなわち収穫整流器 410 のインピーダンスを設定すること）；および (b) (a) を実行することを可能にするシステム挙動のマップを構築して維持することとを有する。制御処置を実行するために適応コントローラ 414 は学習マップ 606 を基準にして異なる制御処置の期待される結果を評価し、最適エネルギー移転を作り出す制御処置を選択する。言い換えれば適応コントローラ 414 は、最適な結果を達成するためにシステムの知識を活用する。しかしながら、マップ 606 を構築するために、異なる制御処置の結果を探求することが必要である。更に、システムの変化に適応するために、学習システム 608 はある時間の間、情報が更新されなかったマップ 606 の領域を場合により再探求する必要がある。これは、予備的制御処置（マップを最新状態に保持するために必要とされる情報を与える）が絶えず最善の処置を実行したいという要望を平衡に保たなくてはならないというトレードオフが存在することを意味する。本実施形態によればエネルギーの各パルスは、抽出されるエネルギー量によって結果が定義される実験を与えると考えられ得る。しかしながら反復性学習システムが各時間ステップ（制御処置を適用し、結

40

50

果的状態を測定する)を個別実験として取り扱い、結果的状態からの期待される結果によつてこの制御処置の成功を評価できることに留意することは重要である。ここでの実際的な含意は、これがエネルギー移転を最適化するための任意数の適応学習アルゴリズムを学習システム 608 が生成することを可能にすることである。この様式で学習システム 608 は、すべての可能な組合せを試してみなければならないことよりもむしろ最適な戦略に到達するために多くの実験の異なる部分を統合することができる。

【0056】

図 5 (a) および (b) を参照しながら今度は本実施形態による収穫整流器 410 の動作が説明される。本装置は、その入力端子において見られる任意のインピーダンスを実現できる。例えば電流を感知して電圧を印加する、または電圧を感知して電流を印加することによってこれらの端子に任意のインピーダンス $Z(s)$ (ここで 's' はラプラス変換または $j\omega$ を表す) が確立され得る。言い換えれば本装置は、必要とされるインピーダンスが入力端子に実現される必要がある電流制御電圧源 (電圧フィードバックを有する) 、またはあるアドミッタンスが入力端子に実現されるべきである電圧制御電流源 (電流フィードバックを有する) と考えられ得る。ある特定の実施形態では、図 5 (b) に示されるように収穫整流器 410 は、極めて高い周波数でオンオフ切換えする 4 個のスイッチ 502、504、506、508 からなる。これらのスイッチのオンオフ時間を変えることによって収穫整流器 410 は、その入力端子 501 における電圧と電流の間に任意の関係を保持し、また結果的に得られる合成 / 仮想インピーダンスがその入力端子に確立され得る。4 個のスイッチ 502、504、506、508 に加えて収穫整流器 410 は更に : フィルタ - スイッチがオンオフするときに収穫整流器に出入りする電流を平滑にする (または濾波する)。

電流センサー 収穫整流器に出入りする電流を感知する。

電圧センサー 収穫整流器の端子にかかる電圧を感知する。

所望インピーダンス 収穫整流器の端子に見られる所望インピーダンスである。これはアナログまたはデジタルフィルタを使用して実現され得る。フィルタは線形または非線形であり得ることに留意されたい。

加算器 感知された電圧または電流信号を加算する。

コントローラ コントローラはスイッチに関するオンオフまたはデューティサイクル 1 を制御する。

コンパレータ コンパレータの出力は非反転入力が反転入力より高いときにオン (または 1) である。正入力がより低いときには出力はオフ (または 0) である。これら 2 つの入力が等しければ、出力は不確定であり、従って前の値を出力する。

