

Vibration Suppression Control of Multi-degrees of Freedom System Using Adjusting Common Phase Filter

正 浜松 弘 (北九州高専) 学 ○立花 俊幸 (北九州高専)
 中山 紘伸 (北九州高専) 正 二見 茂 ((株) システムの機能研究所)

Hiroshi HAMAMATSU, National Institute of Technology, Kitakyusyu College, 5-20-1, Shii, Kokuraminami-ku, Kitakyusyu
 Toshiyuki TACHIBANA, National Institute of Technology, Kitakyusyu College
 Hironobu NAKAYAMA, National Institute of Technology, Kitakyusyu College
 Shigeru FUTAMI, Laboratory of System's Function Corp.

Key Words: Flexible structure, Feedback control, Vibration suppression, Filter

1. 緒 言

現在、多くの倉庫で荷物運搬のためにスタッカークレーンが用いられている。スタッカークレーンは設置に必要な床面積が小さく、倉庫などの環境に親和性が高いという利点がある。スタッカークレーンの高速化・高精度化は生産性向上のために重要であるが、その際にマスト部に生じる残留振動が問題となる。

本研究では、スタッカークレーンを模した柔軟構造物を制御対象とし、クレーンの駆動部に加速度フィードバック制御を付加することで残留振動の抑制を目指す。柔軟構造物は位相の異なる振動モードを複数持っており、単純なフィードバック制御では振動抑制が難しい。本研究では、振動位相を同相化するフィルタを作成し、これを用いてフィードバック制御し、振動抑制を行う。

2. 制御対象

Fig.1 に本研究で用いる柔軟構造物を示す。二枚の片持ち梁の先に質量が固定されている。サーボモータによってボールねじを回転させ、構造物を左右に移動させることができる。

3. 振動特性の測定

FFT アナライザを用いて、柔軟構造物の周波数応答を測定した。測定結果の周波数応答を Fig.2 に示す。サーボモータにランダム信号を入力し、梁の先端に設置した加速度センサの信号を出力とした。

柔軟構造物は3つの振動モードを持ち、固有振動数は一次が3Hz、二次が19.2Hz、三次が51.8Hzであることがわかる。また、一次モードは入力信号と逆相に近く、二次モードと三次モードは同相に近い。各モードにおける入力に対する位相遅れを Fig.3 に示す。

4. モデル化

制御系の解析のために、測定した周波数応答をもとに柔軟構造物の伝達関数を推定する。伝達関数 $G_s(s)$ を

$$G_s(s) = \frac{b_0 + b_1s + \dots + b_6s^6}{a_0 + a_1s + \dots + a_6s^6} \quad (1)$$

とおき、非線形最小二乗法を用いて測定した周波数応答から伝達関数を推定した。推定した伝達関数の周波数応答を実測の周波数応答と重ねて Fig.4 に示す。

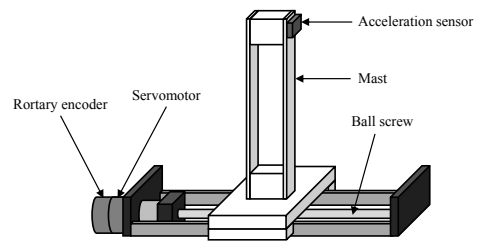


Fig.1 Flexible structure

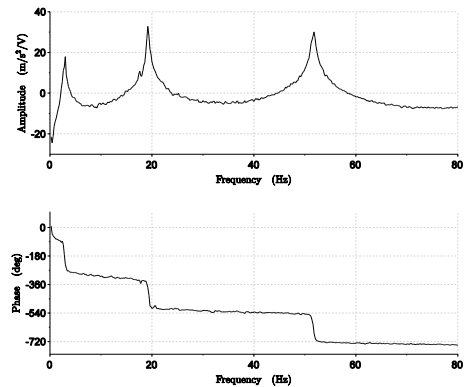


Fig.2 Frequency response

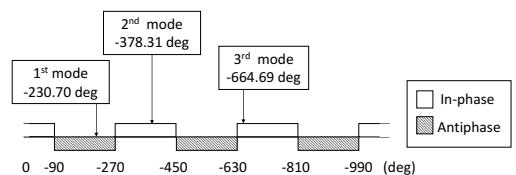


Fig.3 Phase lag of flexible structure

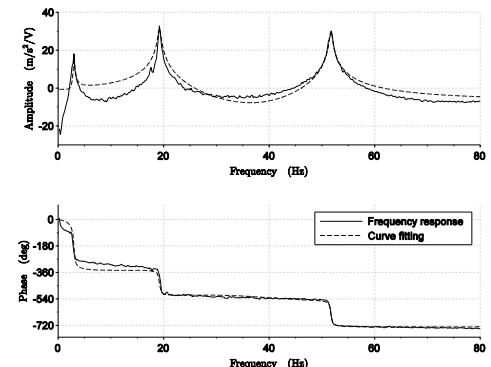


Fig.4 Frequency response of G_s

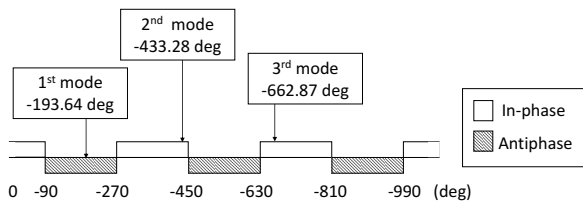


Fig.5 Phase lag of G_s

Fig.5 に、推定したモデルの各モードにおける位相遅れを示す。推定した伝達関数は、測定値と特性が一致している。

5. 同相化フィルタの設計¹⁾

フィルタ回路 G_f を用いて、伝達関数 $G_s G_f$ の各モードにおける位相遅れを調整し、すべてのモードの位相遅れが入力と逆相になるように設計した。フィルタの回路図を Fig.6 に示す。フィルタは可変抵抗の値を変更することで特性を調整できるように設計した。

