

336 オンオフ制御系の自励振動を利用した質量測定

Mass Measurement Using the Self-Excited Vibration of an On-Off Control System

○正 水野 毅 (埼玉大学), 八百板 純子 (理想科学工業)

Takeshi MIZUNO, Saitama University, Shimo-Okubo 255, Saitama
Junko YAOITA, Riso Kagaku Corporation

Keywords: Mass measurement, Space engineering, Self-excited vibration, Nonlinear control

1. 緒言

宇宙開発の進展に伴い、宇宙において日常的に実験が行われるようになると、無重力（正確には、微小重力）環境でも、質量を高精度で測定する装置が必要となる。

著者らは、無重力環境下における質量測定法の一つとして、ヒステリシス特性を持つリレー制御系の自励振動の周期から質量を測定する方式を提案し、実験によってその有効性を検証している⁽¹⁾。しかしながら、従来の装置では、渦電流形センサで変位を検出し、その信号を微分して制御量である速度を検出していたが、渦電流形センサの線形性が良くないため、質量測定の精度があまり良くなかった。本報では、速度検出にボイスコイルモータを用いることにより、速度検出の精度を上げ、質量測定精度の向上を図る。

2. 測定原理

提案する質量測定方法の原理を図1を用いて説明する。図1(a)に示すように、測定対象物（質量： m ）をアクチュエータに取り付け、往復運動をさせる。測定対象物に作用するアクチュエータの駆動力 $F(t)$ は、測定対象物の速度 v に応じて、正または負の一定値をとるように切換えられる。切換えの時刻は、ヒステリシス特性を持つリレー要素によって定められる。すなわち、全体の構成は、図1(b)に示すようなフィードバック制御系となる。

この系の具体的な動作を図2を用いて説明する。測定対象物の速度 v が増加して v_0 に達すると $F(t) = -F_0$ 、減少して $-v_0$ に達すると $F(t) = F_0$ に切換えられる。自励振動の周期 T とすると、次式の関係が成り立つ⁽¹⁾。

$$m = \frac{F_0}{4v_0} T \quad (1)$$

したがって、自励振動の周期 T を測定すれば、測定対象物の質量 m は、式(1)から求められる。

3. 速度検出の原理

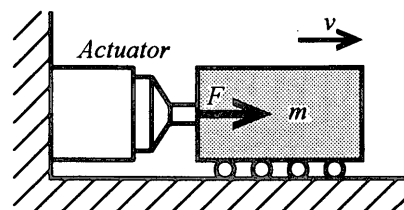
本研究では、速度センサとしてボイスコイルモータ（以下 VCM と略記する）を用いる。図3は VCM の概念図である。可動部が速度 v で動くと、コイルには、次式で表されるような逆起電力 e_b が生じる。

$$e_b = K_b v \quad (2)$$

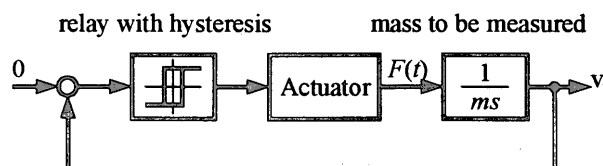
ここで K_b は推力係数である。式(2)から、逆起電力 e_b を測定すれば、速度 v が求められることがわかる。

4. 実験装置

実験装置の概略を図4に示す。2つの VCM の出力軸を

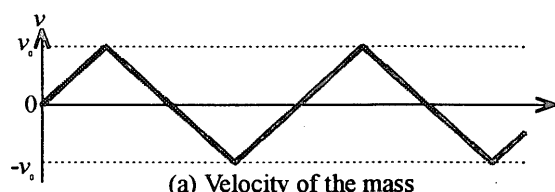


(a) Physical model

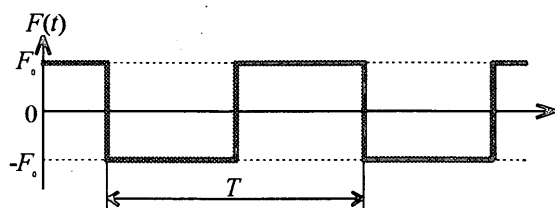


(b) Velocity control system containing a relay with hysteresis

Fig.1 Measurement system



(a) Velocity of the mass



(b) Force acting on the mass

Fig.2 Operation of the measurement system

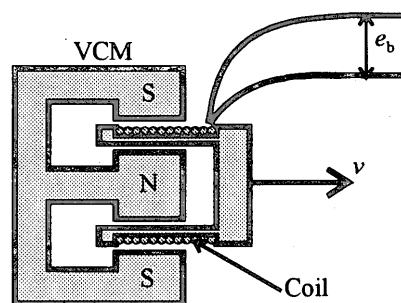


Fig.3 Principle of velocity sensing

カップリングで直結する。図の右側の VCM はアクチュエータとして測定対象物に駆動力 $F(t)$ を与えるものであり、左側の VCM は速度センサとして速度を検出するものである。板バネは、VCM 可動部が可動範囲の中央（平衡位置）にあるように拘束するためのものである。

VCM は住友特殊金属株式会社製 LV05-15 で、ストロークは 15[mm]、定格推力は 9.8[N]（いずれもカタログ値）である。VCM の駆動には電流出力形アンプを用いているので、駆動力は、アンプへの指令信号にほとんど遅れることなく追従する。