三角波発生器 コンパレータのために三角波を生成する。三角波はその三角形の形状のために名づけられた波形である。

インバータ 出力は入力の逆である。

不感時間 回路がショットスルー (shot through) を有することを防止する、すなわちスイッチが正確に同じ時間にオンになることを防止する。

スイッチ スイッチは電流を両方向に導く。スイッチの電圧バイアス状態に関係なく、これはゲートが高いときオンであり、ゲートが低いときオフである。

平滑コンデンサ オンオフするスイッチによって生成されるスイッチング電流を平滑にする (または濾波する)。

【0057】

代替実施形態 (図示せず) では、収穫整流器は所望のアドミッタンスを使用してインピーダンス $Z(s)$ を実現するように構成され得る。

【数 7】

$$Y(s) = \frac{1}{Z(s)} \quad (7)$$

これは、不適当な伝達関数、例えばインダクタまたは微分器を有するアナログまたはデジタルフィルタを使用して所望のインピーダンスを実現することが困難である場合に有益で

10

20

30

40

50

あり得る。

【0058】

図4の実施形態では変化するエネルギー特性は、外乱測定センサー412によって直接決定される。代替手段はトランスデューサ404からの出力を測定し（すなわち電圧／電流出力の点から）、これを直接測定しなくてはならないことよりむしろエネルギー入力外乱の特性を推測するためにこの測定値を利用することである。図7(a)には、トランスデューサ404からの電圧または電流を測定するために「ソフトセンサー」701を利用する代替実施形態が示されている。図7(a)実施形態の他の構成要素は図4の構成要素と同じであり、ここでは更なる説明は行われない。図7(b)は、図5に関して前に説明されたシステム実現形態のブロック図である。この場合、変化パラメータは、トランスデューサから測定された電圧と電流である。これらの電圧および電流値は、性能を最適化するために必要な収穫整流器の構成を決定するコントローラアルゴリズムに送り込まれる。

【0059】

図7(c)の装置では測定値は、収穫整流器の負荷側から取られる。

【0060】

センサーのこれら構成の両方は異なる特徴を有する。収穫整流器のトランスデューサ側で感知を実行する利点は、これらの測定値がより直接的に振動構造物の状態に関係していることである。しかしながら整流器の負荷側における測定値を使用することは、抽出されたエネルギーの直接の測定値を与え、従って適応を構成することを容易にし、スイッチングシステムにおける損失が学習プロセスにおいて明らかにされることをより可能にする。これら2つの手法の組合せも利用可能である。

【0061】

振動エネルギー収穫の提案された技法をテストするために、実験装置が構築された。この装置は、レーザードップラー振動計(LDV)、剛性の支持体、柔軟な支持体、質量および2つの同じ電磁トランスデューサ(またはスピーカ)を含んでいる。図8は、実験装置の断面図を示す。下記の表は、実験装置パラメータをリストアップしている。

【表1】

表 実験装置パラメータ

パラメータ	記号	値	単位
質量	<i>m</i>	11	kg
減衰係数	<i>b</i>	14.3	Ns/m
バネ係数	<i>k</i>	87.1	kN/m
コイルインダクタンス	<i>Le</i>	1.9	mH
コイル抵抗	<i>Re</i>	3.4	Ω
結合係数	<i>c_e</i>	8.3	N/A <i>V/ms⁻¹</i> 又は

【0062】

実験装置変換効率を、すなわち出力エネルギーE_{out}を入力エネルギーE_{in}で除算したものと、測定するために、本発明者等は外乱力f_d(またはf_{dest})、質量速度x・および「収穫整流器」電流iおよび電圧vを測定する必要がある。

【0063】

space DS1104システムが電流制御信号i_{cont}を生成して、外乱力f_{dsen}、質量速度x・および「収穫整流器」電流iおよび電圧vを測定した。ステップ外乱電流i_{dsen}を電磁トランスデューサ1に印加することによって、外乱力f_{dest}が推定され得る、すなわちf_{dest} = c_ei_{dsen}。外乱力f_{dsen}は、0.1Hzの高域フィルタを有するNexus 2692調整増幅器を介してPCB Piezotronics 218C力トランスデューサを使用して直接測定された。それから、感知された外乱力f_{dsen}の大きさは、推定を検証する手段としてf_{dsen}と比較されたことができた。機械システムの質量速度x・は、Ometron VH-1000-Dレーザードップラー振動計(LDV)を使

