



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE EQUIPAMENTO PARA ENSAIOS DE FADIGA DE CONTATO EM ENGRENAGENS – RESULTADOS PRELIMINARES

Rubens Alan Jacomel de Mattos

Universidade Federal Tecnológica do Paraná,
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba, Paraná
rubens.alan@uol.com

Rodolfo Reinaldo Stebner

rodolfostebner@yahoo.com.br

Samuel Soares Ansay

ansay@utfpr.edu.br

Carlos Henrique da Silva

carloshs@utfpr.edu.br

Resumo: Este trabalho tem por objetivo divulgar os resultados preliminares do processo de automação e controle de um equipamento para realização de ensaios tribológicos em engrenagens de dentes retos, o FZG-LASC, projetado e construído pela equipe do LASC (Laboratório de Superfícies e Contato) da Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Este equipamento, inicialmente projetado com fundamentos puramente eletromecânicos, foi concebido prevendo este pós-projeto. Para tanto esta sendo elaborada uma interface gráfica entre homem-máquina, que consiste em um simulador de painel para monitoramento e controle via PC (Computador Pessoal), possível, apenas, a partir do desenvolvimento de um sistema condicionador de sinais e de aquisição de dados, que possibilitam a comunicação entre a máquina e um PC. Este simulador trata de um software interativo criado na plataforma LabView, que possibilita o usuário acompanhar, definir e/ou atuar em parâmetros específicos do experimento como tempo efetivo de ensaio, temperatura do óleo lubrificante e rotação dos eixos. Os recursos aplicados possibilitarão também a criação de um banco de dados que permitirá, ao longo do tempo, uma análise comparativa facilitada das informações dos parâmetros de ensaio sendo possível por fim gerar uma curva precisa das variações dos valores obtidos durante o experimento, o que irá garantir a validação do ensaio.

Palavras-chave: automação, controle, interface, tribologia, engrenagem.

1. INTRODUÇÃO

No projeto de pesquisa denominado “DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA ESTUDO DO FENÔMENO DE FADIGA DE CONTATO UTILIZANDO SISTEMAS TRIBOLÓGICOS COM ENGRENAGENS” realizado pelo aluno de Engenharia Industrial Mecânica Thiago M. C. A Santos (bolsista PIBIC-DAMEC) e pelo mestrando Fabio Koda, aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Materiais (PPGEM-UTFPR) foi realizada uma pesquisa sobre os diversos tipos de equipamentos para ensaios de engrenagens, a qual mostrou que o sistema mais adequado às necessidade do projeto foi o sistema tipo *Power Recirculation*. Após a fase de projeto, o equipamento foi construído, na empresa Wieser, Pichler e Cia Ltda (Joaçaba-SC) com recursos da Fundições Tupy Ltda (Joinville-SC), este equipamento é uma versão adaptada de uma máquina, comumente denominada de FZG (*Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau*) e alguns detalhes desta maquina estão apresentados nas Figuras 1 e 2.



Figura 1 - Máquina tipo FZG desenvolvida pela equipe do LASC, com a câmara de ensaio aberta.



Figura 2 – Detalhe da câmara contendo as engrenagens (corpos-de-prova), com lubrificante.

Dentre as principais características deste equipamento, Santos and Koda (2006) salientam três aspectos importantes: (1) a capacidade de simular e avaliar os danos superficiais típicos decorrentes da fadiga de contato (*pitting*, *spalling* e *scuffing*) em um período de tempo condizente a um ensaio laboratorial de aproximadamente 14h; (2) a capacidade de aplicar cargas elevadas em um sistema compacto, com simplicidade construtiva, simplicidade de execução dos ensaios, possibilidade de realizar dois ensaios ao mesmo tempo, utilizando engrenagens como corpos-de-prova; e (3) expandir os ensaios para análises e testes dos diversos tipos de lubrificantes que podem ser usados para melhor atender a necessidade de redução do efeito da fadiga de contato.

