

DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE NEURAL PARA O CONTROLE DE ROTAÇÃO DE UM SISTEMA DE REPARO POR ATRITO

Dênis S. de Freitas, Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste, denissfreitas@hotmail.com

Sinésio D. Franco, Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste, sdfranco@ufu.br

Vera L. D. S. Franco, Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste, vlfranco@ufu.br

Resumo. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma rede neural (RN) capaz de controlar a rotação de um sistema de reparo por atrito mesmo com as grandes variações de torque que ocorrem nesse tipo de processo. Para isso, foram projetadas RNs com estruturas variadas, compostas de um, três, quatro e seis neurônios com funções de ativação, linear, quadrática e sigmoide. O sistema de rotação considerado é composto de um motor hidráulico cuja rotação é controlada por uma válvula servossolenóide. As variáveis de entrada utilizadas nas RNs foram: o erro de rotação, sua derivada e sua integral (assim como em um controlador PID – Proporcional Integral Derivativo), o inverso da vazão nominal da válvula e sua derivada. Foi criada ainda uma planta teórica que simula o comportamento do sistema de rotação de uma unidade de reparo por atrito, a qual foi utilizada no ajuste dos pesos das RNs através de um algoritmo genético (AG). Essa planta também foi utilizada na avaliação do desempenho das RNs no controle de rotação depois de ajustadas. A escolha da RN adequada foi feita levando em consideração não apenas o seu desempenho no controle, mas também o número de parâmetros que devem ser ajustados, já que quanto maior esse número, maior é a dificuldade enfrentada pelo AG no ajuste. Depois de escolhida a RN, o seu desempenho foi comparado ao de um controlador PID. Ao fim dos testes, a RN com o menor número de parâmetros que atingiu os requisitos de desempenho no controle foi a composta de apenas um neurônio e função de ativação linear, a qual apresentou ainda um desempenho significativamente superior ao do controlador PID.

Palavras chave: Redes neurais, Controlador neural, Controladores PID, Reparo por atrito, Algoritmos genéticos.

1. INTRODUÇÃO

Técnicas de reparo por atrito foram desenvolvidas como um método alternativo devido às necessidades de minimizar as paradas de produção e de obter práticas mais seguras e flexíveis de manutenção no reparo em ambientes hostis (áreas com risco de explosão e espaços confinados). Dentre essas técnicas, pode ser citado o processamento de pinos por atrito ou FHPP (*Friction Hydro Pillar Processing*), que foi desenvolvido em 1990 por Andrews e Mitchel (1990) e baseado nos princípios da solda por atrito (MEYER, 2001).

O FHPP consiste basicamente no preenchimento de um furo não passante por intermédio da introdução de um pino (consumível), estando este submetido a uma velocidade de rotação, e a esforços de compressão contra a cavidade do furo, como pode ser visto na Fig (1).

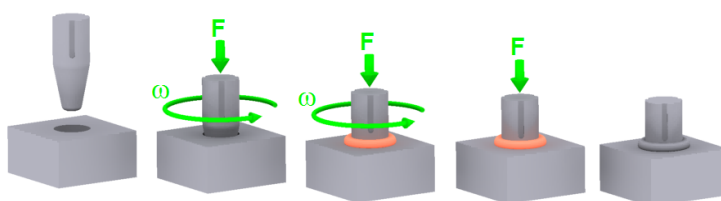


Figura 1. Esquema ilustrativo do FHPP

Um dos problemas no controle de rotação durante o processo de reparo por atrito é a grande variação no torque. No início do processo, quando há o primeiro contato entre pino e bloco, há um aumento muito elevado no torque, o que algumas vezes leva até mesmo ao travamento do sistema de rotação, impedindo a execução completa do reparo. Logo em seguida, a resistência mecânica do material diminui devido ao aquecimento gerado pelo atrito e, consequentemente, o torque diminui significativamente, o que provoca oscilações e instabilidade na velocidade de rotação.

No Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) foram construídas quatro unidades de reparo por atrito, as quais utilizam sistemas hidráulicos para o controle de rotação. Cada uma dessas unidades possui um motor hidráulico cuja rotação é controlada por uma válvula servossolenóide.

A utilização de controladores PID no controle de rotação dessas unidades de reparo por atrito não apresentou bom desempenho de acordo com os trabalhos de Souza (2006), Pires (2007), Caixeta (2011), Borges (2011) e Formoso (2012), gerando travamentos e impedindo que fosse explorada toda a capacidade de força dos equipamentos. Isso pode ser devido a dificuldades no ajuste ou mesmo pelo fato de esse tipo de controlador não levar em consideração parâmetros importantes que modificam de forma significativa o comportamento do sistema, que é o caso dos efeitos provocados pela variação de torque.

