

Model 730 Magnetic Levitation

磁気浮上制御実験装置

この磁気浮上実験装置は強磁性体永久磁石の閉ループ浮揚を多入力・多出力でドラマチックに実験できるシステムです。装置にはレーザーフィードバック、高磁束密度磁石が含まれており大変位を加えることができトラッキングやレギュレーションが目に見える形でシミュレーションできます。



このシステムは斥力、引力場の実験構造に素早くセットアップ可能です。第二磁石を加え上下アクチュエータを駆動することでMIMO制御ができます。

地場本来の非線形性は扇形制御の学習ができるようにリアルタイムアルゴリズムで変換し全てのシステムダイナミクスが説明できるようになっています。SISOオペレーションでのシステムレギュレーションを示すために第二駆動コイルで外乱の導入ができます。オプションのアクセサリでは誘導磁場浮揚 - 高速弾丸列車の原理のグラフィック表示ができるようになっています。

プラント同定 & ダイナミックモデル設計

非線形 安定 Plant 制御

非線形 不安定 Plant 制御

非線形コントローラ補償

二次 システム (不足制動, 過制動, 臨界制動, 過渡応答、周波数応答、時間 & 周波数ドメイン相関, 位相 & ゲインマージン)

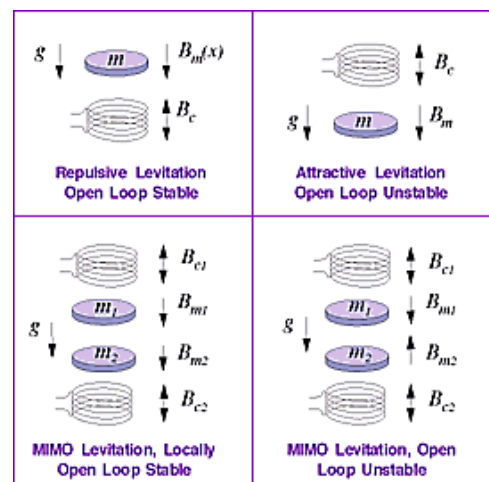
外乱減衰

Collocated SIMO コントローラ

Noncollocated SIMO 設計

MIMO 設計 非線形補償

SISO, SIMO, MIMO システム ダイナミック トラッキング 制御



この磁気浮上実験装置では容易に SISO、SIMO、MIMO 実験を開ループ安定又は不安定フォーム内で非線形や線形化されたプラント上で実演可能です。また SISO、MIMO 設定においてプログラム可能な外乱を加えることができます。

1. **プラント同定** 制御設計用プラントパラメータ、非線形磁気フィールド特性、コントロールゲインの同定

2. **非線形プラント制御** システムの線形化モデルは動作点周り小可動域での有効性の反面大可動域においては変則的な挙動をもたらす。

図 10 a を見ると高振幅ステップ応答は非対称であり、負方向では高利得（高減衰比、低定常偏差）正方向では低利得を示す。図から負方向運動における不安定性が理解できる。これらのテストは開ループ安定（反発浮上）不安定（吸引浮上）設定いづれでも実施可能です。

3. **非線形プラント補償** プラント同定実験での強非線形性は図 10b に示した応答は 10a 応答より制御が著しく良好です。応答は本質的に対称で、比較的小さい定常偏差となっています。上側と下側応答とも同様です。これは非線形補償アルゴリズムが非線形アクチュエータ（磁場、逆 4 乗）特性を、システムが線形系動作をするように変換しているからです。

4. **2 次システムの基本特性** 剛体 P I D 制御を通じて基本的な比例・微分・積分ゲイン、2 次システムの周波数位相特性とダンピングレシオの影響、2 次 PD 制御システムの安定性の特性と積分項付加の影響を効果的に実演します。

5. **外乱減衰** このテストでは第二アクチュエータコイルを使用しシステムに外乱を与えます。

6. **SIMO 設計（コロケート）** 本実験では、2 枚の反発する磁石を積み重ねた構成のプラントを考え下側コイル / 磁石アクチュエータだけを利用します。

本実験の方法は PD ゲインを対話的に変化させて物理システムに及ぼすその影響を観察しながら、コントローラを設計しようとするものです。

7. **SIMO 設計（非コロケート）**

高ゲイン並置ループを閉じることによって、 $y_1(s)$ でのセンサーとアクチュエータの非線形性やクーロン摩擦のような非理想的な影響に対するシステム感度が劇的に縮小するという利点を再現します。

