

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード <sup>*</sup> (参考)
B06B 1/04		B06B 1/04	A 3J048
	1/14		5D107
B63B 43/00		B63B 43/00	A 5H633
F16F 15/02		F16F 15/02	A
			C

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2000 - 273626( P 2000 - 273626)	(71)出願人	390014306 防衛庁技術研究本部長 東京都新宿区市谷本村町 5 番 1 号
(22)出願日	平成12年 9 月 8 日(2000.9.8)	(72)発明者	堤 厚博 東京都練馬区下石神井 1 - 14 - 3
		(72)発明者	鎌形 将人 埼玉県志木市柏町 2 - 27 - 24
		(72)発明者	岡本 慶雄 東京都目黒区中目黒 2 - 2 - 30 A - 507
		(74)代理人	100067323 弁理士 西村 教光

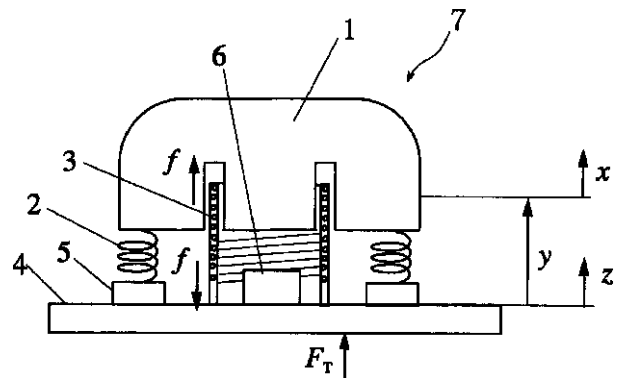
最終頁に続く

(54)【発明の名称】能動振動減衰電磁加振機及び能動振動減衰制御方法

(57)【要約】

【課題】 機械・防振支持系の固有振動数を変化させることなく直接速度フィードバック制御の能動防振を実現し、防振ゴム等による弾性支持法の共振による振動伝搬の増大を押さえ、共振周波数帯域にある振動成分の防振効果の向上を得る。

【解決手段】 支持用弾性体 2 によって支持部 4 に支えられた永久磁石 1 を慣性質量とし、永久磁石 1 と支持側に固定された電磁コイル 3 によって電磁力を発生する電磁加振機 7 において、電磁加振機 7 の慣性質量を支える弾性体 2 より伝わる伝達力の検出手段 5 と支持部 4 の速度の検出手段 6 を取り付け。また、弾性体 2 より伝わる伝達力の検出手段 5 には、力センサ、変位センサ、速度センサ又は加速度センサを使用し、速度の検出手段 6 には、速度センサ又は加速度センサを使用する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 支持用弾性体によって支持部に支えられた永久磁石を慣性質量とし、前記永久磁石と支持側に固定された電磁コイルによって電磁力を発生する電磁加振機において、前記支持用弾性体を通して伝達される力の検出手段と支持部の変位速度の検出手段を取り付け、前記支持用弾性体より伝わる伝達力と支持部の変位速度を検出し、この検出値を加えた信号を電磁加振機に増幅して入力し、前記支持用弾性体より伝わる力と電磁コイルによる電磁力の合計の力を支持部の変位速度に比例させ、機械・防振支持系の固有振動数を変化させることなく直接速度フィードバック制御を実現でき、防振ゴム等による弾性支持方式における共振による振動伝搬の増大を押さえることを特徴とする能動振動減衰電磁加振機。

【請求項 2】 請求項 1 の電磁加振機において、検出した支持部の速度に能動減衰係数を掛け、これと検出した支持用弾性体を伝わる伝達力を加えた後、増幅した電圧を前記能動振動減衰電磁加振機の電磁コイルに入力することを特徴とする能動振動減衰制御方法。

【請求項 3】 請求項 1 の電磁加振機において、支持部の速度の検出手段において、支持部の加速度を加速度センサにより検出し、これを積分して速度に変換することを特徴とする速度検出方法

【請求項 4】 請求項 1 の電磁加振機において、支持用弾性体を通して伝達される力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対変位を変位センサにより検出し、これに支持用弾性体のばね定数を掛けて伝達力に変換することを特徴とする伝達力検出方法。

【請求項 5】 請求項 1 の電磁加振機において、支持用弾性体を通して伝達される力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対速度を速度センサにより検出し、これを積分し、支持用弾性体のばね定数を掛けて伝達力に変換することを特徴とする伝達力検出方法。

