

Controle e Automação de um Protótipo Metroferroviário

Daniel de Oliveira Gatto¹; Danilo Martins²; Eric Arima Machado³; Samir Mazzer Chuffi⁴

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Brincalepe Campo.

^{1,2,3,4} Graduandos do Curso de Engenharia Elétrica, Ênfase Eletrônica, da USJT, turma de 2005.

e-mail¹: daniel_gatto@yahoo.com.br ; e-mail²: danilo.martins@transport.alstom.com ; e-mail³: eric.arima@ig.com.br.

e-mail⁴: schuffi@trixtec.com.br.

Resumo – Com o crescimento populacional, torna-se cada vez mais importante um sistema de transporte rápido e eficaz. O controle automático de trens é uma necessidade nos dias de hoje para otimizar as viagens proporcionando conforto e segurança. Entre os sistemas de controle existentes, o mais difundido é baseado no conceito de intertravamento por blocos para garantir a segurança do processo, não sendo a melhor solução para o controle em termos de desempenho. Desenvolver um sistema que utiliza uma rede de aquisição e transmissão de dados, permitindo o controle e automação metroferroviária em tempo real é a proposta de nosso projeto que tem por intuito otimizar as viagens permitindo um grande aumento na demanda de trens com segurança, eficiência e rapidez. Utilizamos para isto um software supervisor desenvolvido na plataforma LabVIEW, uma placa de aquisição de sinais e circuitos eletrônicos dedicados ao controle individual de cada trem conforme o comando. Através de testes e simulações verificamos o alcance do objetivo proposto e acreditamos que num futuro próximo esta idéia possa ser utilizada para que tenhamos um transporte mais eficiente.

Palavras-chave: Trens; Sensores; LabVIEW; Automatização.

Abstract – *With the population growth, an efficient and fast transport system is increasingly important. The automatic control of trains is a necessity in order to optimize the train journeys nowadays. Currently, the control is made by blocks which guarantee the safety of the process; however, it is not the best solution for the performance of train control. Developing a system which uses an external card capable of sending and receiving data, giving us the control and automation of trains in real time, is the proposal of our project. Our intention is to optimize the trips allowing for a relevant increase in the demand of trains with security, efficiency, and speed. To that end, we have used a supervisory software developed on the LabVIEW platform, a dedicated external signal acquisition card and electronic circuits for the individual control of each train. Through tests and simulation we have verified the achievement of the proposed goal and we believe that in the near future this idea can be used, to provide us with more efficient transportation.*

Key-words: Trains; Sensors; LabVIEW; Automatization.

Introdução

As ferrovias já contam com alcance intercontinental, representam componentes importantes do sistema de transporte global, movimentando com eficiência uma quantidade enorme de mercadorias e um grande número de passageiros, e servindo para complementar a conexão entre outros meios de transporte.

Com o crescimento populacional se concentrando nos grandes centros urbanos, a cada dia se faz mais

necessário um sistema de transporte rápido e eficaz, e ao mesmo tempo seguro e confiável.

A modernização da tecnologia metroferroviária mantém a promessa de que as ferrovias entregarão ainda mais valores nos anos vindouros, aumentando a lucratividade com o aproveitamento de toda a base já instalada. Os usuários de transportes de todo o mundo exigem cada vez mais velocidade, confiabilidade, capacidade e eficiência. O controle automático de trens e os sistemas de gerenciamento

de ferrovias visam a continuamente suprir estas exigências.

Pensando neste propósito e devido à necessidade de melhorar o transporte público, planejamos a criação de um sistema de gerenciamento e controle de tráfego dinâmico utilizando o controle em tempo real.

Atualmente o controle automático dos trens mais usual possui como base a filosofia de intertravamento por blocos, onde se permite que o trem avance para um bloco livre, com a velocidade especificada para este bloco. A via é dividida em vários blocos com uma identificação de códigos de velocidade em cada bloco, na qual se permite ou não a movimentação dos trens, conforme a disponibilidade do bloco. Com o controle em tempo real de toda a circulação dos trens nas vias, é possível otimizar as viagens permitindo um grande aumento na demanda de trens com segurança, eficiência e rapidez.

