

19ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

TEMA – SIMULAÇÃO ELÉTRICA DE TRAÇÃO FERROVIÁRIA

TÍTULO – ESTUDO DE CASO DE CARREGAMENTO DO SISTEMA ELÉTRICO DE TRAÇÃO
DA LINHA 9 – ESMERALDA

OBJETIVO

O objetivo do presente estudo é desenvolver uma nova metodologia de simulação elétrica que permita uma análise rápida das diferentes situações de carga, possibilitando um melhor ajuste das proteções, bem como a compreensão das situações limites de suportabilidade de alguns componentes. Este novo método é baseado em informações obtidas através de medições de campo e não depende de informações de características civis da via e mecânicas dos trens para realizar uma simulação do sistema de alimentação elétrica da tração, possibilitando a análise de cenários operacionais futuros e/ou de contingência.

Para tal foi escolhida a Linha 09 – Esmeralda da CPTM, que conforme apresentado, encontrasse em situação crítica.

RELEVÂNCIA

A Linha 9 – Esmeralda da CPTM liga as estações Osasco à Grajaú na cidade de São Paulo, perfazendo um total de 31,8 km com tempo de viagem aproximado (operação-padrão) de 42 minutos (ida e volta), em 2 (duas) vias denominadas V1S (Osasco para Grajaú) e V2S (Grajaú para Osasco).

Esta Linha possui 18 estações: Osasco, Presidente Altino, Ceasa, Villa-Lobos/Jaguaré, Cidade Universitária, Pinheiros, Hebraica-Rebouças, Cidade Jardim, Vila Olímpia, Berrini, Morumbi, Granja Julieta, Santo Amaro, Socorro, Jurubatuba, Autódromo, Primavera-Interlagos e Grajaú.

A Linha 9 – Esmeralda funciona entre 04h00 e 24h00. Nos sábados, a operação inicia às 04h00, e se encerra às 01h00 do domingo. Atualmente, nos dias úteis, a CPTM pratica operações diferenciadas em horários de vale e pico específicos. Os horários de vale da CPTM compreendem os períodos das 04h00 às 06h00; das 08h45 às 16h45 e das 19h40 às 24h00 onde o “headway” (intervalo entre trens) está entre 07min e 08min. Os horários de pico ou “rush” compreendem os períodos das 06h00 às 08h45 e das 16h45 às 19h40 onde o “headway” médio é inferior a 4 minutos. Também é adotada a estratégia de “looping interno” entre as estações Pinheiros e Jurubatuba, para atendimento do trecho de maior demanda da linha.

A demanda média de passageiros transportados em dias úteis sofreu aumento de aproximadamente 60% entre o fim de 2010 e o fim de 2011.

Este aumento, já esperado, foi causado principalmente pelo início da operação da Linha 4 – Amarela do Metro e integração com a CPTM na estação Pinheiros. Para o atendimento desta demanda, a CPTM aumentou para 08 o número de carros dos trens e vem diminuindo o intervalo entre trens para atuais 04 minutos no horário de pico, visando os 03 minutos do Plano de Expansão do Governo do Estado de São Paulo.

Este fato provocou o aumento do número de ocorrências de aberturas dos disjuntores de

alimentação da rede aérea, e conseqüente necessidade de aumento da calibração destes disjuntores. Este fato evidenciou que a CPTM não possuía uma ferramenta que auxiliasse a determinar para que valor a calibração destes disjuntores devesse ser alterada. Surgiu então a necessidade de executar este estudo sem a necessidade de ferramentas complexas existentes no mercado hoje, que demandam de enorme número de informações de campo e demandam muito tempo para a sua implementação.

DESCRIÇÃO

Motivada pela atual conjuntura operacional da Linha 9 da CPTM objetivou-se criar um modelo para simulação dos sistemas de tração elétrica ferroviária, eliminando preliminarmente os resultados obtidos das simulações de marcha e de tráfego dos trens, concentrando os esforços nos resultados obtidos da simulação elétrica.

Inicialmente foi concebido um modelo para as instalações fixas e móveis presentes, ou seja, as subestações de tração (representadas por uma fonte de tensão em série com a sua respectiva resistência equivalente R_{SE}), as cabines de seccionamento e/ou paralelismo (representadas por um curto-circuito entre vias), os trens (representados por fontes de corrente) e as redes aéreas de tração e circuitos de retorno (representadas por resistências equivalentes e calculadas de acordo com as posições quilométricas das subestações, cabines de seccionamento e/ou paralelismo e trens), resultando em um circuito equivalente.