速度センサ用 VCM の逆起電力は、DSP を核とするデジタルコントローラに入力される。コントローラでは、それから速度を求め、予め設定したヒステリシス特性が実現されるように、アンプへの指令信号（ $\pm I_0$ ）を出力する。アクチュエータ側 VCM は、測定原理で説明したように、 $\pm F_0$ ($F_0 = K_b I_0$) の力を測定対象物に作用させる。

5. 実験結果

質量 m と自励振動の周期 T との関係を調べるために、10 個の質量 (194.5~234.5[g]) に対し、自励振動の周期を測定した。周期の測定には FFT を使い、32 秒間の平均周波数から周期を逆算した。測定結果の一例を図 5 に示す。図 6 からわかるように、駆動力 F_0 が小さく、切換え速度 v_0 が大きい場合に質量と周期との直線性が良くなる。そこで、 $F_0 = 2.73$ [N]、 $v_0 = 120$ [mm/s] という場合について、最小 2 乗法を適用し、周期と質量との関係を求めると、次式が得られた。

$$M = 12.787 \times T[\text{ms}] - 107.34 \quad [\text{g}] \quad (3)$$

つぎに、新たに、196.5~236.5[g] のサンプルに対して、周期を測定し、その周期を式(3)に代入して、質量の推定を行った。その結果を図 6 に示す。ここで、真値 (Actual mass) としては、電気天秤 (最小分解能 1[mg]) で測定した値を用いている。相対誤差の最大値は 0.61[%] である。従来の装置を用いて実施した質量測定では、相対誤差の最大値が 1.46[%] であった⁽¹⁾ ことから、速度検出に VCM を用いることによって測定精度が向上できたことが確認された。

6. 結 言

オンオフ制御系の自励振動を利用した質量測定装置を試作し、速度検出に VCM を用いることで質量測定の精度が向上したことを確認した。

現在、一つの VCM で、質量の駆動と速度の検出を同時に行うことを試みている⁽²⁾。

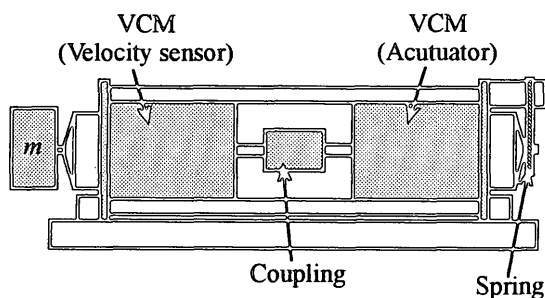


Fig.4 Experimental instrument

参考文献

- (1) 水野, 高橋: リレー制御系の自励振動を利用した質量測定, 日本機械学会2000年度年次大会講演論文集 (II), pp.515-516 (2000).
- (2) 八百板: リレー制御系の自励振動を利用した質量測定, 平成12年度埼玉大学工学部卒業論文(2001).

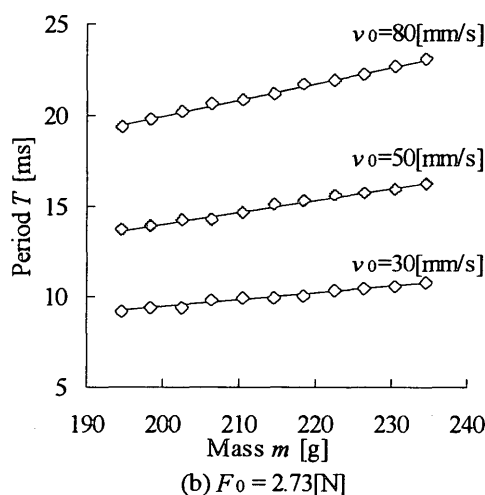
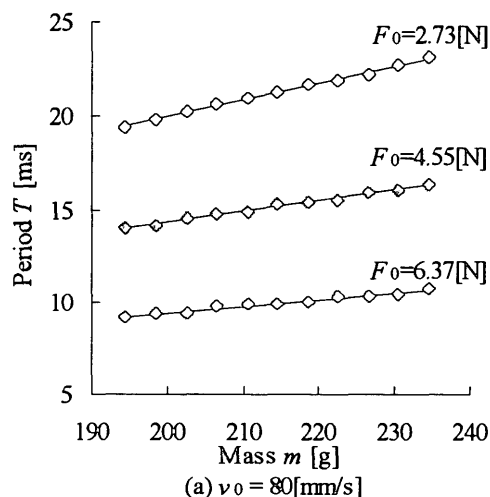


Fig.5 Relations between mass and period

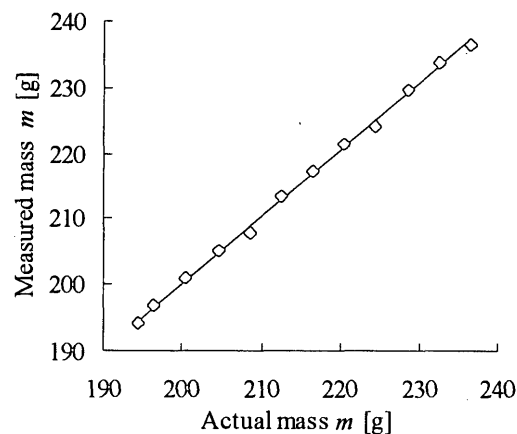


Fig.6 Measurement results