A proposta de nosso projeto consiste no controle de posição e velocidade dos trens em tempo real regulando a demanda de trens em metroferrovias, reduzindo custos, e otimizando as viagens, transformando-o num sistema de transporte mais eficaz e de maior capacidade.

Elaboração do projeto

O projeto tem como propósito o controle de velocidade e posicionamento de trens, elevando a demanda e regulando a distância entre eles. O sistema é composto por um instrumento virtual de controle. Neste instrumento implementamos um sistema de supervisão para armazenar as informações de velocidade e posição dos trens provenientes dos sensores ópticos. Este sistema informa o controlador de trens que por sua vez calcula os dados processando a ação para o sistema central de controle. Este irá enviar o sinal modulado em amplitude para a placa de interface e desta para os trilhos. O sistema central de controle também proporciona o controle dos aparelhos de mudança de vias e rotas, através do software desenvolvido na plataforma do LabVIEW e da placa de aquisição com geração de sinal analógico e captação dos sinais de entradas digitais.

Além do software (LabVIEW) e da placa de aquisição de sinais (DAQ), utilizamos circuitos eletrônicos para solucionar a nossa aplicação.

Para a transmissão dos sinais de controle utilizamos os trilhos como meio, e cada trem possui um circuito eletrônico dedicado, capaz de identificar o sinal enviado através dos trilhos e validar a informação pertinente a este trem.

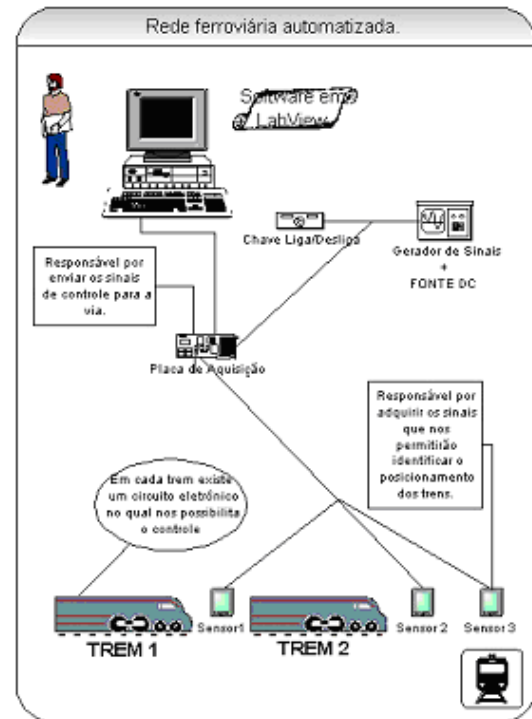


Fig. 1 – Representação do Sistema.

O software projetado com LabVIEW realiza os cálculos de velocidade. Com a aplicação de sensores ópticos instalados na via. É feita a medição do tempo em que o trem aciona cada sensor. Dado o comprimento da composição do trem e o tempo medido, o software calcula a velocidade do trem. A velocidade calculada é utilizada para verificar se a velocidade real é a velocidade de objetivo do trem, ou se a posição do trem é a desejada neste instante. Automaticamente, com a realimentação deste sistema, o software é capaz de controlar o tráfego dos trens na malha metroferroviária.

O instrumento virtual projetado no LabVIEW foi capaz de gerar dois sinais analógicos modulados em amplitude e multiplexados em frequência resultando em um único sinal controlado e com fidelidade e confiabilidade que facilitou todo o desenvolvimento do projeto de hardware para interface com os trens.

Os circuitos de interface bem como os circuitos eletrônicos embarcados utilizam uma fonte de alimentação DC externa, estando o sinal analógico proveniente do LabVIEW adicionado à alimentação DC.

