

ESTRUTURAS INTELIGENTES: FLUIDO MAGNETO REOLÓGICO

Giovanni Iamin Kotinda

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG
Kotinda@mecanica.ufu.br

Valder Steffen Júnior

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG
vsteffen@mecanica.ufu.br

Resumo: *Fluidos eletroreológicos (ER) e magnetoreológicos (MR) são fluidos capazes de mudarem suas propriedades reológicas quando submetidos a um campo elétrico ou magnético, respectivamente. Trata-se de soluções não coloidais formadas por partículas polarizáveis ou magnetizáveis misturadas com um óleo inerte, geralmente a base mineral ou a base de silicone. Também podem ser acrescentados aditivos para evitar efeitos como a aglomeração e a precipitação. Quando este é submetido a um campo elétrico ou magnético, suas partículas começam a formar cadeias orientadas na direção do campo. Quanto mais forte for o campo, maior será o número de partículas a formarem estas cadeias, até que ocorra saturamento. Quando é exercida uma força sobre o fluido e este tende a escoar, estas partículas dificultam o escoamento do fluido, alterando assim sua viscosidade aparente. Para demonstrar as propriedades reológicas destes fluidos, foram elaborados dois fluidos, o primeiro obtido com ferrita extraída de minério de ferro e outra com magnetita, ambas misturadas com óleo de silicone. A primeira foi descartada devido a sua baixa resposta quando submetida à presença de um ímã. Já a segunda foi utilizada em duas proporções, 1 parte de magnetita para 5 de óleo e 1 para 2. Para testar o comportamento do fluido foi construído um amortecedor do tipo cilindro-pistão, sendo o cilindro construído com material plástico, a tampa e o pistão feitos em nylon e a haste feita em alumínio, evitando assim o surgimento de campos magnéticos devido à indução magnética de materiais ferromagnéticos com o aço. Através dos ensaios experimentais, foram determinadas as funções de resposta em frequência (FRF) do sistema composto pelo sistema mecânico de um grau de liberdade acoplado com o amortecedor contendo o fluido magnetoreológico, utilizando ruído branco como excitação. Através da comparação das curvas obtidas, pode-se comprovar o aumento do amortecimento do sistema.*

Palavras-chave: *Estruturas Inteligentes, Fluido Magneto Reológico*

1. INTRODUÇÃO

Fluidos eletroreológico (ER) e magnetoreológico (MR) são fluidos capazes de mudarem suas propriedades reológicas quando submetidos a um campo elétrico ou magnético, respectivamente. Trata-se de soluções coloidais formadas por partículas polarizáveis ou magnetizáveis misturadas com um óleo inerte, geralmente a base mineral ou a base de silicone (Butz and Von Stryk, 1999, Carlson, 2001, Milecki, 2001, Hyun-Ung Oh and Junjiro Onada, 2002). Também podem ser acrescentados aditivos para evitar efeitos com a aglomeração e a precipitação. Quando este é submetido a um campo elétrico ou magnético, suas partículas começam a formar cadeias orientadas na direção do campo. Quanto mais forte for o campo, maior será o número de partículas a formarem estas cadeias, até que ocorra saturamento. Quando é exercida uma força sobre o fluido e este tende a

escoar, estas partículas dificultam o escoamento do fluido, alterando assim sua viscosidade aparente. O fluido MR foi desenvolvido por Rabinow e Winslow no fim da década de 40 sendo sua versão original tão eficiente quanto os atuais (Carlson, 2001).

Os amortecedores com fluidos reológicos possibilitam a criação de sistemas de controle de vibração ativos ou semi-ativos com tempo de resposta de milisegundos. Devido à simplicidade de seu projeto mecânico, envolvendo apenas algumas partes móveis, eles se tornam viáveis e confiáveis. Dispositivos com fluidos reológicos continuamente ajustáveis oferecem um potencial inovador para a criação de interfaces robustas e de controle rápido entre componentes mecânicos e unidades de controle eletrônicas.

Várias pesquisas vem sendo desenvolvidas na criação e aplicação de dispositivos que utilizam fluido MR, tais como: amortecedores automotivos, aplicações militares (metralhadoras de tanques e helicópteros), edificações protegidas contra abalos sísmicos, freios e embreagens (devido à sua boa capacidade de prover uma interface entre dispositivos mecânicos e sistemas de controle elétrico).

2. COMPARAÇÃO ENTRE OS FLUIDOS ER E MR

A tabela 1 mostra as principais características dos fluidos ER e MR.