Considerando a pressão de alimentação do sistema hidráulico constante, uma variação de torque no motor hidráulico provoca uma mudança na diferença de pressão no mesmo e consequentemente altera a diferença de pressão por aresta da válvula, gerando uma variação na sua vazão nominal.

Com o intuito de reduzir as chances de ocorrer o travamento durante o processo de reparo por atrito e manter a estabilidade no controle de rotação, pretende-se nesse trabalho projetar um controlador do tipo rede neural (RN), já que nesse tipo de controlador poderão ser utilizadas informações relativas à vazão nominal da válvula em função da diferença de pressão por aresta na mesma durante o processo. Com isso, o controlador poderá adaptar o seu comportamento através da análise das variações provocadas no sistema pelas mudanças no torque.

2. METODOLOGIA

Para realizar o teste dos controladores foi criada uma planta teórica que simula o comportamento do sistema de rotação, composto por um motor hidráulico controlado por uma válvula servossolenóide, conforme Fig. (2).

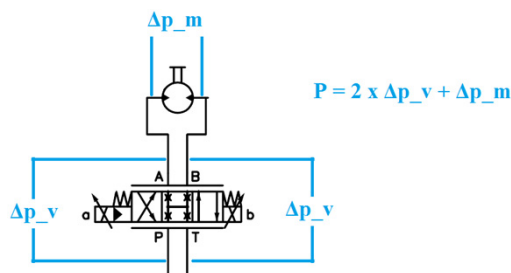


Figura 2. Sistema de rotação de uma unidade de reparo por atrito

Com o aumento do torque do motor hidráulico durante o processo de reparo por atrito, a diferença de pressão no mesmo (“ Δp_m ”) aumenta proporcionalmente (BOSCH REXROTH LTDA, 2005). Como pode ser visto na Fig. (2), para uma pressão de alimentação do sistema (“ P ”) constante, com esse aumento em “ Δp_m ”, necessariamente a diferença de pressão por aresta da válvula (“ Δp_v ”) diminui. Como a vazão nominal da válvula servossolenóide é proporcional à raiz quadrada da diferença de pressão por aresta na mesma, o aumento de torque provoca uma redução nessa vazão, alterando o comportamento do sistema. Nesse caso, para que a rotação seja mantida, é necessário abrir mais a válvula. O inverso ocorre quando o torque diminui, ou seja, é necessário fechar mais a válvula para que a rotação seja mantida, já que esta é proporcional à vazão. Como a vazão da válvula, quando esta está fixa com uma determinada abertura, é proporcional à vazão nominal, foi desenvolvida a seguinte planta, mostrada na Fig. (3), para simular esse comportamento e realizar o ajuste e teste dos controladores.

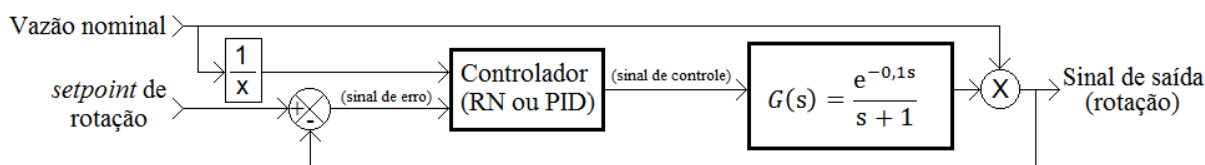


Figura 3. Planta teórica desenvolvida para teste e ajuste dos controladores

Para simular o comportamento da válvula foi escolhida uma função de transferência simples, com apenas um polo estável e um atraso, como pode ser visto na Fig. (3). Por ser um sistema de controle de vazão com uma válvula servossolenóide, o sistema real em malha aberta é estável, e, por ser um sistema hidráulico, possui um atraso no tempo de resposta, por isso a escolha de uma função desse tipo. O sinal enviado para o controlador é o inverso da vazão nominal, pois, como descrito anteriormente, se esta diminuir é necessário aumentar o nível do sinal enviado para a válvula para que ela abra mais e a rotação seja corrigida, e vice-versa.

Para realizar os testes, foram adotadas as variações da vazão nominal e do torque ao longo do tempo mostradas na Fig. (4a) e (4b), respectivamente. A resposta do sistema em malha aberta para essas variações também pode ser vista na Fig. (4c). Pode ser observado que o instante onde ocorre o pico de torque corresponde ao ponto de menor vazão nominal. O *setpoint* utilizado nos testes foi de 10% da rotação máxima, ou seja, 10% da vazão nominal máxima. Para fins de comparação, considerando a unidade de reparo por atrito utilizada por Borges (2011) no desenvolvimento de seu trabalho, utilizando a variação da vazão nominal mostrada na Fig. (4) seria equivalente a obter uma variação de torque de 560 Nm, sendo a capacidade do equipamento de 616 Nm, com um *setpoint* de velocidade de rotação de 1000 rpm.