Porem, até então a máquina não apresentava um monitoramento ou controle auto-suficiente o que implicava em um acompanhamento *full time* (tempo integral) por parte do operador a todos os parâmetros significativos para ensaio, para garantir que estes não saiam do padrão especificado pela norma que rege este tipo de ensaio. Consequente, para atender esta necessidade de auto-suficiência, deu-se início ao desenvolvimento de um sistema de controle e automação pleno e interativo, que permite ao usuário ajustar a máquina com os parâmetros requeridos e deixar a cargo de um PC a supervisão geral do ensaio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A respeito da interação com fenômenos naturais, Diniz et all (2004) afirma que se deve primeiro converter as grandezas envolvidas, em sinais elétricos, através de um transdutor. Para isso usaremos da tecnologia digital, pois essa é uma ferramenta poderosa no processamento de informações e cabível neste caso, uma vez que as variações relevantes de informações podem ser capturadas de forma discreta.

Se tratando do termo controle, neste trabalho usar-se-á o conceito defendido por Silveira and Santos (2007) que diz: “A palavra controle, de origem francesa (*contrôler*), denota o ato ou poder de exercer domínio, fiscalizar, supervisionar, manter o equilíbrio.”. Os processos de controle podem ser divididos em dois tipos, controle contínuo e do tipo discreto. Ainda de acordo com Silveira and Santos “o controle do tipo discreto, voltado aos processos digitais teve seu início marcado pela utilização de dispositivos eletromecânicos do tipo a relés.”

“Muitos podem achar que a conversão de dados necessita somente do Conversor Analógico-Digital (AD) ou do Conversor Digital-Analógico (DA). Entretanto, para converter um sinal analógico, o sinal de entrada deve ser compatível com o conversor; ainda, é necessário filtrar o sinal de entrada a fim de remover componentes de frequência acima da razão de Nyquist, e mais, realizar a aquisição do mesmo para convertê-lo do domínio analógico contínuo no tempo para um sinal amostrado que, finalmente, pode ser “quantificado” pelo AD.” (Regazzi et all, 2005).

De acordo com Regazzi et all (2005), para que ocorra uma comunicação entre processos, é fundamental que os processos utilizem uma linguagem de comunicação comum, que é conhecida como Protocolo.

Ragazzi et all (2005) também expõe que: “No ambiente de trabalho *LabView* existem duas paletas: o painel frontal e o painel de programação do diagrama de blocos, no painel frontal se desenha a interface com o usuário e no painel de programação são relacionados os elementos utilizados na interface mediante operações e funções que determinam como funciona o programa e o sistema...”.

Para se desenvolver o sistema de controle e automação foi preciso determinar o meio de comunicação entre o computador e a máquina FZG-LASC, os fatores que preponderaram as escolhas dos meios utilizados foram o custo, os recursos de materiais e dispositivos, que se dispunha no projeto inicial da máquina e a própria limitação quanto à utilização de linhagens de programação dos autores.

3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

A metodologia empregada neste trabalho se divide em três atividades principais: (1) compreensão do projeto mecânico; (2) desenvolvimento do projeto eletrônico; e (3) elaboração da interface gráfica.

Haja vista que o projeto mecânico já estava concluído, após a compreensão da parte mecânica e funcional do equipamento, decidiu-se por desenvolver o projeto eletrônico, o qual compreendeu a escolha de quais seriam os dispositivos e componentes a serem utilizados e como estes seriam instalados no equipamento. No momento o projeto encontra-se na última etapa do desenvolvimento, em que alguns detalhes da interface gráfica ainda precisam ser ajustados, porém o controle e o monitoramento, a partir do computador, já são possíveis.

Escolheu-se esta estratégia por ser de fácil assimilação devida ser bem clara a divisão do trabalho dentro das áreas mecânica, eletrônica e de controle e por possibilitar um ordenamento de tarefas dentro de cada uma dessas áreas.