Tabela 1: Características dos Fluidos MR e ER

Propriedade	Fluido	
	MR	ER
Máxima Tensão de Cisalhamento	50 – 100 [kPa]	2 – 5 [kPa]
Campo Máximo	~ 250 [kA/m] (Limitado pela saturação)	~ 4 [kV/mm] (Limitado pela falha do dispositivo)
Viscosidade	0,1 – 10 [Pa·s]	0,1 – 10 [Pa·s]
Faixa de Temperatura de Operação	-40 a +150 [°C] (Limitado pelo fluido base)	+10 a +90 [°C] (Iônico, DC) -25 a +125 [°C] (Não Iônico, AC)
Estabilidade	Inalterado pela maioria de impurezas	Não tolera impurezas
Tempo de Resposta	< Milisegundos	< Milisegundos
Densidade	3 – 4 [g/cm ³]	1 – 2 [g/cm ³]
η_p / τ_y^2	10 ⁻¹⁰ a 10 ⁻¹¹ [s/Pa]	10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁸ [s/Pa]
Densidade Máxima de Energia	0,1 [J/cm ³]	0,001 [J/cm ³]
Fonte de Potência	2 – 25 [V] @ 1 – 2 [A] 2 – 50 [W]	2 – 5 [kV] @ 1 – 10 [mA] 2 – 50 [W]

Nota-se que os fluidos MR apresentam uma melhor possibilidade de uso por serem imunes a impurezas, exibem uma faixa de temperatura de utilização maior e por prover uma resistência ao cisalhamento maior que o fluido ER, utilizando tensões elétricas baixas.

3. MODOS DE OPERAÇÃO DOS DISPOSITIVOS

Existem três modos básicos de operação dos dispositivos com fluido reológico: modo de válvula, modo de cisalhamento direto e modo de compressão, sendo que o mais utilizado é o primeiro (Butz and Von Stryk, 1999).

No modo de válvula (figura 1a) o fluido está restrito por pólos estacionários e sua resistência ao escoamento é regulada pelo campo magnético gerado. Geralmente este modo é utilizado em dispositivos do tipo cilindro-pistão. No modo de cisalhamento (figura 1b), o fluido é sujeito a um cisalhamento direto entre os pólos que transladam ou rotacionam perpendicular ao campo. Finalmente, no modo de compressão (figura 1c), o fluido é comprimido pelos pólos que apresentam um movimento de translação na direção do campo magnético.

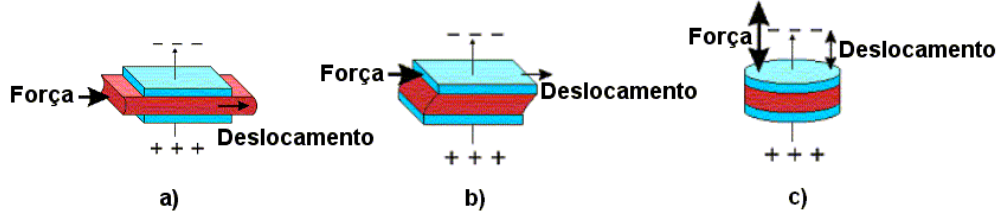


Figura 1: Modos Básicos de Operação. (a) Modo de Válvula – (b) Modo de Cisalhamento
(c) Modo de Compressão

4. MODELOS MATEMÁTICOS PARA OS FLUIDOS MR

Os modelos matemáticos que serão apresentados a seguir são modelos paramétricos, ou seja, são funções matemáticas cujos coeficientes são ajustados de tal modo que os resultados numéricos se aproximem dos resultados experimentais. Desta forma, a resposta dinâmica dos dispositivos reológicos são representados por relações semi-empíricas. Vários Modelos paramétricos podem ser facilmente descritos pelo arranjo de elementos mecânicos tais como rigidez (molas) e amortecimento (amortecedores viscosos ou secos) (Butz and Von Stryk, 1999).

4.1. Modelo de Bouc-Wen

Este modelo foi desenvolvido para caracterizar o comportamento de um amortecedor com fluido MR. Ele é elaborado de modo a reproduzir a resposta de um sistema histerético a excitações aleatórias.