10

20

30

40

50

用して測定され、実験装置パラメータ、すなわち k および b を決定するために使用された。構築された実験装置は図 8 に示されている。

【 0 0 6 4 】

ステップ外乱力 $f_d = 8 . 3 \text{ N}$ (または $E_{in} = f_d^2 / (2k) = 0 . 395 \text{ mJ}$) をモデルに印加することによって、収穫整流器は変換エネルギーの効率を最大にするように適応する。

【 0 0 6 5 】

図 9 は、5 秒の周期でステップ外乱力を受ける収穫整流器に関するシミュレートモデルの結果を示す。変換効率 () は、多数の繰り返しの後にシステムが 0 . 21 すなわち 21 % という最適変換効率に収束することを示すプロット (a) に示されている。この図のプロット (b)、(c) および (d) はそれぞれ、時間の関数としての外乱力 f_d 、質量速度 $x \cdot$ 、およびインピーダンス $z(t)$ を示す。各周期において質量の速度はゼロに減衰し、インピーダンスは図 9 (d) に示されたように最適変換効率を保証するためにアルゴリズムに従って変化する。

【 0 0 6 6 】

それから図 10 は、5 秒の代わりに 2 秒と設定されたステップ外乱力 f_d の周期で実行された同じシミュレーションの結果を示す。ステップ力のより迅速な周期のために、質量速度 $x \cdot$ は各周期の間に完全には減衰しない。またインピーダンスは、図 12 (d) に示されるように時間スケール上で「より迅速」に更新される必要がある。効率は、5 秒の場合より僅かに高い 0 . 24 (すなわち 24 %) という最適値に収束すると見られる。

【 0 0 6 7 】

それからこのシミュレーションは繰り返されたが、このときステップ外乱力は 2 秒と 5 秒の間で間欠的に変えられた。この結果は図 11 に示されている。

【 0 0 6 8 】

前のセクションで説明されたと同じ手順を使用して $a f_d = 8 . 3 \text{ N}$ ステップ外乱力が 5 秒周期および 2 秒周期で、また間欠的に 2 秒周期および 5 秒周期で実験装置に印加された。これら 3 つのシナリオの実験結果はそれぞれ、図 12、13 および 14 に見ることができる。

【 0 0 6 9 】

これらの結果から本発明者等は、シミュレーションおよび実験装置の両方が 27 ~ 34 % という最適変換効率に収束することを観察できる。本発明者等はまた、収穫整流器の負荷インピーダンス $z(t)$ が学習し、変化する外乱に適応し、また迅速に変化していることに注目している。

【 0 0 7 0 】

更に、実験装置変換効率の結果は、シミュレーションより僅かに大きく (すなわち 6 ~ 10 %)、最適インピーダンス $z(t)$ はシミュレーションとはかなり異なる。本発明者等は、これが実験システムに関する更なる力学およびオフセットによるものと信じている。これは、提案された学習技法が変化する動作状態および環境状態を補正できることを示しているので、有望な結果である。

【 0 0 7 1 】

振動エネルギー収穫システムは 10 ~ 17 % の変換効率を有することも観察された。これは、電磁トランスデューサの効率および振動システムの比較的大きな減衰によると考えることができる。しかしながら、本発明者等が上記の考えをより効率的な電気機械システム、例えば Q D r i v e S T A R L i n e a r M o t o r / A l t e r n a t o r 1 S 3 6 2 M / A に適用するならば、シミュレーションは図 15 に示されるように 80 % より大きなエネルギー変換効率が達成され得ることを示唆している。

【 0 0 7 2 】

前述の実験装置のための適応コントローラの例示的実現形態は、図 16 の M a t l a b / d S p a c e ブロック図を参照しながら説明され得る。この例示的システムに関して機械システムは、学習システムブロック 608 が各パルスを個別の実験として取り扱うこと

10

20

30

40

50

を可能にするパルス発生器 802 (変化する周波数を有する) によって励振される。最適化されたパラメータの計算は、1パルスごとに1回実行される。学習システムブロック 608 によって生成された学習アルゴリズムは、収穫整流器のための (時間的に変化する) 最適仮想インピーダンス Z すなわち $z(t)$ を生成する。この例示的システムに関して実験装置は、下記の入力によって作動可能にされる。

