一軸吸引形磁気浮上装置の始動と位置制御

准 員 岡 田 健 司 (茨城大)

正 員 大 口 國 臣 (茨城大)

Starting and Positioning by Single-Axis Magnetic Suspension Device

Kenji Okada, Associate, Kuniomi Oguchi, Member (Ibaraki University)

キーワード：磁気浮上，始動法，可変構造制御

一軸吸引形磁気浮上装置を非接触形の微小変位アクチュエータへ応用することが提案され，適当な制御アルゴリズムを適用することにより 6 mm 程度の大振幅変位幅が実現されている⁽¹⁾。しかし，従来の報告は安定浮上範囲内における変位の制御に限られていた。実際に非接触形アクチュエータを実現する場合には，始動，すなわち最初に安定浮上範囲までに浮上物体を移動させる方法が問題になるが，これまで検討されていない。今回，可変構造制御を適用することにより，安定浮上範囲外に置かれた物体を安定浮上範囲内まで吸引して位置制御が行えることを確認したので，その動作特性を報告する。

実験には一軸制御の吸引形磁気浮上装置⁽²⁾⁽³⁾を使用し，浮上物体として鉄球 (19 mmφ, 28 g) を用いた。コントローラに 16 ビットパーソナルコンピュータ (日本電気製 PC-9801 VX, 数値演算プロセッサ搭載) を用いて制御のデジタル化を行い，サンプリング周期は 500 μs に設定した。コイルの電流制御に電流制御形直流チョップを用い⁽⁴⁾，チョップ周波数は約 12 kHz と十分に高くとった。位置センサとしてフォトセンサを使用し，その直線検出範囲は平衡点 (実験装置ではギャップの長さ 5 mm) の近傍 ±1 mm 程度で⁽²⁾，その範囲を超えると位置センサ出力は飽和してギャップの長さとは無関係にほぼ一定値を出力する。

鉄球を位置センサの直線検出範囲を超えた位置 (平衡点から約 4.5 mm 下方) に設置した状態で吸引を開始する。最初は位置センサ出力は飽和域にあるため，制御を開始してからしばらくの間センサは鉄球が平衡点下方約 1 mm の位置にあるものとして信号を出力する。鉄球の速度は位置の差分で求めているので，鉄球がセンサの直線検出範囲に入るまでは速度検出器出力

は零である。

実験は PD, PID, PI-D および I-PD 制御について行った。PD 以外の三通りの制御では様々なゲインを設定して実験を行ったが，制御開始直後のオーバーシュートが大きすぎて磁極面に鉄球が衝突し，満足な結果が得られなかった。これは積分器が入ると，浮上開始後平衡点に到達するまでの操作量が過大になるためである。これに対し，PD 制御では図 2 (a) (ゲインは固有角周波数 $\omega_n=88$ ，減衰係数 $\zeta=1$ になるように設定) に示すように鉄球を吸引して浮上させることができた。この場合浮上には成功したが，浮上後安定になるのにかなり時間を要し，また定常位置偏差が生じる。そこで最初は PD 制御で吸引を開始し，鉄球が平衡点近傍に到達した後に図 1 に示すように，制御系を残りの三種の制御のうち最良のステップ応答が得られた I-PD 制御 (この場合には $\omega_n=250$ ， $\zeta=1$ になるようにゲインを設定) に切換えることで整定時間を短縮する。鉄球がどの状態のときに制御系を切換えるかが問題となるが，今回の実験では鉄球が最初に平衡点位置に到達したときに切換えるようにした。図 2 (b) の実験結果から制御系を切換えることにより，PD 制御系単独の場合よりも浮上後の特性が良好であることが

図 1 可変構造制御磁気浮上系の構成
Fig. 1. Variable structure control system.

図 2 始動過程

Fig. 2. Starting process of a steel ball.

確認できる。また、浮上後はI-PD制御に切り替わり積分器が入るのでより正確な位置制御が可能となる。

次に、鉄球を平衡点近傍で正弦波状に位置制御させる実験を行った。コンピュータ内で目標値を設定しているため値が多段状になるが、各段の時間幅が周期に比べて微小であれば正弦波とみなすことができる。実験装置では各段の幅を等しく5msに設定した。 i 番目の時点の目標値 x_{ri} は、

$$x_{ri} = x_m \sin(2i\pi/r_p)$$

ただし、 x_m : 平衡点からの最大変位で下方

を正、 r_p : 一周あたりの刻み数

で与えられる。図3に周期をそれぞれ2s, 10sとしたときのI-PD制御($\omega_n=250$, $\zeta=1$ になるようにゲインを設定)における実験結果を示す。 x_m は0.5mmで、 r_p は(a)図では400, (b)図では2,000である。振動周期が2sのときは、遅れの影響が現れているが、周期がある程度大きくなると、目標値と実際値が図上では重なり合い、目標値によく追従することが確認される。

今回の実験により、始動から位置決めに至る過程において、可変構造制御を適用したときの効果が確認できた。最適な切換え点の解明と、本方式を発展させた非接触形アクチュエータ実現の検討が今後の課題である。(平成3年2月20日受付)

図 3 正弦波応答

Fig. 3. Sinusoidal responses.

文 献

- (1) 松村・日月: 「大振幅動作に適した磁気吸引つり下げ系」, 電学論B, 99, 25 (昭54-1)
- (2) K. Oguchi & Y. Tomigashi: "Digital Control For a Magnetic Suspension System as an Undergraduate Project", *Int. J. Elect. Eng. Educ.*, 27, No. 3 (1990-7)
- (3) 大口・富樫: 「直流チョップパを用いたディジタル制御一軸吸引形磁気浮上装置の安定性」, 電学論D, 110, 377 (平2-4)
- (4) 大口・富樫: 「一軸吸引形磁気浮上装置のスライディングモード制御」, 同上, 110, 1184 (平2-11)

岡田 健司 (准員)

平成2年3月茨城大学工学部電気工学科卒業。現在、同大学院工学研究科電気工学専攻修士課程在学中。磁気浮上装置の制御の研究に従事。

大口 國臣 (正員)

昭和38年3月九州大学工学部電気工学科卒業。現在、茨城大学工学部助教授。電力変換回路、電動機、磁気浮上装置の制御の研究に従事。