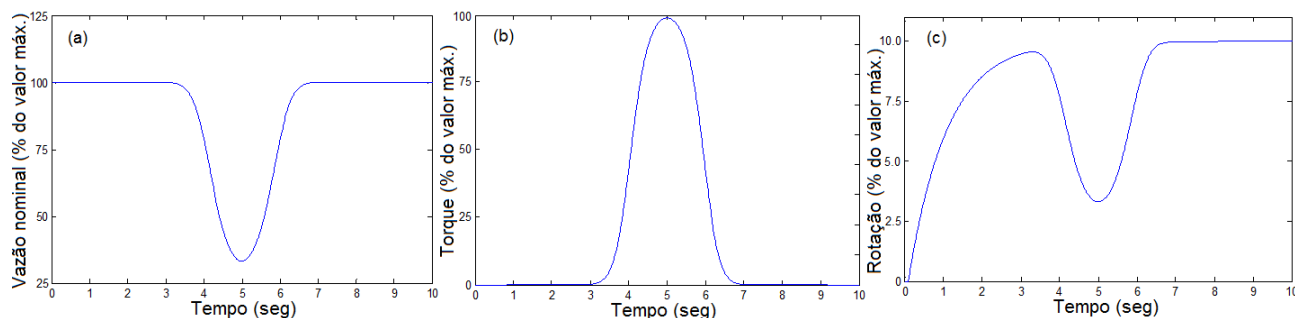


Figura 4. Variação da vazão nominal (a) e do torque (b) utilizados para o teste dos controladores e resposta do sistema em malha aberta (c) para essas variações

Para realizar o controle de rotação, foram projetadas RNs com estruturas variadas, compostas de um, três, quatro e seis neurônios, conforme Fig. (5). Essas estruturas foram testadas com funções de ativação linear (apenas a de um neurônio), quadrática e sigmoidal. Foi testada também uma estrutura com a combinação de todas as funções de ativação mencionadas, conforme Fig. (6), onde L-linear, S-sigmoidal e Q-quadrática. As variáveis de entrada de todas as RNs foram o erro de rotação, sua derivada e sua integral (assim como em um controlador PID – Proporcional Integral Derivativo), o inverso da vazão nominal da válvula e sua derivada.

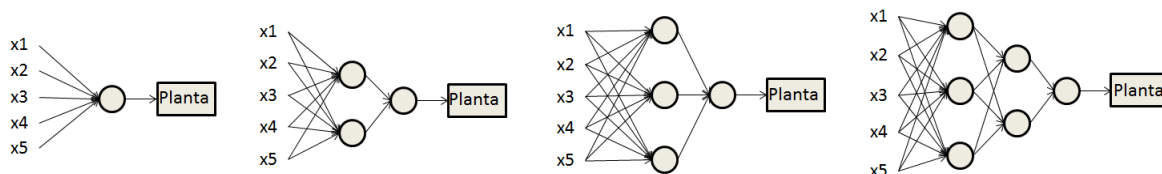


Figura 5. Estruturas das RNs testadas

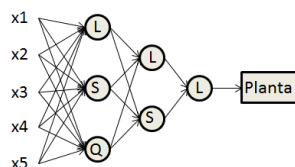


Figura 6. Estrutura da RN com funções de ativação linear (L), quadrática (Q) e sigmoidal (S)

Para realizar o ajuste das RNs de forma a obter o melhor desempenho no controle de rotação do sistema desenvolvido, foi utilizado um algoritmo genético (AG). Para cada RN, esse AG utiliza a lógica fuzzy para realizar o ajuste considerando a integral do erro absoluto, o *overshoot* e o *settling time* da resposta do sistema. Detalhes da construção desse AG podem ser encontrados em De Freitas (2011).

Depois de realizado o ajuste das redes neurais, foi escolhida a RN que não só atingiu os requisitos de desempenho no controle, mas que, além disso, contém o menor número de parâmetros para serem ajustados. Quanto maior a quantidade de neurônios, maior é o número de parâmetros que devem ser ajustados e consequentemente maior é a dificuldade no ajuste, já que o número de testes que o AG necessita realizar na planta deve ser maior. Por isso, dentre as RNs que atingiram os requisitos de desempenho, foi escolhida a que possuía o menor número de neurônios. Os requisitos de desempenho adotados foram *settling time* de 0,5 seg com oscilação máxima de 5% e *overshoot* de 5%.

Depois de escolhida a RN, o seu desempenho foi comparado ao de um controlador PID que também foi ajustado utilizando o AG.