F_d 機械システムを励振する外力関数 ; および

Z エネルギー捕捉を最大にするために学習アルゴリズムが決定する時間変化インピーダンス。

【 0073 】

実験装置の応答は、カトランスデューサからの測定値 (f_d)、レーザードップラー振動計からの測定値 (x_{dot})、電圧電流トランスデューサからの測定値 (v) および (i) を使用して取得される。本明細書で説明された実施形態では学習システムブロック 608 は、実験装置から出力されたエネルギーだけを利用する 1 つの学習アルゴリズムを実行する。これは出力電圧および電流から直接導き出され、低コストセンサーを使用して取得可能である。速度および力の測定値は、システム力学および変換効率の完全な分析を可能にするが更なる実現形態に含まれる必要はない実験室システムにおいて得られる。図では学習システム 608 は 2 つのサブシステム、すなわち学習最適化ブロック 804 および Z 発生器 806 に分けられる。

【 0074 】

学習最適化ブロック 804 は、機械システムが受ける励振の異なるクラスに関する最適挙動の学習マップを構築する。この学習マップは、1パルスごとに1回更新される。メモリブロック 810 は、学習マップ更新が学習マップの前の状態および現在パルスに関して取得されたばかりの新しいデータの関数であることを明確にするために示されている。

【 0075 】

Z 発生器 806 は、学習最適化ブロック 804 から更新済みの学習マップを取り、これを使用して収穫整流器に関する時間変化インピーダンスを生成する。この特定の例に関して学習マップは、最適収穫整流器インピーダンスを時間および励振周波数の関数として表す。学習マップは、時間 (各励振パルス内の) を表す行とパルス周波数に対応する列を有するマトリックスであって、このマトリックス値がこれらの状態の下での最適収穫整流器インピーダンスであるマトリックスとして実現される。学習マトリックスには、単に離散数の行 / 列が存在するだけなので、パラメータはマトリックス内で明示的なこれらの間のデータポイントにおけるインピーダンス値を取得するために補間されなくてはならない。これは、実現形態の計算上の複雑さを減らすための重要なステップである。

【 0076 】

使用される機械学習方法は、当業者には直ちに知られる強化学習技法である「Q学習」に基づいている。これは、多くの実験に亘って最適解決策への収束を可能にする機械学習フレームワークを与える。本方法は、学習マップが実際には基礎を成す連続マップへの離散的近似であるので、僅かに変更されている。そのようなものとして、新しいデータポイントが直接マトリックス座標上にあることはほとんどなく、むしろ新しい学習データは隣接パラメータに亘って「不鮮明にされ」なくてはならない。これは、1次元学習マップに関して図 17 に示されている。実験システムでは、新しいデータを「不鮮明にする」ために使用される重み付け関数は三角形である。信号処理のコミュニティ内では他の適当な関数も周知である。

【 0077 】

Z 発生器ブロック 806 は、実際の収穫整流器インピーダンスを最終的に生成するために学習最適化手段によって生成されたような学習マップを取る。この例示的システムの結果は、図 11 および 14 に示されている。図 11 および 14 から、入力励振が変わると強化学習アルゴリズムは前に学習した最適構成にそれ自体を直ちに再構成できることが分かる。これは、システムに変化が存在するときにはいつでも最適化が再計算されなくてはならない従来システムの適応最適化タイプの手法とは対照的である。強化学習アルゴリズム

10

20

30

40

50

は、新しい動作点が必要とされるときにはいつでも求められる前の経験のマップを構築することによってこれを達成する。

【0078】

本発明の実施形態は、多くの用途を持ち得る。これらは、振動エネルギー源から携帯電話バッテリのようなエネルギー蓄積へのエネルギーの移転を含み得る。収穫整流器は、エネルギーを捕捉してこれを最適な期間にエネルギー蓄積に転送するための高速スイッチング回路を使用する。本発明のもう1つの用途は、例えば橋、建物、カーサスペンションシステムまたは他の機械システムのような大きな構造物において作り出される振動からエネルギーを転送することであり得る。もう1つの用途は、歩いている人または走っている人からその人、例えば戦場の兵士によって携行されている器械へのエネルギーの転送のためである。他の用途は下記のものを含む。