3.1 Controle de rotação

A empresa WEG doou para este projeto, um inversor do tipo CFW-09 e é através deste que é feito o controle de rotação do eixo de saída do motor e também o monitoramento das variáveis de torque, corrente de saída e potência do motor. Este inversor veio equipado com um HMI (*human machine interface*) que de acordo com o Manual do Inversor (2005): “... é uma interface simples que permite a operação e a programação do inversor”. Porém o HMI não tem conectividade com o computador, logo se fez necessário adquirir uma nova interface, no caso o módulo RS-232.

O módulo RS-232 é uma interface serial ponto a ponto do tipo *Half Duplex* (trocados dados na forma bidirecional, porém não simultânea), que permite trabalhar a uma distância de 10 m cuja taxa de transmissão máxima é de 9600 bps e o protocolo de comunicação baseia-se no tipo pergunta/resposta conforme normas ISO 1745, ISO 646, com troca de caracteres do tipo ASCII entre os inversores e um mestre (Manual do Inversor, 2005).

Ainda quanto ao protocolo: “São usadas somente seqüências de caracteres de texto sem cabeçalho. A monitoração dos erros é feita através de transmissão relacionada à paridade dos caracteres individuais de 7 bits, conforme ISO 646. A monitoração de paridade é feita conforme DIN 66219 (paridade par). São usados dois tipos de mensagens (pelo mestre): Telegrama de leitura; e Telegrama de escrita...” (Manual do Inversor, 2005).

3.2. Controle de temperatura

Para se controlar a temperatura durante o ensaio da FZG a primeira necessidade observada foi como monitorar essa, para poder interferir quando necessário. Para isso verificou-se a necessidade de ter uma placa de aquisição de dados, que teria como função tratar o sinal de um sensor e envia-lo para o PC. Esta placa teria de transformar um sinal analógico captado por um sensor em um sinal digital. Foram avaliadas e desclassificadas algumas possibilidades, entre elas utilizar a placa de som

do computador descartada devido a não garantia de isolamento mínima contra ruídos, outra a placa da National Instruments descartada pelo custo elevado, outra o desenvolvimento de uma placa de aquisição específica para o projeto descartada devido à complexidade e falta de tempo para o mesmo, outra a utilização de um CLP LOGO com entrada Analógica / Digital descartada também pelo custo elevado.

A opção escolhida foi utilizar uma placa desenvolvida na PUC (Pontifícia Universidade Católica) esta tem como componente principal um microcontrolador vastamente utilizado na indústria o PIC. A comunicação entre a placa de aquisição e o PC é realizada via barramento serial através do protocolo de comunicação RS232.

O sensor utilizado é um termistor do tipo NTC (*negative temperature coefficient*). Os termistores são sensores de temperatura fabricados com materiais semicondutores e fazem parte da classificação das termoresistências. Então o que ocorre é o seguinte: o sensor NTC funciona como sendo um resistor que varia conforme a variação da temperatura, no caso quanto maior a temperatura, menor será a resistência, por isso "*NEGATIVE temperature COEFFICIENT*" (Wikipédia, a enciclopédia livre). A curva característica do NTC está representada na Figura 4, obtida a partir de dados fornecidos pela empresa *FULL GAUGE*, fabricante do sensor. A linha de tendência, que define a curva característica do sensor, é um polinômio de 5º ordem, cujo R² é igual a um e é definida pela Equação 1.

$$y = -0,0326 x^5 + 2,4507 x^4 - 74,17 x^3 + 1166,7 x^2 - 10089 x + 41557 \quad (1)$$