【請求項 6】 請求項 1 の電磁加振機において、支持用弾性体を通して伝達される力の検出手段にかわり、支持部の加速度と永久磁石の加速度を加速度センサにより検出し、これを 2 回積分し、これらの差に支持用弾性体のばね定数を掛けて伝達力に変換することを特徴とする伝達力検出方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、能動振動減衰装置とその制御方法に係り、より詳しくは、機械・防振支持系の共振周波数帯域にある振動成分の防振効果を向上させる能動振動減衰用電磁加振機とその制御方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】建物や船などの構造部材の機械的振動は起振源である機械の振動の伝搬によって生じる。このため、構造部材の振動の低減には、起振源からの振動の伝

搬を遮断することが大きな効果を持つ。従来こうした起振源からの振動を抑制する方法としては、起振源の支持部に防振ゴム等の防振用弾性体を挿入する受動的な方法が一般的に用いられてきた。防振ゴム等の防振用弾性体による支持は広い周波数帯にわたって振動遮断効果をもつが、防振用弾性体と起振源で構成される機械・防振支持系に共振が起こり、この共振周波数付近では振動が増幅される欠陥があった。このため、加振機で振動を与えて制振する能動振動減衰制御が考えられるようになった。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】共振時の能動防振として、振動を低減する部分の速度に比例する力をその速度検出部に加えることによって制振する直接速度フィードバック法が知られている。この方法を起振源である機械を防振用弾性体により支持して振動遮断する方法に適用する場合に、機械と建物や船などの構造部材の間に加振機を挿入して制振用の力を作用させると、この制振用の力が支持構造材に伝達され制振効果を発生できない。そのため、慣性質量を加振機で動かし、その反力で制振用の力を発生させる必要がある。このような慣性質量をもつ構造の加振機は市販されている。しかし、慣性質量をもつ構造の加振機は、慣性質量を重力に抗して支える支持用弾性体が必要であるため、慣性質量を動かす加振機の力以外に慣性質量を支える支持用弾性体より伝わる力があり、加振機の電磁コイルに入力する電圧を前記の速度に比例させても計画の振動減衰効果が得られない。

【0004】本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、その目的は機械・防振支持系の共振周波数帯における防振効果を向上させる能動振動減衰電磁加振機と能動振動減衰制御方法を提供することにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】前記の目的を達成するため、本発明の能動振動減衰用電磁加振機は、支持用弾性体によって支えられた永久磁石を慣性質量とし、前記永久磁石と支持側に固定された電磁コイルによって電磁力を発生する電磁加振機において、前記支持用弾性体を通して伝達される力の検出手段と支持部の速度の検出手段を取り付けたものである。

【0006】本発明の能動振動減衰制御方法は、上記能動振動減衰電磁加振機において、検出した支持部の速度に能動減衰係数を掛け、これと検出した支持用弾性体を伝わる伝達力を加えた後、増幅した電圧を前記能動振動減衰電磁加振機の電磁コイルに入力するものである。

【0007】本発明の速度検出方法は、前記能動振動減衰電磁加振機において、支持部の速度の検出手段にかわり、支持部の加速度を加速度センサにより検出し、これを積分して速度に変換するものである。

【0008】本発明の第 1 の伝達力検出方法は、前記能動振動減衰電磁加振機において、支持用弾性体を通して

伝達される力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対変位を変位センサにより検出し、これに支持用弾性体のばね定数を掛けて伝達力に変換するものである。

【0009】本発明の第2の伝達力検出方法は、前記能動振動減衰電磁加振機において支持用弾性体を通して伝達される力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対速度を速度センサにより検出し、これを積分し、支持用弾性体のばね定数を掛けて伝達力に変換するものである。

【0010】本発明の第3の伝達力検出方法は、前記能動振動減衰電磁加振機において、支持用弾性体を通して伝達される力の検出手段にかわり、支持部の加速度と永久磁石部の加速度を加速度センサにより検出し、これを2回積分し、これらの差に支持用弾性体のばね定数を掛けて伝達力に変換するものである。