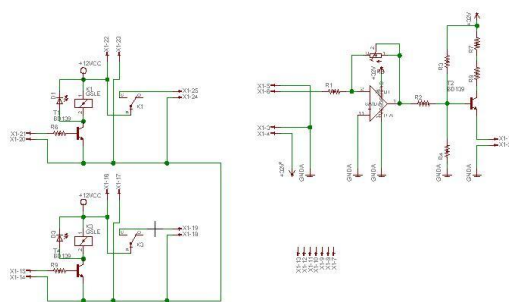


Fig. 2 – Esquemático de interface entre o LabVIEW e os trens, e chaves de desvios.

Os sensores utilizados foram foto-transistores e foto-diodos com aplicação típica de “encoder’s”, com função de identificar o posicionamento dos trens na via. Para esta aplicação estes sensores possuem alta fidelidade e atendem perfeitamente a relação custo/benefício.

Os trens possuem um Motor DC de 15V/500mA, e para termos o controle independente dos trens, desenvolvemos um sistema eletrônico capaz de controlá-los, denominado de ATC de bordo (Automatic Train Control).

O sinal capturado pelo trem nos trilhos é aplicado num filtro passa faixa do tipo RC (fc1: 27Hz) montado em um dos trens. No caso do segundo trem o filtro tem banda passante entre 200Hz a 450Hz. Assim, sintonizados os filtros, o sistema é capaz de transmitir a informação necessária para cada trem simultaneamente, atendendo o objetivo de identificar o sinal de controle de cada trem.

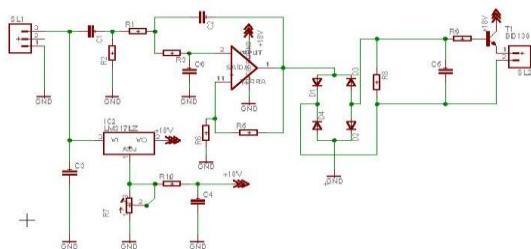


Fig. 3 – Esquemático do ATC. Sistema embarcado do primeiro trem.

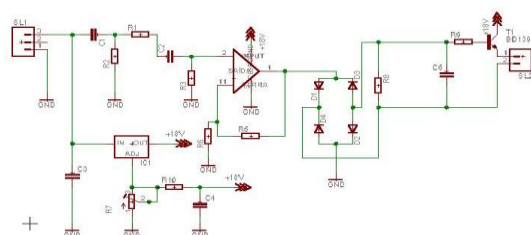


Fig. 4 – Esquemático do ATC. Sistema embarcado do segundo trem.

Devido à plataforma LabVIEW não proporcionar um sinal analógico amostrado com amplitude suficiente para o acionamento do trem, projetamos um circuito analógico entre nossa ferramenta de controle (LabVIEW) e o sistema controlado (Trens). Este circuito aplica um ganho de ordem 4, suficiente para os nossos propósitos. Em vista disto, utilizamos o amplificador operacional LM324. O sinal amplificado passa imediatamente por uma ponte retificadora (Diodos 1N4148) e é estabilizado através de capacitores eletrolíticos.

Por fim temos o amplificador de potência, necessário para conseguirmos a potência desejada no acionamento do motor DC. Projetamos um estágio de potência com transistor BD135, que é suficiente para termos o controle desejado do motor.

Projeto do Compensador

Utilizamos a ferramenta MATLAB para projeto do compensador, e o primeiro passo realizado foi o levantamento do comportamento do trem. Nesta fase aplicamos os possíveis sinais de entrada no sistema para analisarmos o comportamento dos trens. A curva de resposta dos trens apresentamos a seguir:

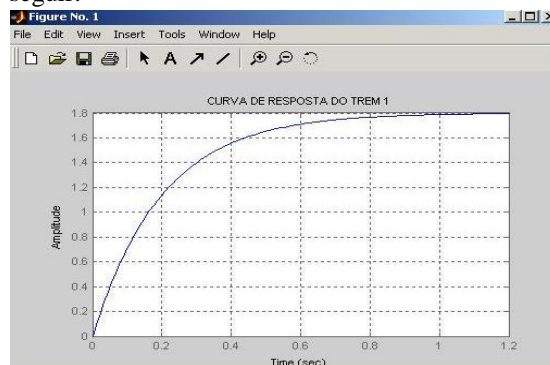


Fig. 5 – Curva de Resposta do Trem 1.