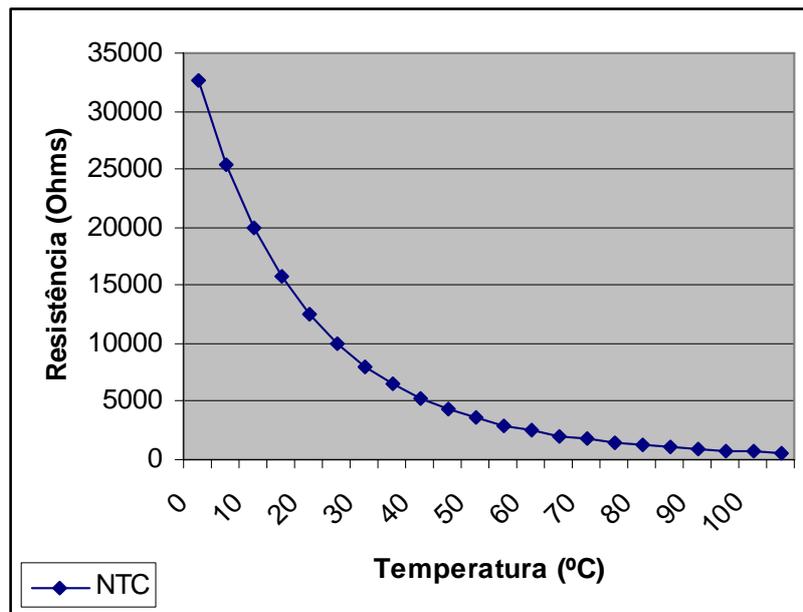


Figura 4 – Curva do sensor NTC (resistência x temperatura) e equação

Para os testes preliminares do controle da resistência elétrica, responsável pelo aquecimento do lubrificante, foi utilizado um circuito eletrônico amplamente difundido na rede internacional de computadores e montado provisoriamente em protoboard, conforme esquema da Figura 5. O controle da resistência é feita de forma discreta e o meio de comunicação utilizado com o PC é a porta paralela DB-25. Este sistema foi escolhido devido ao seu baixo custo e pela facilidade de construção.