【0011】

【作用】上記の方法によると、電磁加振機の慣性質量を支える支持用弾性体より伝わる伝達力と支持部の速度を検出し、これを加えた信号を電磁加振機に増幅して入力しているため、電磁加振機の慣性質量を支える支持用弾性体を伝わる力と電磁コイルによる電磁力の合計の力を支持部の速度に比例させ、機械・防振支持系の固有振動数を変化させることなく直接速度フィードバック制御を実現でき、防振ゴム等による弾性支持方式の共振による振動伝搬の増大を押さえることができる。

【0012】

【発明の実施の形態】発明の実施の形態を実施例にもとづき図面を参照して説明する。第1図は本発明の伝達力と速度の検出手段を取り付けた能動振動減衰電磁加振機7である。支持用弾性体2によって支えられた永久磁石1は慣性質量としても作用する。前記永久磁石1と支持側に固定された電磁コイル3によって力を発生する。前記支持用弾性体2を通して伝達される力の検出手段5は、支持部4と支持用弾性体2の間の円周上に取り付けられる。速度の検出手段6は支持部4に取り付けられる。この構造により、支持用弾性体からの伝達力と支持部の速度が検出できるので、本発明の能動振動減衰制御方法を用いて、直接速度フィードバックによる能動振動減衰が実現できる。伝達力の検出手段5は市販の力センサを、速度の検出手段6は市販の速度センサをそのまま使用することができる。

【0013】第2図は本発明の能動振動減衰制御方法を説明する図である。本発明の能動振動減衰電磁加振機7が振動源である機械8に複数個取り付けられる。振動源である機械8は防振用弾性体9によって支持され、建物や船体などの構造部材10への振動を遮断している。ここで、振動源である機械8の質量をM、防振用弾性体9のばね定数をS、防振用弾性体9の減衰定数をG、機械内部の起振力をF、能動振動減衰電磁加振機7から機械8に伝達される力を $F_T$ 、機械8の変位をzとすると、機

械・防振支持系の運動方程式は、

【0014】

【数1】

$$M \frac{d^2 z}{dt^2} + G \frac{dz}{dt} + Sz = F + F_T$$

【0015】となる。再び第1図において、支持部4は機械に取り付けられているため変位はzである。永久磁石1と支持部4の相対変位をy、永久磁石1の変位をx、永久磁石1の質量をm、支持用弾性体の減衰定数をc、支持用弾性体のばね定数をkとすると、能動振動減衰電磁加振機7の運動方程式は、

【0016】

【数2】

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = f$$

【0017】ここで、fは電磁コイル3に電気を流すことによって生じる電磁コイルの電磁力である。能動振動減衰用電磁加振機7から機械8に伝達される力 $F_T$ は、

【0018】

【数3】

$$F_T = -f + c \frac{dy}{dt} + ky$$

【0019】式(3)の $F_T$ が、

【0020】

【数4】

$$F_T = -b \frac{dz}{dt}$$

【0021】であるとき、これを式(1)に代入すると、

【0022】

【数5】

$$M \frac{d^2 z}{dt^2} + (G + b) \frac{dz}{dt} + Sz = F$$

【0023】となる。これは、機械の運動方程式の減衰定数が防振用弾性体8の減衰定数Gに新たに能動減衰係数bが加わり、共振時の振幅を低減できることを示している。式(4)の制御を行うためには、これが式(3)と等しいため、電磁コイル3の電磁力は

【0024】

【数6】

5

$$f = b \frac{dz}{dt} + c \frac{dy}{dt} + ky = b \frac{dz}{dt} + F_s$$

【 0 0 2 5 】 でなければならない。ここで、 $F_s$  は支持用弾性体 2 を通して支持部 4 に伝わる伝達力で、式 ( 7 ) で現され、伝達力の検出手段 5 により検出し、制御に利用される。

【 0 0 2 6 】

【 数 7 】

$$F_s = c \frac{dy}{dt} + ky$$

$$M \frac{d^2 z}{dt^2} + (G + b + c) \frac{dz}{dt} + (S + k)z = F + c \frac{dx}{dt} + kx$$

【 0 0 2 9 】 となるため、機械・防振支持系の固有振動数を変化させ、設計の防振支持効果が得られない。第 3 図は本発明の防振効果を表す。横軸は周波数、縦軸は機械の振動振幅であり、A は式 ( 1 ) の能動防振をしていない場合、B は式 ( 6 ) の本発明の制御法を用いた場合、C は従来手法の式 ( 8 ) の場合である。D は機関の回転成分など防振したい基本の周波数を表している。式 ( 8 ) による従来の方法では、ある程度の減衰効果は得られても固有振動数が変化して、本来振動を大きく低減したい周波数に機械・防振支持系の固有振動数が移り、この周波数で振動が増大する欠点がある。これに比べて、本発明の方法は初期設計の固有振動数を変化させることなく、共振振幅を大きく減衰させることができる。第 4 図は能動振動減衰制御方法のブロック線図である。