$R_f = 5.00 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 3.84 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10.0 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 9.43 \text{ k}\Omega$ に設定した場合の伝達関数 $G_s G_f$ の各モードにおける位相遅れを Fig.7 に示す。1次モードと2次モードの両方が逆相に近くなっていることがわかる。

6. 制御系設計

柔軟構造物の伝達関数を G_s 、フィルタの伝達関数を G_f 、フィードバックゲインを K としてフィードバック系を構成する。フィードバック系のブロック線図を Fig.8 に示す。 K は比例制御ゲインである。

7. 振動抑制実験

Fig.8 の制御系を、柔軟構造物、サーボアンプ、フィルタ回路、コントローラを用いて実際に構成し、実験系を作成した。実験系の全体図を Fig.9 に示す。

柔軟構造物に対してインパルス入力を加え、制御系の性能を実験で比較した。 Fig.10 に制御を行わない場合、 Fig.11 にフィルタを用いたフィードバック制御を行った場合のインパルス応答を示す。この結果から、フィルタを用いたフィードバック制御を行った場合に、全ての振動モードを効果的に減衰できることがわかった。

8. 結 言

本研究では同相化フィルタを設計し、1次モードと2次モードをともに逆相に近くすることができた。これによって多自由度振動系の位相が異なるモードに対して通常のフィードバック制御よりも高い振動の抑制効果を得た。

参考文献

- 1) 浜松・立花・二見, 多自由度振動系の振動抑制制御のための振動位相同相化フィルタの設計, 日本機械学会九州支部第69期総会・講演会講演論文集, No.168-1, (2016.3), pp.61-62.

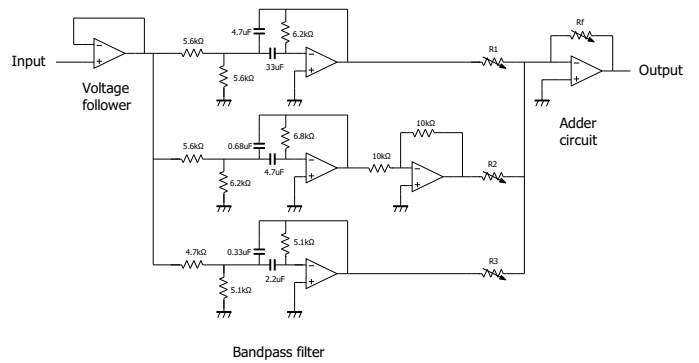


Fig.6 Filter circuit

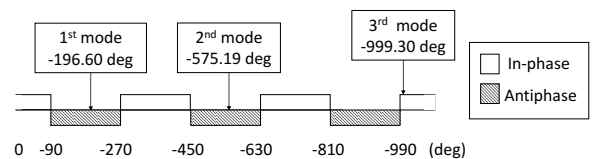


Fig.7 Phase lag of $G_s G_f$

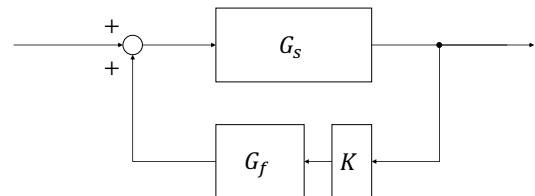


Fig.8 Feedback system

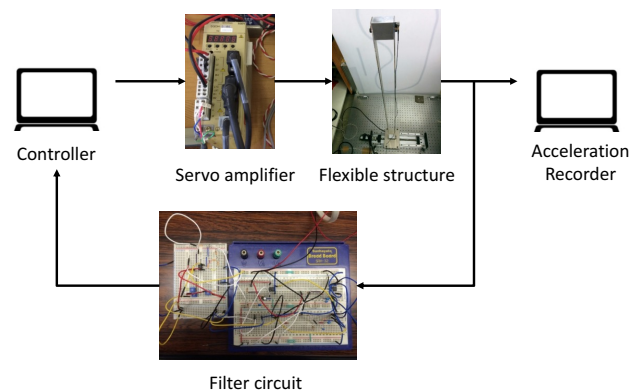


Fig.9 Experiment system

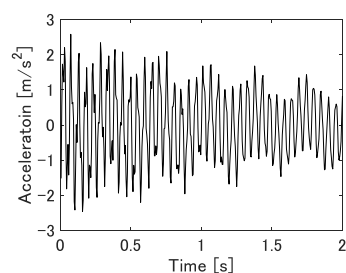


Fig.10 Impulse response

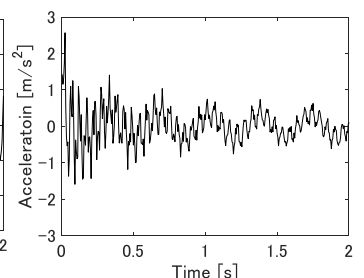


Fig.11 Impulse response with feedback control