マイクロエレクトロニック機械システム（MEMS）（医療用圧力センサーなど）、ナノ電気機械システム（NEMS）、および最終的に交換を必要とするバッテリよりもむしろ患者に埋め込まれて患者の動きによって電力供給され得る他の任意の電気システム；

無線装置 センサー、キーレスシステム、および無線周波数識別装置；

「Harvesting Energy From Fluid Flow」と題する、本出願人によるオーストラリア仮特許明細書第2006906804号に提案されているような振動タービンからのエネルギーの収穫；

太陽電池および／または光電池；

携帯型電子装置 携帯電話、パーソナルデジタルアシスタント、デジタルカメラ、携帯型音楽プレーヤー；

ラップトップコンピュータ；

輸送車両 モーターバイク、乗用車、トラック、バス、列車および飛行機；

土木構造物 家屋、高層ビルおよび橋梁；

波エネルギー 大洋、河川および小川；および

熱電装置。

【0079】

多くの他の用途も存在する。

【0080】

本発明の実施形態を実現するためにコンピューティング技術が使用され得る。特に適応コントローラは、コンピューティングシステムによって実現され得る。コンピューティングシステムは、任意の好都合なアーキテクチャを持ち得る。例えばこの実現形態は、装置内に埋め込まれたマイクロコントローラを含むことが可能であり、マイクロコントローラは適当な適応学習アルゴリズムでプログラムされる。代替として実現形態は、適当にプログラムされたラップトップコンピュータまたは他の任意のコンピュータアーキテクチャを含み得る。

【0081】

上記の実施形態は振動源からエネルギーを収穫することに關していたが、本発明は同様に、熱音響効果（振動が熱駆動される）；回転フライホイールにおけるエネルギー蓄積；および水力発電システムを含むがこれらに限定されない他のシステムに適していることも考えられる。本発明は広帯域エネルギー源または雑音源などのようなランダムなエネルギー源からエネルギーを抽出するために利用され得ることも考えられる。

【0082】

前述の実施形態ではインピーダンス整合回路が利用されたが本発明はアドミッタンススイッチング回路でも同様に動作でき、それによって電圧が測定され、電流が印加されることも理解されるべきである。

【0083】

上記の実施形態では、振動エネルギーはこれを電気エネルギーに変換することによって抽出される。本発明は、電気エネルギーへの変換に限定されない。エネルギーは他の形に変換され得る、例えば捕捉されたエネルギーはガスが絶えず変化し得る伝送を直接圧縮す

10

20

30

40

50

るために使用され、これは圧縮機構に接続され得る。絶えず変化し得る伝送は「変化特性」として動作する。

【0084】

本発明は前述の実施形態を参照しながら説明されてきたが、本発明の範囲から逸脱することなく改変、変更および改善が行われることが可能であって、同等のものが前述の実施形態の要素およびステップに取って代わり得ることは当業者によって理解される。更に、本発明の中心的範囲から逸脱することなく、特定の状態または材料に適応するために本発明の教えに対して多くの修正が行われ得る。このような改変、変更、修正および改善は、上記に明確には説明されていないが、それでもなお、本発明の範囲および精神の内にあることが意図され含意されている。従って本発明は、本発明を実施するために考えられた最良の形態として開示された特定の実施形態に限定されず、本発明は独立請求項の範囲内に入るすべての実施形態を含むことが意図されている。

10

【図面の簡単な説明】

【0085】

【図1(a)(b)】V E Hのための従来技術の装置のブロック図である。

【図2(a)(b)】(a) V E Hによって提起されたエネルギー移転問題の説明のために含まれた単純な回路である。(b)異なる負荷インピーダンス状態に関する図2(a)の装置のための時間に対する見かけの負荷インピーダンスのグラフである。