Um análogo mecânico para o modelo de Bouc-Wen é mostrado na figura 2, sendo que a força gerada pelo dispositivo é dada por:

$$F = c_0 \cdot \dot{x} + k_0 \cdot (x - x_0) + \alpha \cdot z \quad (1)$$

onde o componente histerético z satisfaz:

$$\dot{z} = -\gamma \cdot |\dot{x}| \cdot z \cdot |z|^{n-1} - \beta \cdot \dot{x} \cdot |z|^n + \delta \cdot \dot{x} \quad (2)$$

Pelo ajuste dos valores dos parâmetros α , β , γ , δ e η é possível controlar a forma característica da relação força-velocidade. Um deslocamento inicial x_0 da mola foi incorporado no modelo para representar a presença de um acumulador no amortecedor em questão.

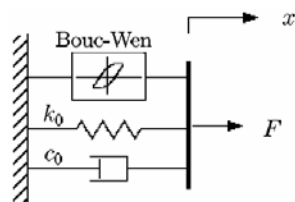


Figura 2: Modelo de Bouc-Wen

4.2. Modelo Modificado de Bouc-Wen

Para melhor prever a resposta do amortecedor MR na região do ponto limite de escoamento foi proposta uma extensão do modelo de Bouc-Wen, mostrado na figura 3. A equação para a força no sistema é dada por:

$$F = \alpha \cdot z + c_0 \cdot (\dot{x} - \dot{y}) + k_0 \cdot (x - y) + k_1 \cdot (x - x_0) = c_1 \cdot \dot{y} + k_1 \cdot (x - x_0) \quad (3)$$

onde

$$\dot{z} = -\gamma \cdot |\dot{x} - \dot{y}| \cdot z \cdot |z|^{n-1} - \beta \cdot (\dot{x} - \dot{y}) \cdot |z|^n + \delta \cdot (\dot{x} - \dot{y}) \quad (4)$$

e

$$\dot{y} = \frac{1}{c_0 + c_1} \cdot [\alpha \cdot z + c_0 \cdot \dot{x} + k_0 \cdot (x - y)] \quad (5)$$

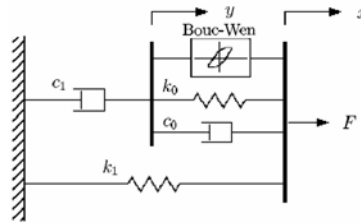


Figura 3: Modelo Modificado de Bouc-Wen

5. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

5.1. Fluido Magneto Reológico

Como foi dito anteriormente, os fluidos magnetoreológicos são compostos por partículas magnetizáveis misturadas com um óleo inerte. Para demonstrar as propriedades reológicas destes fluidos foram elaborados dois fluidos, o primeiro sendo feito com ferrita extraída de minério de ferro e outra com magnetita, ambas misturadas com óleo de silicone. A primeira foi descartada devido a sua baixa resposta quando submetida à presença de um ímã. Já a segunda foi utilizada em duas proporções, 1 parte de magnetita para 5 de óleo e 1 para 2. A figura 4 mostra o fluido magnetoreológico composto por magnetita e óleo de silicone submetido à ação do campo magnético de um ímã.



a) sem campo magnético



b) com campo magnético

Figura 4: Fluido Magnetoreológico submetido à um campo magnético

5.2. Bancada Experimental

Para testar o comportamento do fluido foi construído um amortecedor do tipo cilindro-pistão (figura 5a e 5b), sendo o cilindro construído com material plástico (foi utilizada uma seringa descartável), a tampa e o pistão feitos em nylon e a haste feita em alumínio, evitando assim o surgimento de campos magnéticos devido à indução magnética de materiais ferromagnéticos com o aço.

Neste caso o dispositivo trabalha no modo de válvula, sendo que o fluido escoar entre a superfície lateral do pistão e a parede interna do cilindro. Um acumulador pneumático foi construído para evitar a formação de bolhas e para fazer a compensação do volume da haste.

Este amortecedor é fixado a um suporte, conforme mostra as figuras 5c, 5d e 5e, sendo todas as partes construídas em nylon, exceto os parafusos de fixação. Também é fixado a ela um entre-ferro e uma bobina. O entre-ferro concentra e direciona o campo magnético gerado pela bobina.