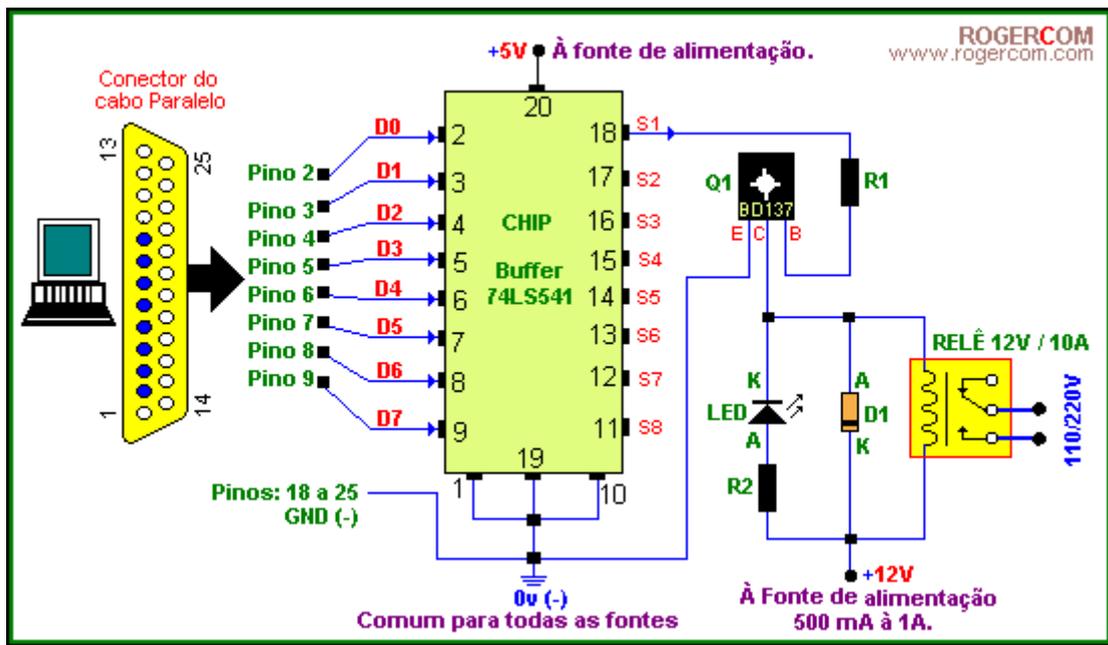


Figura 5 – Esquema elétrico do circuito que controla a resistência que aquece o lubrificante, fonte: <http://www.rogercom.com/pparalela/Projeto2.GIF>

4. RESULTADOS

Durante o desenvolvimento do sistema de controle e monitoramento, obtiveram-se os seguintes resultados:

4.1 Controle de rotação

A parametrização do inversor foi feita a partir de um exemplo pré-montado pelo próprio *LabView*, que permite a comunicação com a porta serial COM1. A Figura 6 mostra o “painel frontal” deste exemplo que é onde se escreve tanto o telegrama de escrita, quanto o telegrama de leitura. A Figura 7 mostra o “Diagrama em Bloco” que descreve o painel frontal. Este tipo de diagrama é a base da linguagem de programação utilizada pelo *LabView*.

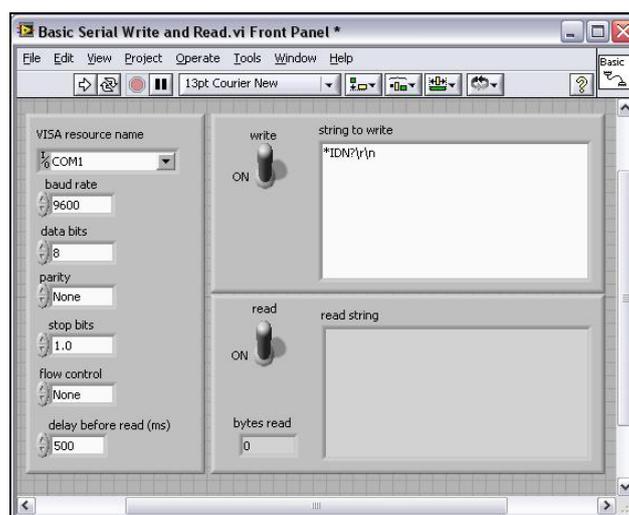


Figura 6 – Exemplo de painel virtual, para escrita e leitura através porta serial.