8. **MIMO 設計** この実験では上下のアクチュエータ、2 枚の磁石を同時に使用します。多変数制御の実行を通してクロスカップリングが著しいシステムの SISO 制御に対する多変数制御の利点を再現します。図 1 1

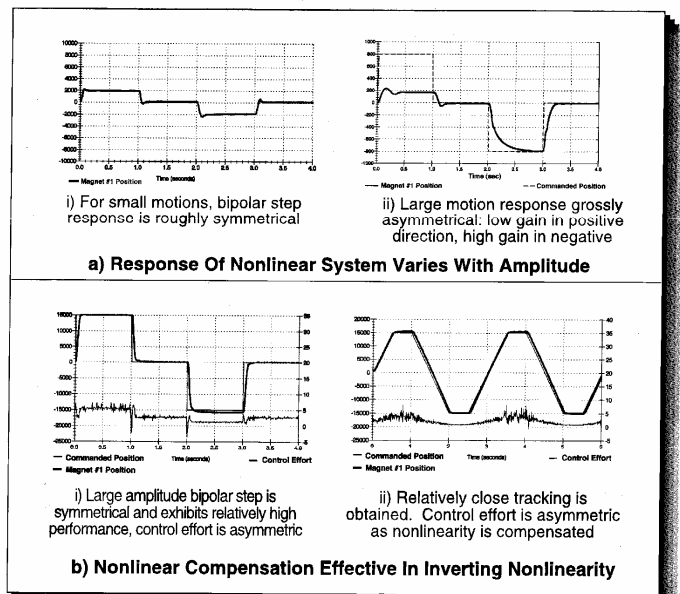


Figure 10. Tests Show Nonlinear Magnetic Field Characteristic and Effective Compensation

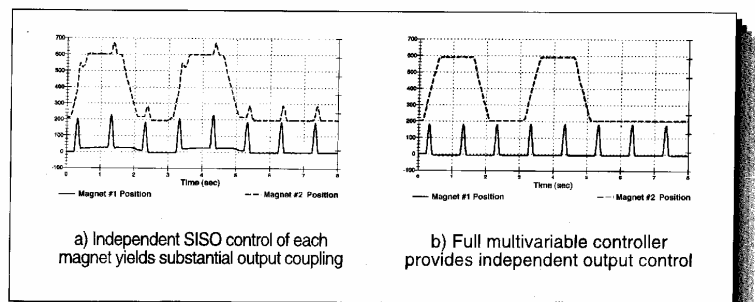
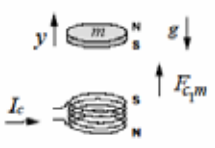
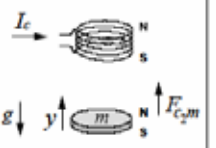
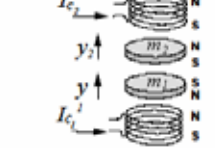
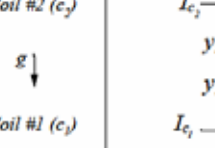


Figure 11. MIMO Tests Show High Performance Multivariable Control

9. さらに進んだ実験 実際上、線形系(例えば、オブザーバーベース、LQR/LTR、H、QFT)や非線形系(例えば、アダプティブ、ファジー論理、変数構造)を含めたどのような制御法にでも Model730 システムを用いることができます。フィードフォワード要素をさらに向上したトラッキング性能を学習するために付加することができます。ユーザー定義のトラジェクトリオプションを用いた最適トラジェクトリシンセシス(例えば、最小ピークパワー、最速整定)の研究にカスタマイズ入力を用いることができます。