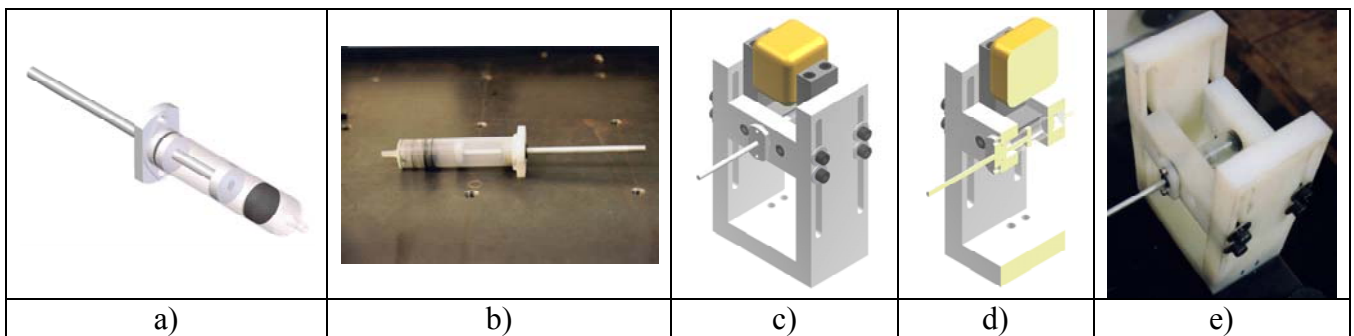
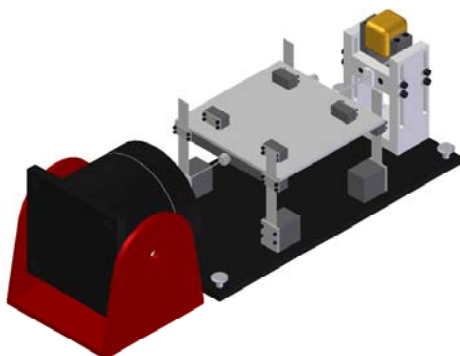
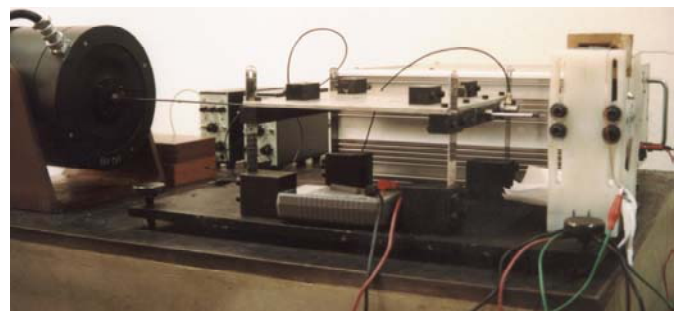


Figura 5: Componentes e Bancada experimental. a) Esquema do amortecedor; b) Amortecedor; c) Esquema da bancada; d) Corte da bancada; e) Bancada Experimental

A altura do amortecedor pode ser ajustada facilitando a montagem do mesmo a um sistema mecânico de um grau de liberdade. Este sistema é constituído por uma placa de alumínio suspensa por quatro lâminas de aço inox. Devido aos momentos de inércia das lâminas, pode-se considerar o movimento da mesa como sendo de apenas um grau de liberdade. A mesa também possui regulagem de altura para ser acoplada a um *shaker* (figura 6) e também para ajustar a rigidez do sistema.



a) Desenho da Montagem



b) Foto da Montagem

Figura 6: Dispositivo experimental: shaker, sistema 1 GDL e dispositivo MR

5.3. Procedimento Experimental

Os ensaios experimentais visam a obtenção da função de resposta em frequência (FRF) do sistema composto pelo sistema mecânico de um grau de liberdade acoplado com o amortecedor contendo o fluido magnetoreológico, utilizando ruído branco como excitação. Através da comparação das curvas obtidas pode-se verificar o aumento do amortecimento do sistema.

O esquema de montagem do ensaio pode ser visto na figura 7 e os equipamentos utilizados são relacionados na tabela.