【 0 0 3 0 】 第 5 図は支持部の速度の検出手段にかわり、支持部の加速度を加速度センサにより検出し、これを積分して速度に変換する速度検出方法における加速度センサ 1 4 の取り付け状況を示す。第 6 図は加速度センサ 1 4 の信号を積分器 1 5 に入力し、これを積分して速度信号変換する場合の制御ブロック線図である。

【 0 0 3 1 】 第 7 図は支持用弾性体を通して伝達される伝達力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対変位を変位センサにより検出し、これに支持部のばね定数  $k$  を掛けて伝達力に変換する伝達力検出方法における変位センサ 1 6 の取り付け状況図である。変位センサ 1 6 はその一端を永久磁石 1 に他端を支持台 4 に取り付け、これらの間の相対変位を検出する。

【 0 0 3 2 】 第 8 図は伝達力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対変位を変位センサにより検出する場

6

【 0 0 2 7 】 式 ( 6 ) における  $dz / dt$  は支持部の速度の検出手段 6 によって検出される。式 ( 6 ) の制御は、検出した支持部の速度に能動減衰係数  $b$  を掛け、これと検出した支持用弾性体を伝わる伝達力  $F_s$  を加えた後、増幅した電圧を電磁加振機の電磁コイル 3 に入力することにより実現される。従来方式では、支持用弾性体を伝わる伝達力  $F_s$  を検出しない。仮に、式 ( 6 ) の  $F_s = 0$  で制御した場合には、機械・防振支持系の運動方程式は、

10 【 0 0 2 8 】

【 数 8 】

この場合、支持用弾性体 2 の減衰係数  $c$  より伝わる力は、支持用弾性体 2 のばね定数  $k$  により伝わる力に比べて小さく無視できると仮定する。無視できない場合は変位を微分し、これに支持用弾性体 2 の減衰係数  $c$  を掛けたものを加える演算を追加する。第 1 図のように、伝達力の検出手段 5 が力センサの場合は、弾性体の下部全てに複数個または、弾性体が円周状である場合にも 3 個以上の複数個を円周上に取り付け、これらの和を伝達力とする計算が必要である。さらに、弾性体 2 と支持部 4 を力センサで結合することになり、複雑な取り付け手段が必要である。

【 0 0 3 3 】 第 9 図は支持用弾性体を通して伝達される伝達力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対速度を速度センサにより検出し、これを積分し、支持部のばね定数を掛けて伝達力に変換する伝達力検出方法における速度センサ 1 8 の取り付け状況図である。速度センサ 1 8 はその一端を永久磁石 1 に他端を支持台 4 に取り付け、これらの間の相対速度を検出する。第 1 0 図は伝達力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対速度を速度センサにより検出する場合の制御ブロック線図である。速度センサ 1 8 によって検出された信号は積分器 1 5 で積分して変位に変換し、その後、係数器 1 7 で支持用弾性体 2 のばね定数  $k$  を掛けて、支持用弾性体 2 を伝わる力に変換する。この場合、支持用弾性体 2 の減衰係数  $c$  より伝わる力は、支持用弾性体 2 のばね定数  $k$  により伝わる力に比べて小さく無視できると仮定する。無視できない場合は速度センサ 1 8 によって検出された速度に支持用弾性体 2 の減衰係数  $c$  を掛けたものを、ばね定数  $k$  による伝達力に加える演算を追加する。