Provides A Variety Of SISO & MIMO, Stable & Unstable Plant Configurations

 <p>Repulsive Levitation Open Loop Stable</p>	 <p>Attractive Levitation Open Loop Unstable</p>	 <p>MIMO Levitation, Locally Open Loop Stable</p>	 <p>MIMO Levitation, Open Loop Unstable</p>
<p>Equations of Motion</p> $m\ddot{y} + c\dot{y} = F_{c,m} - mg$ <p>(<i>c</i> is very small friction modeled as viscous)</p>	$m\ddot{y} + c\dot{y} = F_{c,m} - mg$	$m_1\ddot{y}_1 + c\dot{y}_1 = F_{c_1m_1} + F_{m_1m_2} + F_{c_2m_1} + m_1g$ $m_2\ddot{y}_2 + c\dot{y}_2 = F_{c_1m_2} + F_{m_1m_2} + F_{c_2m_2} + m_2g$	$m_1\ddot{y}_1 + c\dot{y}_1 = F_{c_1m_1} + F_{m_1m_2} + F_{c_2m_1} + m_1g$ $m_2\ddot{y}_2 + c\dot{y}_2 = F_{c_1m_2} + F_{m_1m_2} + F_{c_2m_2} + m_2g$
<p>Linearized Forms (about some coil current / gravity equilibrium)</p> $m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = k_F I_c'$	$m\ddot{y} + c\dot{y} - ky = k_F I_c'$	$m_1\ddot{y}_1 + c\dot{y}_1 + (k_1 + k_2 - k_3)y_1 - k_2 y_2 = k_{F1} I_{c1}' + k_{F2} I_{c2}'$ $m_2\ddot{y}_2 + c\dot{y}_2 + (k_2 - k_4 + k_5)y_2 - k_3 y_1 = k_{F1} I_{c1}' + k_{F2} I_{c2}'$ <p>Stable $\forall (k_2 + k_3) \leq k_1$ and $(k_2 + k_3) \leq k_4$</p>	$m_1\ddot{y}_1 + c\dot{y}_1 + (k_1 - k_2 - k_3)y_1 + k_2 y_2 = k_{F1} I_{c1}' + k_{F2} I_{c2}'$ $m_2\ddot{y}_2 + c\dot{y}_2 - (k_2 + k_4 - k_5)y_2 + k_3 y_1 = k_{F1} I_{c1}' + k_{F2} I_{c2}'$ <p>Stable $\forall k_1 \geq (k_2 + k_3)$ and $k_3 \geq (k_2 + k_4)$</p>
<p>Transfer Function (selected linearized plant)</p> $\frac{Y}{I_c'} = \frac{k_F}{ms^2 + cs + k}$ <p>TF of above left stable system</p>		$\begin{bmatrix} ms^2 + cs + (k_1 + k_2 - k_3) & -k_2 \\ -k_2 & ms^2 + cs + (k_2 + k_5 - k_4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{F1} & k_{F2} \\ k_{F1} & k_{F2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{c1}' \\ I_{c2}' \end{bmatrix}$ <p>TF of above left system; stability assumed</p>	
<p>Notation</p> $F_{c_1m} = \frac{k_{cm} I_c}{(y+d)^{N_{cm}}}, \quad F_{c_2m} = \frac{k_{cm} I_c}{(d-y)^{N_{cm}}}$ <p><i>r</i> denotes value relative to some equilibrium pt. k_{cm}, <i>d</i>, & N_{cm} are positive constants, ($N_{cm} = 4$)</p>		$F_{c_1m_1} = \frac{k_{cm} I_{c_1}}{(y_1 + d_{c_1m_1})^{N_{cm}}}, \quad F_{m_1m_2} = \frac{k_{mm}}{(y_1 - y_2 + d_{m_1m_2})^{N_{mm}}}, \quad F_{c_2m_1} = \frac{k_{cm} I_{c_2}}{(y_1 + d_{c_2m_1})^{N_{cm}}}$	$F_{c_1m_2} = \frac{-k_{cm} I_{c_1}}{(y_2 - d_{c_1m_2})^{N_{cm}}}, \quad F_{c_2m_2} = \frac{-k_{cm} I_{c_2}}{(y_2 - d_{c_2m_2})^{N_{cm}}}$ <p>Notation similar to that for SISO ($N_{mm} = 4$)</p>

設定変更	SISO & MIMO 4 + SIMO 2
フィードバック	高分解能レーザーセンサー
アクチュエーター	高フラックスコイル, 希土類磁石
可動域	8 cm. peak, 4 cm. 連続
サーボアンプ	1 KHz カレントループ帯域幅
寸法、重量	50x35x30 cm, 5.5kg.

お問い合わせは下記まで御願いたします

〒223-0057

横浜市港北区新羽町 161-1-608

TEL : 045 - 541 - 4431

Mail: mail@pid-control.com www.pid-control.com