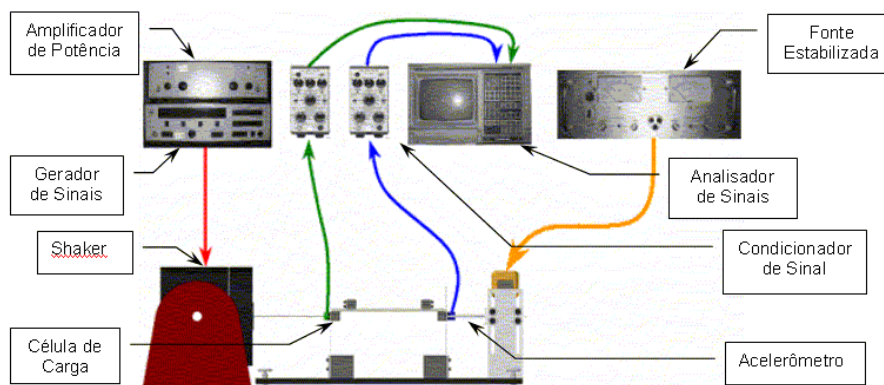


Figura 7: Esquema do Experimento

Primeiramente foi feito um ensaio para verificar se o sistema realmente apresentava um comportamento de um grau de liberdade. O sistema mecânico sem amortecimento possui uma frequência natural aproximada de 17,5 [Hz] e determinou-se também a faixa de frequência a ser utilizada. Em seguida foram realizados testes com os dois fluidos reológicos descritos anteriormente (magnetita em óleo de silicone a 1/5 e 1/2) onde a corrente que passa pela bobina varia de 1 em 1 [A], de 0 a 3.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A figura 8 mostra o resultado obtido para o fluido magnetoreológico 1/5, onde se nota que há uma diminuição de aproximadamente 2,2 [dB] ao se passar uma corrente de 1,0 [A] e uma diminuição de 5 [dB] para uma corrente de 3,0 [A] a uma frequência de 16,15 [Hz].

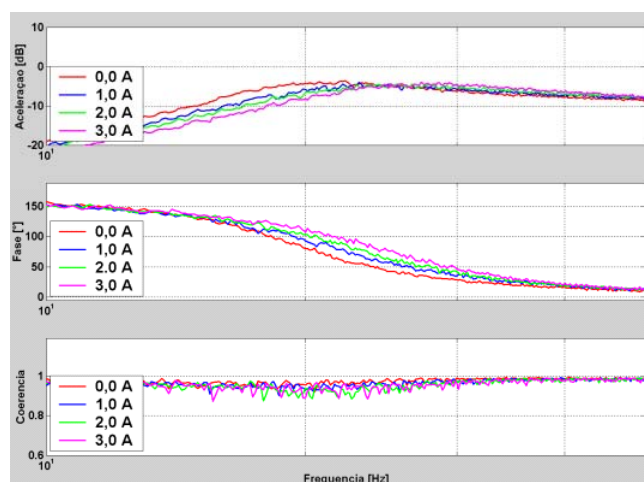


Figura 8: FRF, Fase e Coerência ao se utilizar os fluidos 1/5

A figura 9 mostra o resultado obtido para o fluido magnetoreológico 1/2, onde nota-se que há uma diminuição de aproximadamente 0,96 [dB] ao se passar uma corrente de 1,0 [A], e uma diminuição de 4,1 [dB] para uma corrente de 3,0 [A] a uma frequência de 17,78 [Hz].

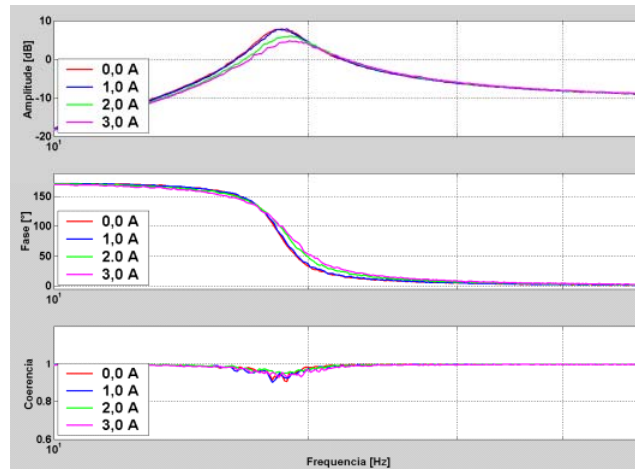


Figura 9: FRF, Fase e Coerência ao se utilizar os fluidos 1/5

A figura 10 mostra o resultado obtido para o fluido magnetoreológico 1/2, onde nota-se que há uma diminuição de aproximadamente 2,36 [dB] ao se passar uma corrente de 3,0 [A] a uma frequência de 17,78 [Hz]. Neste caso, primeiro foi feito o ensaio com corrente de 3, depois com 2 e, por fim, 1[A]. Nota-se que não há modificação nas curvas. Este fato pode ser explicado pela velocidade com que as partículas se desmagnetizam.