【図3】振動エネルギー源からのエネルギーを変換するためのトランスデューサに関する力の図および等価回路である。

20

【図4】本発明の一実施形態によるエネルギーを収穫するための装置のブロック図である。

【図5(a)】本発明の一実施形態による収穫整流器に接続された電気機械システムの図である。

【図5(b)】本発明の一実施形態による収穫整流器の回路図である。

【図6(a)】図4の実施形態で利用され得る適応学習アルゴリズムを示す概略図である。

【図6(b)】本実施形態に印加されたある例示的振動に関する図4のトランスデューサのための電流波形および電圧波形を示す。

【図7(a)】本発明の更なる実施形態によるエネルギーを収穫するための装置のブロック図である。

30

【図7(b)(c)】本発明の実施形態による代替構成のブロック図である。

【図8】実験装置の概略図である。

【図9】5秒周期を有する図8の実験装置のシミュレートモデルから生成されたプロットを示す。

【図10】2秒周期を有する図8の実験装置のシミュレートモデルから生成されたプロットを示す。

【図11】間欠的5秒および2秒周期を有する図8の実験装置のシミュレートモデルから生成されたプロットを示す。

【図12】5秒周期を有する図8の実験装置から生成されたプロットを示す。

40

【図13】2秒周期を有する図8の実験装置から生成されたプロットを示す。

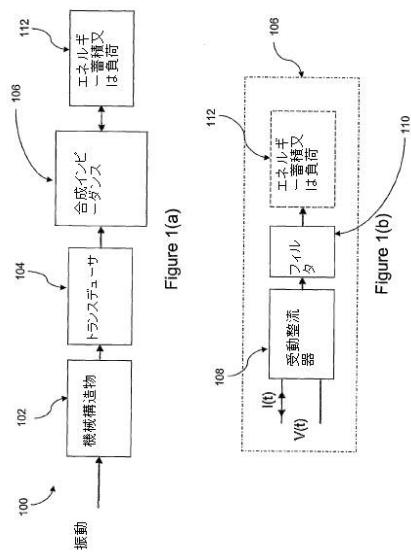
【図14】間欠的5秒および2秒周期を有する図8の実験装置から生成されたプロットを示す。

【図15】代替の電磁トランスデューサを有する実験装置のシミュレートモデルから生成されたプロットを示す。

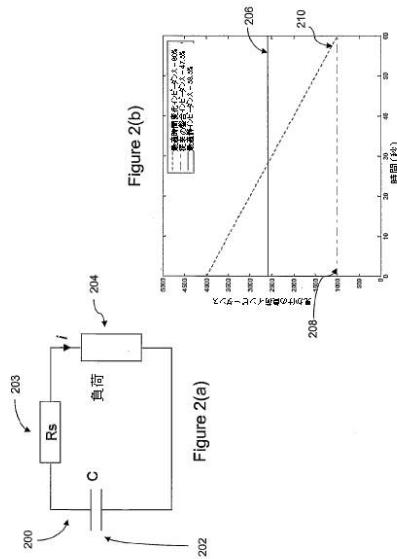
【図16】本発明の一実施形態による適応コントローラの動作を示すための実験室規模のシステムのブロック図である。