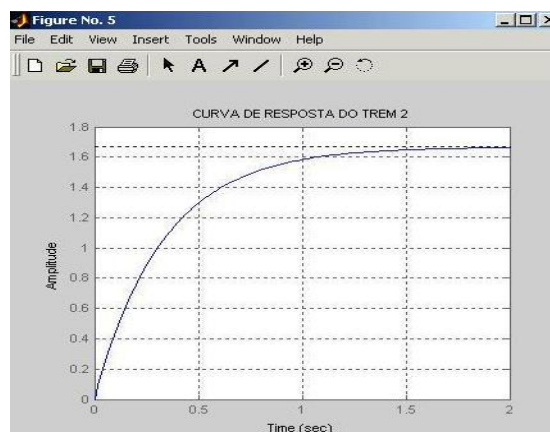


Fig. 6 – Curva de Resposta do Trem 2.

O projeto do compensador de ganho **proporcional**, com função de transferência em malha aberta $(0,04286s+0,2143)/(s+5,386)$, no MATLAB obteve o seguinte comportamento:

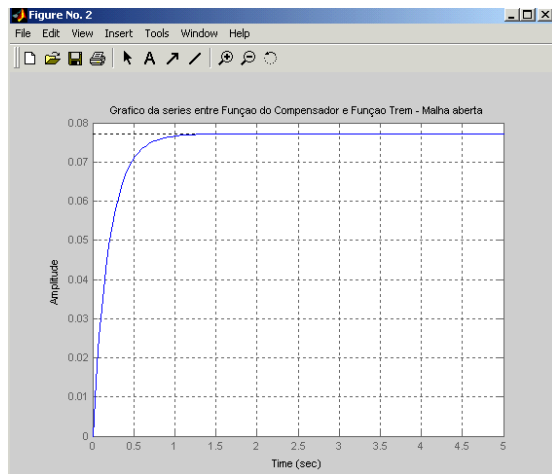


Fig. 7 – Atuação do Compensador.

Por fim o Mapa de Pólos em malha aberta para $K=1/23$:

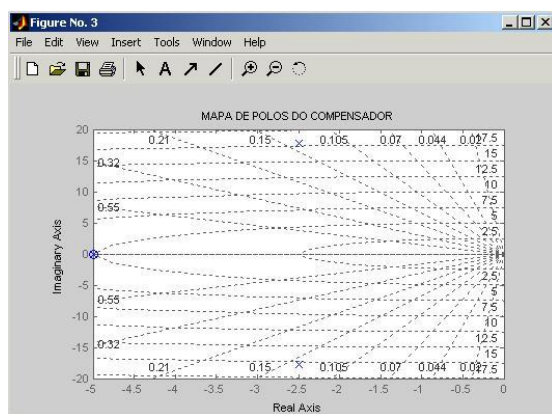


Fig. 8 – Pólos do Compensador.

Curva Característica do Trem

Através de medições realizadas na planta do sistema, obtivemos a função de transferência dos trens, a qual fora implementada no sistema realimentado.

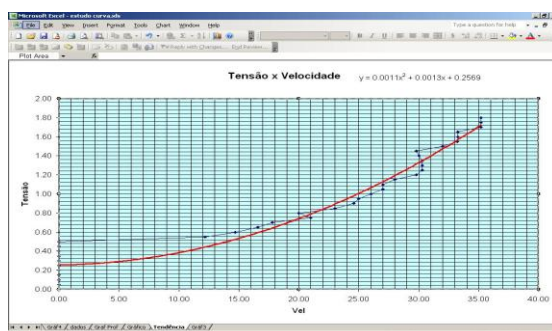


Fig. 9 – Tensão X Velocidade.