【 0 0 3 4 】 第 1 1 図は支持用弾性体を通して伝達される伝達力の検出手段にかわり、支持部の加速度と永久磁

石部の加速度を加速度センサにより検出し、これを2回積分し、これらの差に支持部のばね定数を掛けて伝達力に変換する伝達力検出方法における加速度センサの取り付け状況を示す。第11図の場合、支持部の速度検出を第6図の加速度センサ14の信号を積分して速度に変換する方法を採用し、加速度センサ14の信号を伝達力検出用の支持部の加速度センサとして併用している。永久磁石1の加速度を検出する加速度センサ19は永久磁石1に取り付ける。第12図は伝達力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対加速度をそれぞれに取り付けた加速度センサにより検出する場合の制御ブロック線図である。加速度センサ19によって検出した信号と加速度センサ14によって検出した信号の差を引き算器20によって計算する。これを積分器15で速度に、さらにもう一台の積分器15で変位に変換し、その後、係数器17で支持用弾性体2のばね定数 $k$ を掛けて、支持用弾性体2を伝わる力に変換する。相対変位とするための差を取る計算は積分の後でもよい。この場合、支持用弾性体2の減衰係数 $c$ より伝わる力は、支持用弾性体2のばね定数 $k$ により伝わる力に比べて小さく無視できると仮定する。無視できない場合は第1回目の積分後の信号である相対速度に支持用弾性体2の減衰係数 $c$ を掛けたものを、ばね定数 $k$ による伝達力に加える演算を追加する。

【0035】第13図は従来技術による能動振動減衰制御方法のブロック線図である。係数器11によって能動減衰係数 $b$ を増幅器13で増幅して電磁コイル3に入力する。制御回路は簡単であるが、上述のように精緻な制御を行うことができないため、固有振動数を変化させ、本来振動を低減したい周波数で振動が増大する欠点がある。

【0036】

【発明の効果】本発明は、以上説明したように構成されているので、以下に記載されるような効果を奏する。

【0037】本発明の能動振動減衰電磁加振機によれば、電磁加振機の慣性質量を支える弾性体より伝わる伝達力と支持部の速度の検出手段を取り付けているので、直接速度フィードバック制御が実現でき、防振ゴム等による弾性支持法の共振による振動伝搬の増大を押さえることができる。

【0038】本発明の能動振動減衰制御方法によれば、前記能動振動減衰電磁加振機において、検出した支持部の速度に能動減衰係数を掛け、これと検出した支持用弾性体を伝わる伝達力を加えた後、増幅した電圧を前記電磁加振機の電磁コイルに入力するので、直接速度フィードバック制御が実現でき、機械・防振支持系の固有振動数を変化させることなく、防振ゴム等による弾性支持法の共振による振動伝搬の増大を押さえることができる。

【0039】本発明の速度検出法によれば、前記能動振動減衰電磁加振機において、支持部の速度の検出手段に

かわり、支持部の加速度を加速度センサにより検出し、これを積分して速度に変換するので、大型・高価である速度センサに代わり小型・低価格の加速度センサが使用でき、かつ、取り付けが簡便化される。

【0040】本発明の第1の伝達力検出方法によれば、前記能動振動減衰電磁加振機において、支持用弾性体を通して伝達される伝達力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対変位を変位センサにより検出し、これに支持部のばね定数を掛けて伝達力に変換するので、支持用弾性体の下部に複数の力センサを取り付ける必要がなく、構造が簡略化される。

【0041】本発明の第2の伝達力検出方法は、前記能動振動減衰電磁加振機において支持用弾性体を通して伝達される伝達力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の相対変位を速度センサにより検出し、これを積分し、支持部のばね定数を掛けて伝達力に変換するので、支持用弾性体の下部に複数の力センサを取り付ける必要がなく、構造が簡略化される。

【0042】本発明の第3の伝達力検出方法によれば、前記能動振動減衰電磁加振機において、支持用弾性体を通して伝達される伝達力の検出手段にかわり、支持部の加速度と永久磁石の加速度を加速度センサにより検出し、これを2回積分し、これらの差に支持部のばね定数を掛けて伝達力に変換するので、支持用弾性体の下部に複数の力センサを取り付ける必要がなく、構造が簡略化され、センサの取り付けも容易になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の能動振動減衰電磁加振機の断面図である。