【図17】適応コントローラによって生成された1次元プロットを示す。

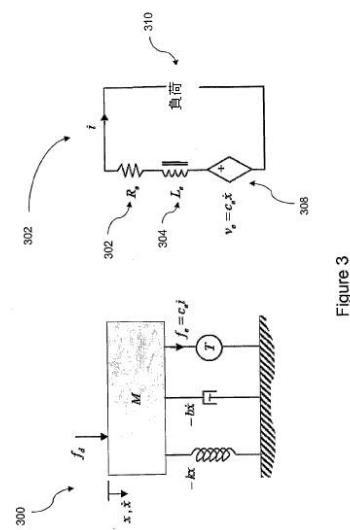
【図1(a)(b)】



【図2(a)(b)】



【図3】



【図4】

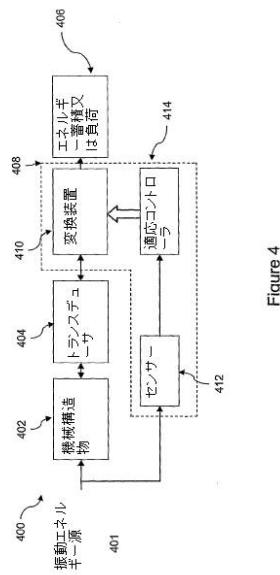


Figure 4

【図5(a)】

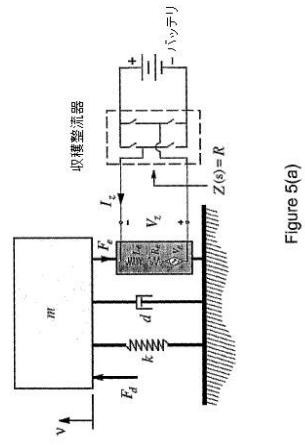


Figure 5(a)

【図5(b)】

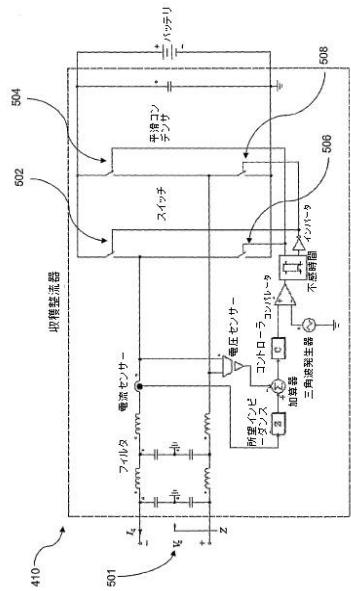


Figure 5(b)

【図 6 (a)】

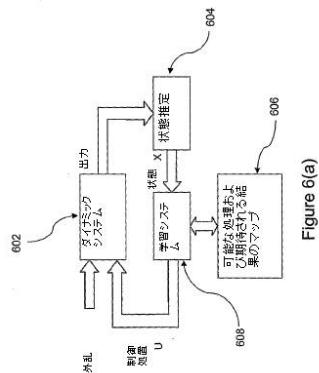


Figure 6(a)

【図 6 (b)】

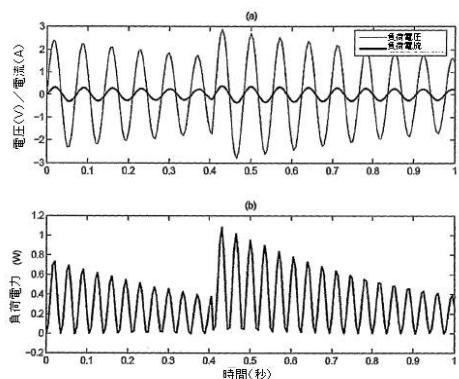


Figure 6(b)

【図 7 (a)】

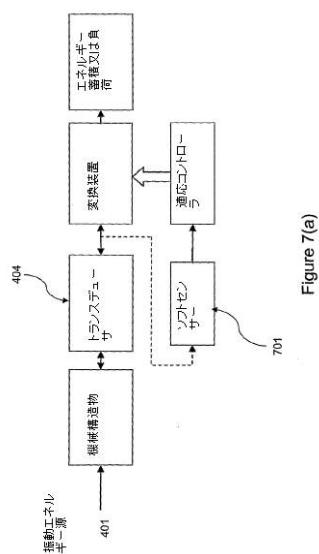


Figure 7(a)

【図 7 (b) (c)】

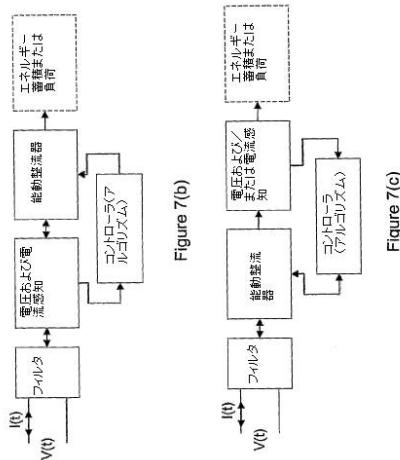


Figure 7(b)

Figure 7(c)