Maquete de Trens (Planta do Sistema)

Para o desenvolvimento da maquete adquirimos um kit de fabricação nacional e com este realizamos uma montagem que proporcionou a visualização prática e validação do modelo.



Fig. 10 – Protótipo.

Software

O instrumento virtual desenvolvido no LabVIEW conta com uma IHM (Interface Homem-Máquina) de fácil operação. Nesta interface é possível controlar tanto a via (aparelhos de mudança de via) quanto os trens (redução/aumento de velocidade). Toda a lógica de controle está no instrumento, e com o auxílio dos gráficos é possível supervisionar os comandos executados pelo instrumento.

Para esta implementação, utilizamos entre outros o contador “Time Elapsed” que permitiu a solução simples e rápida para o problema do cálculo de velocidade dos trens. Uma outra vantagem é a utilização das saídas digitais e analógicas da DAQ que permite a comunicação entre o instrumento e o trem, tornando o sistema interativo.

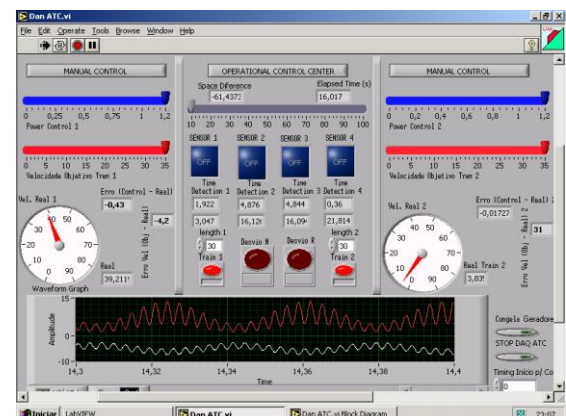


Fig. 11 – Interface do sistema de controle.

Toda a lógica de controle e funcionamento do sistema desenvolvido no LabVIEW está baseado

em lógica booleana (And, Or) com funções características da linguagem C (If, Else). Implementamos também um circuito digital (flip-flop mestre-escravo) para solucionar o problema de medição de sinais através dos sensores. Para contagem inicial do tempo adotamos a borda de descida do sinal no sensor provocada pelo primeiro vagão do trem ao passar completamente pelo sensor e finalizamos a contagem do tempo quando ocorrer a borda de descida do sinal no sensor provocada pelo último vagão da composição.

O sistema compara, a cada informação de velocidade enviada pelos sensores, se a velocidade atual do trem é a velocidade objetivo neste instante e, dessa forma, realiza as devidas correções. Cada trem está realimentado com as informações dos sensores, e como a comunicação entre os trens é comum (trilhos), e os sensores também, implementamos com circuitos digitais no LabVIEW uma lógica que reconhece os trens sabendo a condição inicial da posição.

Com o controle de velocidade de cada trem, é possível controlar a distância entre os trens alterando os valores de velocidade. Na tela de Interface Homem-Máquina é possível estabelecer a velocidade desejada em cada trem e a distância mínima entre eles. Assim temos o controle de velocidade e posição com segurança. Esta interatividade permite ao operador o total controle do sistema, atualizando os comandos de acordo com a necessidade operacional do sistema, este ajuste simples é responsável pela otimização de resposta que torna o sistema de fácil operação.

A modulação em amplitude multiplexada em frequência também é gerada através do software LabVIEW. Este método foi implementado adicionando-se ao sinal DC outros dois sinais de controle, um para cada trem, com frequências de 27Hz para o trem 1 e 317Hz para o trem 2. Atendendo a especificação de cada um dos filtros, a transmissão deste sinal analógico é realizada com amostras, sendo que, para termos uma qualidade aceitável neste projeto, utilizamos 10kHz para a taxa de amostragem do sinal, resultando em uma taxa 31,5 vezes maior que o sinal fundamental, satisfazendo o teorema da amostragem.

O comando dos aparelhos de mudança de via está implementado em uma saída digital e, o nível do sinal alto (bit 1) resulta em movimentação do aparelho. Cada sentido (esquerdo ou direito) possui uma saída digital não sendo possível o acionamento simultâneo.

