703 リレー制御系の自励振動を利用した質量測定装置の開発

Mass Measurement System Using the Self-Excited Vibration of a Relay 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

A device for mass measurement under zero-gravity conditions is developed. It uses the self-excited vibration of a feedback system containing on-off relay with a hysteresis. The mass of measurement object is determined from the frequency or time interval measurement of the self-excited vibration.

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

1. 緒 言

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⁾。これまでに開発した装置では、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。しかしながら、使用した渦電流形センサのリニアリティがそれほど良くないため、あまり高い測定精度が得られなかった。本報では、速度検出にボイスコイルモータを用いて、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⁾。

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

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. 実験装置

実験装置の概略を図3に示す。2つのVCMの出力軸を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

Fig.1 Measurement system

Fig.2 Operation of the measurement system

Fig.3 Experimental instrument

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、 $\pm F_0$ の力を測定対象物に作用させる。ただし、

$$F_0 = K_c I_0 \quad (K_c : \text{推力係数}) \quad (2)$$

である。

4. 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 を用い、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 4 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、 $F_0 = 2.73[\text{N}]$ 、 $v_0 = 120[\text{mm/s}]$ 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 5 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。

5. センサレス化について

図 3 に示す装置では、質量の駆動と速度の検出に別々の VCM を用いているが、駆動用 VCM のコイルに誘導される逆起電力を検出すれば、一つの VCM で駆動と検出を同時に行うことが可能となる。このようなセンサレス化は、宇宙用機器に強く要求される小型化と軽量化に極めて有効である。以下では、その原理を説明する。

駆動用 VCM の回路方程式は、次式のようになる。

$$e = L \frac{di}{dt} + Ri + K_b v \quad (4)$$

ここで、 e : VCM コイルの端子電圧、 i : コイル電流、 L : コイルのインダクタンス、 R : コイル抵抗、 K_b : 逆起電力係数、 v : 可動部の速度である。式(4)から、コイルの端子電圧・電流を検出すれば、次式から、速度を求められることがわかる。

$$v = \frac{1}{K_b} (e - L \frac{di}{dt} - Ri) \quad (5)$$

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、センサレス化の実現を試みている⁽²⁾。

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.4 Relations between mass and period

Fig.5 Measurement results