【図 8】

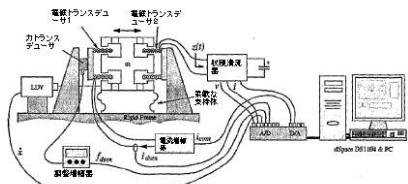


Figure 8

【図 9】

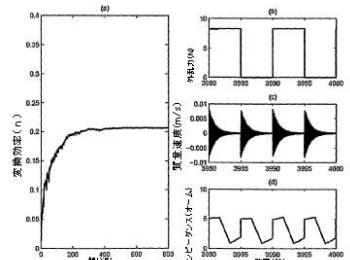


Figure 9

【図 10】

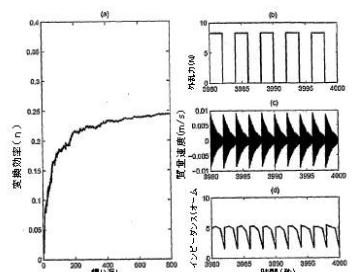


Figure 10

【図 11】

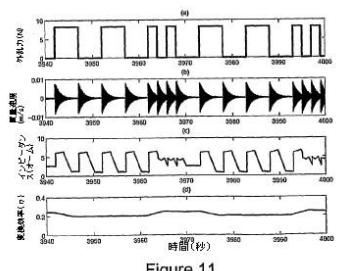


Figure 11

【図12】

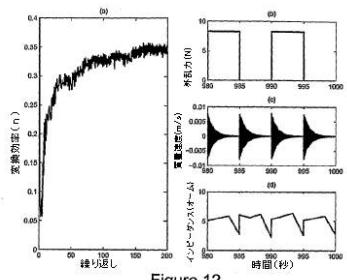


Figure 12

【図13】

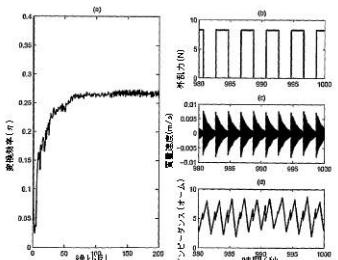


Figure 13

【図14】

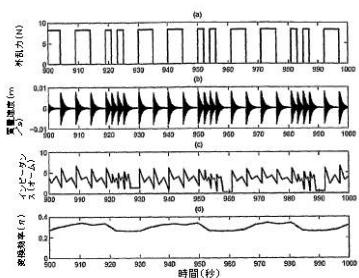


Figure 14

【図15】

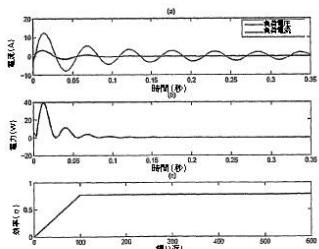


Figure 15

【図16】

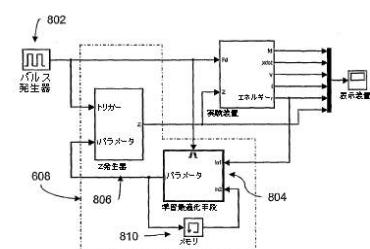


Figure 16

【図17】

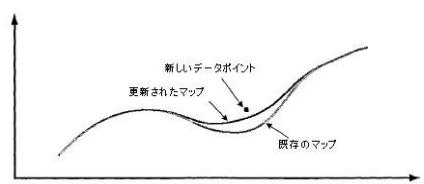


Figure 17

フロントページの続き

(74)代理人 100126354

弁理士 藤田 尚

(74)代理人 100104282

弁理士 鈴木 康仁

(72)発明者 ワード, ジョン, ケビン

オーストラリア国, ニュー サウス ウエールズ 2304, メイフィールド ウエスト, マレーダウヤー サーキット 10, コモンウェルス サイエンティフィック アンド インダストリアル リサーチ オーガナイゼーション

(72)発明者 ベーレンス, サム

オーストラリア国, ニュー サウス ウエールズ 2304, メイフィールド ウエスト, マレーダウヤー サーキット 10, コモンウェルス サイエンティフィック アンド インダストリアル リサーチ オーガナイゼーション

審査官 大山 広人

(56)参考文献 特表2004-538750(JP, A)

特表2003-502000(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02N 2/18