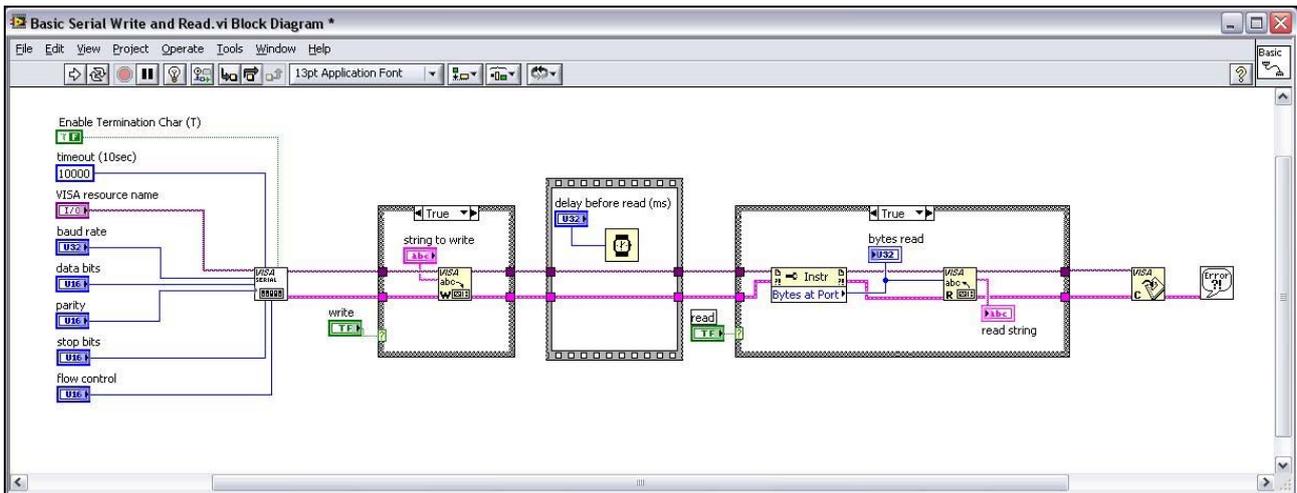


Figura 7 – Diagrama em bloco que descreve o painel virtual, para escrita e leitura através porta serial.

4.2. Controle de temperatura

A instrumentação virtual proporcionada pelo *LabView* permite ler-se diretamente os dados transmitidos pela placa de aquisição que também chega ao computador através de uma porta serial, a COM2, estes dados traduzem exatamente a resistência do sensor no dado momento em que é transmitido, este valor deve substituir o valor de “x” na Equação 1, posteriormente o resultado deve substituir “x” da Equação 2. As Figuras 8 e 9 representam justamente a aplicação das Equações 1 e 2 no *LabView*.

$$y' = 5 x' - 5 \tag{2}$$

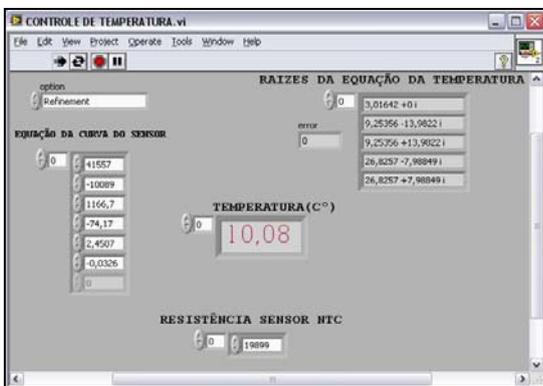


Figura 8 – Painel virtual de indicação da Temperatura

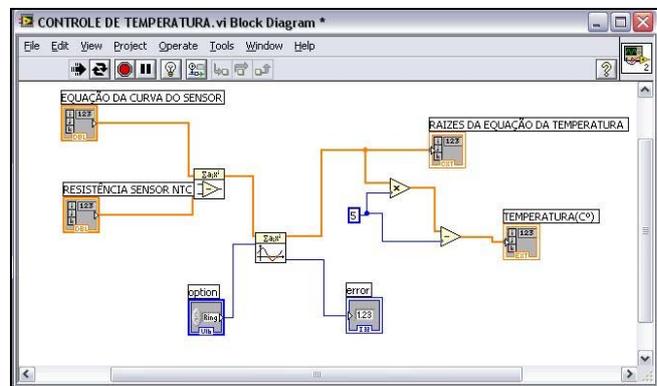


Figura 9 – Diagrama de Blocos Labview Temperatura

5. CONCLUSÕES

Para finalizar, conclui-se que os resultados preliminares estão satisfatórios, ao considerar que se conseguiu um avanço significativo rumo à autonomia efetiva do equipamento FZG-LASC, ou seja, a supervisão *full time* agora é de responsabilidade do PC, cabendo ao usuário a análise dos resultados finais que são os que realmente importam.

Vale ressaltar que os ensaios de fadiga de contato realizados no equipamento FZG-LASC são relativamente longos (~ 14 horas ininterruptas) e neste sentido o monitoramento e controle deste equipamento maximiza a capacidade de trabalho do operador, pois este pode se dedicar á outras atividades durante o período em que os ensaios estão sendo realizados.

Destaca-se ainda que o progresso alcançado com este projeto foi conseguido com custos relativamente baixos, o que indica uma quebra benéfica de um paradigma comumente citado no meio industrial, no qual se considera onerosa a implementação do processo de controle e automação de equipamentos.