【図2】本発明の能動振動減衰制御方法を説明する図である。

【図3】本発明の防振効果を説明する図である。

【図4】本発明の能動振動減衰制御方法の制御ブロック線図である。

【図5】支持部の速度の検出手段にかわり、加速度を速度に変換する場合の速度センサの取り付け状況図である。

【図6】加速度を速度信号変換する場合の制御のブロック線図である。

【図7】伝達力の検出手段にかわり、相対変位から伝達力を求める場合の変位センサ取り付け状況図である。

【図8】相対変位から伝達力を求める場合の制御ブロック線図である。

【図9】伝達力の検出手段にかわり、相対速度から伝達力を求める場合の速度センサの取り付け状況図である。

【図10】相対速度から伝達力を求める場合の制御ブロック線図である。

【図11】伝達力の検出手段にかわり、支持部と永久磁石の加速度から伝達力を求める場合の加速度センサの取り付け状況図である。

【図12】 加速度から伝達力を求める場合の制御ブロック線図である。

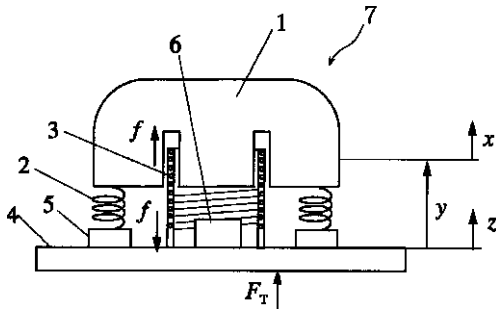
【図13】 従来技術による能動振動減衰制御方法のブロック線図である。

【符号の説明】

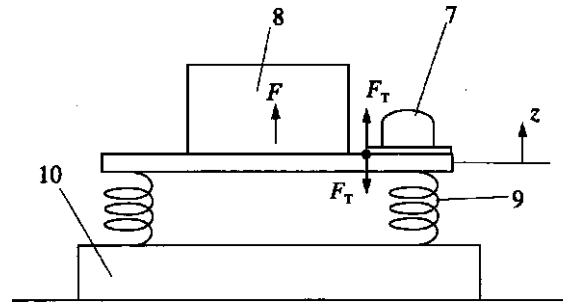
- 1 ..... 永久磁石
- 2 ..... 支持用弾性体
- 3 ..... 電磁コイル
- 4 ..... 支持部
- 5 ..... 伝達力の検出手段
- 6 ..... 速度の検出手段
- 7 ..... 能動振動減衰電磁加振機
- 8 ..... 機械
- 9 ..... 防振用弾性体
- 10 ..... 構造部材

- 11 ..... 係数器
- 12 ..... 加算器
- 13 ..... 増幅器
- 14 ..... 加速度センサ
- 15 ..... 積分器
- 16 ..... 変位センサ
- 17 ..... 係数器
- 18 ..... 速度センサ
- 19 ..... 加速度センサ
- 20 ..... 引き算器
- A ..... 能動防振をしていない場合
- B ..... 本発明の制御法の場合
- C ..... 従来手法の場合
- D ..... 機関の基本周波数