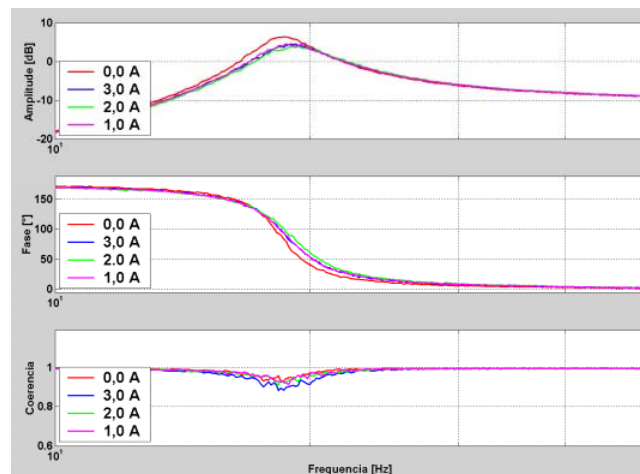


Figura 9: FRF, Fase e Coerência ao se utilizar o fluido 1/2 aplicando primeiramente uma corrente de 3 [A]

7. CONCLUSÃO

Os dispositivos com fluido MR apresentam uma grande versatilidade devido à sua boa capacidade de prover uma interface entre dispositivos mecânicos e sistemas de controle elétrico sendo empregados desde amortecedores para edifícios, até embreagens, freios e suspensões.

Os fluidos MR apresentam grande vantagem sobre os fluidos ER devido a sua grande capacidade de resistir ao cisalhamento consumindo a mesma potência em baixa tensão.

No caso do fluido utilizado para os ensaios experimentais, notou-se a questão do tempo para a desmagnetização, o que seria prejudicial se este fosse utilizado em um sistema com controle.

8. Referências Bibliográfica

- Butz, Torstem; Von Stryk, Oskar; Modelling and Simulation of Rheological Fluid Devices; Sonderforshungsberich 438; Technische Universität München, Universität Augsburg; Preprint SFB-438-9911 (99)
- Carlson, J. D.; What Makes a Good MR Fluid; 8th International Conference on Electrorheological (ER) Fluids and Magneto-Rheological (MR) Suspensions, Nice, July 9-13, 2001.
- Milecki, Andrzej; Investigation and Control of Magneto-Rheological Fluid Dampers; International Journal of Machine Tools & Manufacture 41 (2001) págs 379-391
- Hyun-Ung Oh; Junjiro Onada; Na Experimental Study of a Semiactive Magneto-Rheological Fluid variable damper for Vibration Suppression of Truss Structures; Institute of Physics Publishing, Smart Mater. Struct. 11 (2002) 156-162.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

SMART STRUCTURES: MAGNTO RHEOLOGICAL FLUIDS

Giovanni Iamin Kotinda

Federal University of Uberlandia – Faculdade de Engenharia Mecânica - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG
Kotinda@mecanica.ufu.br

Valder Steffen Júnior

Federal University of Uberlandia – Faculdade de Engenharia Mecânica - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG
vsteffen@mecanica.ufu.br

Abstract: *Electro rheological (ER) and magneto rheological fluids are fluids that can change their rheological properties when subjected to an electric or magnetic field, respectively. They are colloidal solutions formed by polarisable or magnetisable particles mixed with inert oil, generally mineral or silicone base oil. It can be included additives to avoid effects like agglomeration and precipitation. When these fluids are subjected to an electric or magnetic field, their particles start forming chains oriented in the field orientation. The stronger it will be the field, greater will be the number of particles to form these chains, until saturation occurs. When a force on the fluid is exerted and this tends to flow off, these particles make it difficult the draining of the fluid, thus modifying its apparent viscosity. To demonstrate the rheological properties of these fluids, two fluids were formulated, the first one obtained with ferrite extracted from an ironstone and another one with magnetite, both mixed with silicon oil. The first one was discarded due to low response when submitted to a magnetic field. The second, was used in two ratios, namely: 1 magnetite part for 5 of oil and 1 for 2. To test the behavior of the fluid, a cylinder-piston damper was constructed. The cylinder was constructed with plastic material, the cover and the piston were made in nylon and the connecting rod was made in aluminum, thus preventing the magnetic influence due to magnetic field induction of iron magnetic materials, as the steel. Through the experimental tests, the frequency response functions (FRF) of the resulting mechanical system of one degree of freedom was determined. By comparison of the obtained curves, the increase of damping can be proven.*

Keywords: *Smart Structures, Magneto Rheological Fluids*