6. AGRADECIMENTO

Agradecemos aos amigos (professores e colegas de projeto) pela orientação e apoio nesta jornada.

Aos laboratórios LABIC e LASC, pela disponibilidade de recursos e oportunidades oferecidas.

A WEG motores pela doação do inversor de frequência.

A Wieser & Pichler Ltda e Fundições Tupy Ltda pela construção e doação da máquina FZG - LASC.

A PUC PR e ao Amigo Erick Silva pelo auxílio e apoio imprescindível prestado no desenvolvimento desse trabalho.

Aos Departamentos de Eletrônica e Eletro-técnica que através de seus professores deram-nos o suporte necessário para concluirmos esse projeto.

Ao DAMEC, UTFPR pelas condições oferecidas.

A nossa família que pacientemente apoio-nos até o fim.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização desse desafio.

7. REFERÊNCIAS

Diniz, P.S.R., Silva, E.A.B. and Netto, S.L.P., 2004, “Processamento Digital de Sinais: Projeto e Análise de Sistemas”. Bookman, Porto Alegre, Brazil.

<http://www.rogercom.com/pparalela/Projeto2.GIF>, acessado em: 12 de junho de 2007.

Regazzi, R.D., Pereira, P.S. and Silva Jr, M.F., “Soluções de Instrumentação e Automação: Utilizando a Programação Gráfica LabVIEW”. 3R.KWG, Rio de Janeiro, Brazil.

Silveira, P., and Santos, W., 2007, “Automação e Controle Discreto”. Editora Érica, São Paulo, Brazil.

Santos, T.M. dos, Koda, F. and Silva, C.H. da, 2006, “Desenvolvimento de Equipamento para Estudo do Fenômeno de Fadiga de Contato Utilizando Sistemas Tribológicos com Engrenagens”, 11º Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brazil.

Weg, 2005, “Manual do Usuário: Inversores de Frequência, CFW-09”. Brazil.

Wikipédia: A Enciclopédia Livre, <http://pt.wikipedia.org/wiki/NTC>, acessado em: 13 de Junho de 2007.

DEVELOPMENT OF A MONITORATION AND CONTROL SYSTEM OF AN EQUIPMENT TO SIMULATE CONTACT FATIGUE IN GEARS – PRELIMINARY RESULTS

Rubens Alan Jacomel de Mattos

Federal University of Technology - Paraná,
Av. Sete de Setembro, 3165. Rebouças. Curitiba, PR.
rubens.alan@uol.com

Rodolfo Reinaldo Stebner

rodolfostebner@yahoo.com.br

Samuel Soares Ansay

ansay@utfpr.edu.br

Carlos Henrique da Silva

carloshs@utfpr.edu.br

Abstract: *The aim of this paper is to implement the automation and control of an equipment to simulate contact fatigue, using spur gears as bodies of test, named FZG-LASC. This machine was projected and built by the LASC (Laboratório de Superfícies e Contato – Contact and Surfaces Laboratory) team from UTFPR (Universidade Federal Tecnológica do Paraná). This equipment, initially projected with pure electromechanical concepts, was conceived expecting this post-project. Therefore, a graphic interface between man and machine was created consisting in a panel simulator to monitor and control the machine using a personal computer. This was only possible after the development of a signal conditioning and a data acquisition system that permits communication between the machine and a computer. This simulator consists in an interactive software created in LabView platform, that allows the user to follow up the test as well as define and /or act in its specific parameters like effective time of test, lubricant oil temperature and axle rotation. The applied resources makes possible the creation of a data bank that allows through time an easier comparative analysis with the information provided by test's parameters. Finally, a precise curve of acquired values variations is generated, what it will go to guarantee the validation of the experiment.*

Keywords: *Automation, Control, Interface, Tribology, Gear.*