3. RESULTADOS

Depois de realizado o ajuste, a RN com o menor número de neurônios que atingiu os requisitos de desempenho no controle foi a composta de apenas um neurônio e função de ativação linear. Ela obteve um *settling time* de 0,25 seg e conseguiu manter uma oscilação da rotação menor que 5% mesmo com a variação de torque, como pode ser visto na Fig. (7). As outras RNs que conseguiram atingir os requisitos de desempenho foram as que possuíam mais de um neurônio e, consequentemente, um maior número de parâmetros para serem ajustados. Isso fez com que o AG necessitasse de um maior número de testes na planta e de mais tempo para que o ajuste fosse concluído, por isso essas

RNs foram descartadas. O controlador PID conseguiu um *settling time* de 0,25 seg, mas não conseguiu manter a rotação dentro da faixa requerida quando ocorreu variação no torque, como também pode ser visto na Fig (7).

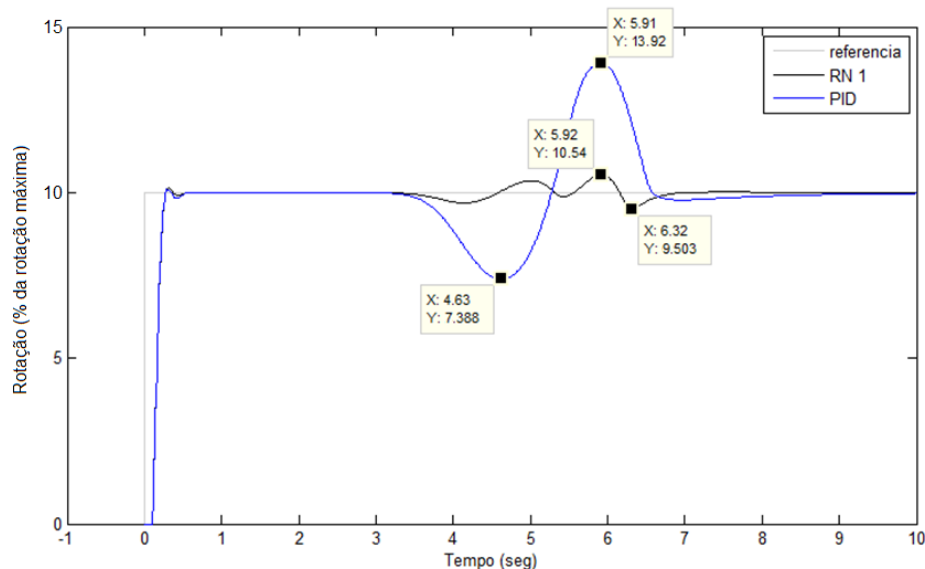


Figura 7. Resposta do controlador de um neurônio com função de ativação linear e do controlador PID

4. CONCLUSÕES

De todos os controladores testados, o que conseguiu garantir o controle de rotação de acordo com os requisitos de desempenho e possui o menor número de parâmetros para serem ajustados foi o de um neurônio com função de ativação linear. Esse controlador mostrou ainda um desempenho muito superior ao do controlador PID, que não conseguiu manter a rotação dentro da faixa requerida quando houve uma grande variação de torque.

5. REFERÊNCIAS

- Andrews, R.E.; Mitchell, S.J. Underwater Repair by Friction Stitch Welding. "Metals and Materials". p. 796-797, Dec. 1990.
- Borges, B. m. "Instrumentação, Controle e Operacionalização de uma Unidade de Reparo por Atrito com Capacidade de Carga Axial de 500 kN". 2011. 97p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- Bosch Rexroth Ltda. "Válvulas Servossolenóides com Sobreposição Positiva e Eletrônica Integrada". Atibaia, Brasil, 2005. 22 p.
- Caixeta, L. A. "Otimização de Parâmetros de Processamento de Pinos por Atrito em Unidade com Capacidade de 245 KN". 2011. 122 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- De Freitas, D. S. "Sintonia de Controladores PID para Controle de Força e Velocidade em um Tribômetro de Grandes Dimensões". Monografia de conclusão de curso, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG), 134p, 2011.
- Formoso, C. M., "Projeto e Desenvolvimento de um Sistema de Instrumentação e Controle para uma Unidade de Processamento de Pinos por Atrito Portátil". 2012. 88p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- Meyer, A.; Roos, A.; Santos, J. F.; Gibson D.; Blakemore G.; Hammerin R. "Subsea Robotic Friction-Welding-Repair System". Offshore Technology Conference. 30.4. - 3.5.2001, Houston: OTC, 2001.
- Pires, R. R. "Efeitos da Geometria, da Força Axial e da Rotação no Reparo por Atrito". 2007. 68 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- Souza, R. J. "Desenvolvimento, Projeto, Construção e Validação de um Equipamento de Reparo de Trincas por Atrito". 2006. 101 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

4. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.