Materiais e Métodos

Para executarmos o projeto em questão foram necessários:

Protótipo Metroferroviário

- Conjunto de vias, com curvas e retas, totalizando aproximadamente 6,00 metros de pista (perímetro);
- Três trens usados em ferromodelismo, de fabricação da empresa Frastechi, com motor DC (0~15VDC);
- Vagões em miniatura;
- Kit de desvio central para simulação de parada de trens;
- Fonte de alimentação de 0 a 15 VDC.

Sensores Ópticos

- Foto-transistor;
- Foto-diodo;
- Resistores;
- Wire-up.

National Instruments

- Placa de aquisição, modelo CB-68LP;
- Software LabVIEW, versão 7.1.

Amplificador de Potência

- Resistores;
- Diodo;
- Amp. Op LM324N;
- Transistor BD137;
- Regulador de Tensão variável LM317 (0~24VDC);
- Fonte de alimentação;
- Trimpot;
- Wire-up.

Filtro Passa Baixa e Passa-Faixa

- Capacitores;
- Resistores;
- Diodo de resposta rápida;
- Amp. Op LM324N;
- Wire-up.

Considerações Finais

Este trabalho foi de muita importância para exercermos a nossa criatividade e também o trabalho em grupo, em que as tarefas foram divididas por todos os componentes de forma que todos pudessem ter interatividade e comprometimento com o projeto. O software LabVIEW permitiu uma grande redução no tempo de execução do projeto já que contempla tanto a parte visual gráfica de IHM (interface Homem-Máquina) como a parte de controle.

O projeto demonstra as técnicas de controle de velocidade e posição, aliando a aplicação da eletrônica digital (software) e eletrônica analógica (placa de interface, filtros, amplificadores, etc). A união de todo o processo e o seu desenvolvimento nos exigiu todo o aprendizado dos seis anos do curso.

Discussão e Conclusões

Através de vários testes e simulações conseguimos alcançar o objetivo proposto, a otimização do sistema metroferroviário, utilizando um controle em tempo real que garante uma distância controlada entre os trens, obtendo uma melhor performance se comparado com o atual tipo de controle utilizado. Acreditamos que esta idéia possa ser utilizada num futuro próximo, garantindo dessa forma um transporte mais rápido, seguro e confiável, ou seja, um transporte mais eficiente.

As técnicas de modulação de sinais apresentadas no curso foram eficazes para a solução do problema de comunicação entre sistema e trem através dos trilhos, todavia, se tivéssemos utilizado o sistema de comunicação RF (Rádio-Frequência), este problema seria facilmente solucionado, pois adotaríamos um SDK (Kit de Desenvolvimento de Software), o qual já nos disponibilizaria toda a infra-estrutura, restando apenas a configuração do sistema supervisorio.

Analisando o resultado final, também podemos concluir que para melhor controle de velocidade dos trens o mais adequado seria utilizar um trem microcontrolado, em que fosse possível controlar linearmente a velocidade do trem.

No entanto, a nossa decisão foi tomada para proporcionar maior aprendizado com o desenvolvimento de todo o sistema, desde os filtros analógicos até o software IHM, além do baixo custo e simplicidade na sua implementação.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Alexandre Brincalepe Campo somos muito agradecidos pela grande oportunidade de mostrar nossa criatividade e competência para projetar e construir este sistema, através do trabalho em equipe em que obtivemos sucessos em todas as etapas.

Bibliografia:

1. Documentação National Instruments – LabVIEW;
2. Microeletrônica – Volume Único – Sedra, Adel S. / MAKRON BOOKS – 4º Ed
3. Alstom Transport Information Solutions www.alstom.com.
4. Lionel SD50 Diesel Locomotive Owner's Manual – Código 71-8221-250, 1995;
5. Manual de Instrução Frateschi – Trens Elétricos;
6. Perspectivas Econômicas – Volume 5 - Número 3 – Publicação Eletrônica do Departamento de Estado dos Estados Unidos