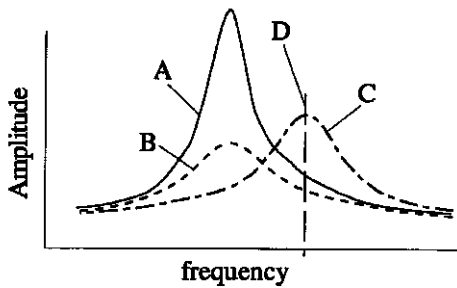
【図1】



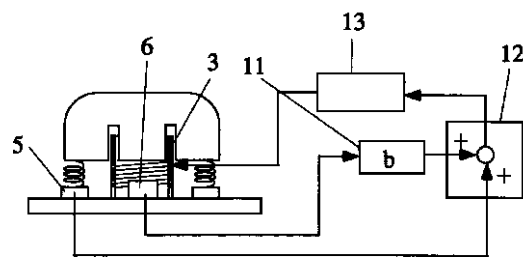
【図2】



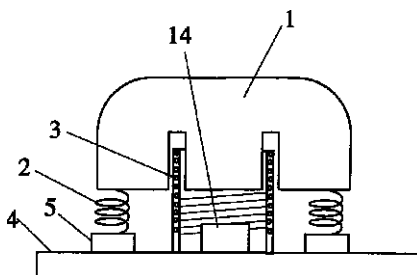
【図3】



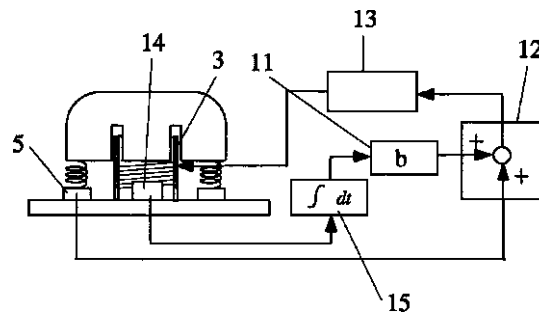
【図4】



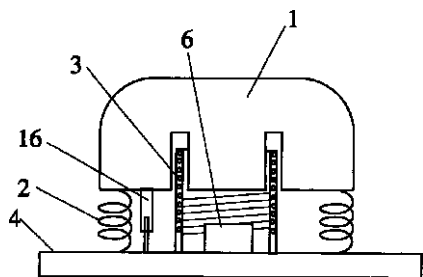
【図5】



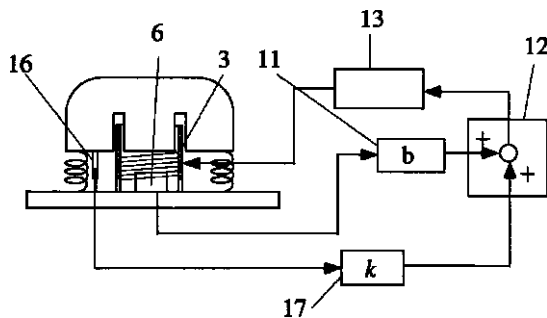
【図6】



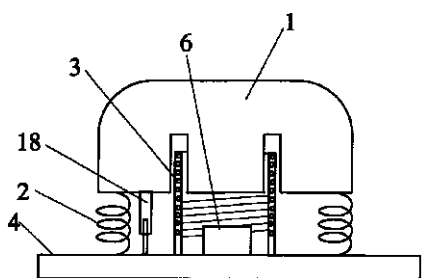
【図 7】



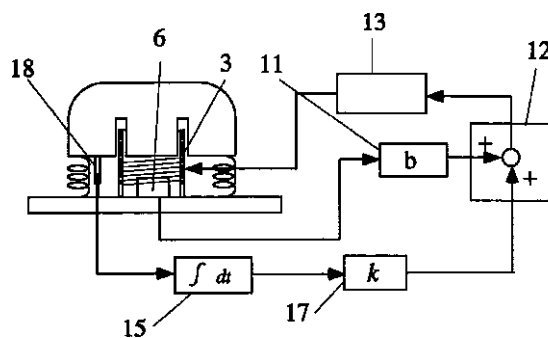
【図 8】



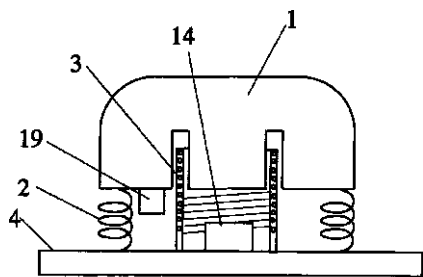
【図 9】



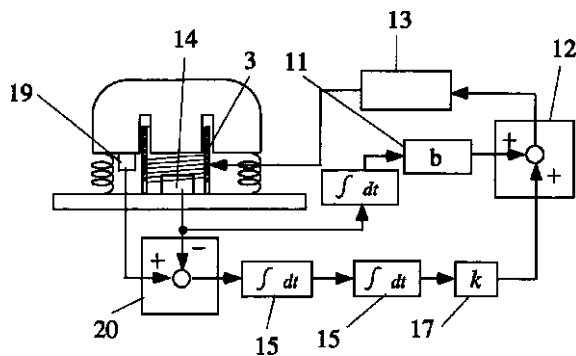
【図 10】



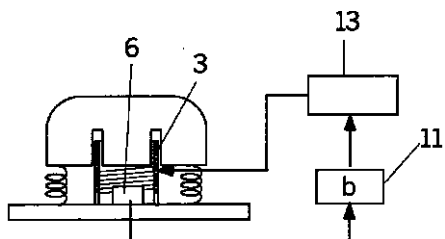
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト(参考)
F 1 6 F 15/03		F 1 6 F 15/03	G
H 0 2 K 33/06		H 0 2 K 33/06	
33/16		33/16	A

F タ-ム(参考) 3J048 AA02 AB09 AB11 AC08 BA01  
BC01 BE09 BF01 DA01 EA07  
EA13 EA38  
5D107 AA16 BB10 CC09 CC10 CD05  
FF10  
5H633 BB08 GG02 GG09 GG17 GG24  
HH03 JA02