O modelamento proposto neste trabalho se baseou em experiências e desenvolvimentos anteriores, aliados a literaturas consolidadas.

Para tomada do parâmetro do trem (representado por uma fonte de corrente junto ao circuito equivalente) foi realizada a instrumentação de um “trem-teste”, que foi base e referência de velocidade, espaço percorrido, tempo e, principalmente ampacidade, para os demais trens não instrumentados. A proposição fundamental deste modelo estava centrada em “tomar” os parâmetros elétricos do “trem-teste” (tal como a corrente absorvida pelo motor ou injetada na rede – em caso de regeneração, posição, velocidade e tempo) e referi-los para os demais trens distribuídos ao longo do trecho da Linha 9, de acordo com seu posicionamento.

As tensões e resistências equivalentes R_{SE} das subestações retificadoras foram medidas em campo e calculadas de acordo com a literatura de referência. Da mesma maneira foram calculadas as resistências por quilômetro da rede aérea de tração e do circuito de retorno em relação às instalações fixas e móveis presentes, utilizando todas as equações de referência da

área de circuitos elétricos aplicadas à ferrovia.

Com estas informações reunidas, posteriormente foi possível escolher a “foto” do sistema de tração em determinado trecho e instante de tempo, que seriam fundamentais para confecção do circuito elétrico equivalente de simulação.

A simulação elétrica é realizada montando-se o circuito equivalente a cada instante de tempo (“fotografia”) do sistema de tração. Esta “fotografia” deverá considerar a localização física real (posição quilométrica) das subestações, cabines de seccionamento e/ou paralelismo e a localização física aproximada dos trens metropolitanos. A posição quilométrica destas instalações e veículos é fundamental para melhor equacionamento das quedas de tensão ao longo da rede aérea de tração e do trilho, representadas pelas resistências quando da passagem das correntes de linha e de retorno, respectivamente.

Este circuito equivalente seria base para verificação da aplicabilidade do modelo proposto, com a utilização de um software elétrico dedicado (PSIM 6.0) para análise, geração de resultados e gráficos pertinentes. A principal variável em incógnita, descoberta com a simulação do circuito equivalente pelo software PSIM 6.0, foi a corrente fornecida pelas subestações retificadoras presentes.

Estas correntes simuladas foram comparadas com as correntes medidas em campo, uma vez que as subestações retificadoras foram instrumentadas para coleta de grandezas elétricas (tensão e corrente), que foram caracterizadas como valores padrões.

Os resultados apresentados pelo software PSIM 6.0 em comparação com os valores padrões obtidos a partir de registradores/oscilógrafos instalados nas subestações, não somente validaram o modelo proposto, como também, após a verificação da aplicabilidade, propiciaram a criação de cenários em condições futuras, com sistemas elétricos em situações normais e de degradação, retornando resultados extremamente relevantes para análise da atual e futura conjuntura do sistema de suprimento de energia da Linha 9 – Esmeralda.

Neste sentido, o presente trabalho proporcionou um melhor ajuste dos parâmetros das proteções das subestações retificadoras, representados pelos disjuntores de 3000V_{CC}, com posterior melhoria no desempenho da operacionalidade dos trens metropolitanos, retratadas através da maximização de indicadores, tais como regularidade e confiabilidade.

Dentro dos cenários concebidos, possibilitou-se verificar, por exemplo, que em determinada situação operacional, com a implantação das futuras subestações retificadoras de Cidade Jardim e Socorro seria possível realizar uma regular circulação de trens com intervalo entre trens (headway) de 03 minutos.

RODRIGO TADEU BERNARDES

Graduado em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (2003), pós-graduação "lato-sensu" pela USP-Fundação Carlos Alberto Vanzolini em Administração Industrial e pós-graduação "lato-sensu" pelo PECE-POLI da USP na área de Tecnologia Metroferroviária. Atualmente é engenheiro de manutenção sênior da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), admissão em MAR/2006. Tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em sistemas de potência, atuando principalmente na área de subestações retificadoras; redes de alta, média e baixa tensão e distribuição elétrica.

ALBERTH JOSÉ SILVA SOUTO

Graduado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-Minas (2004), pós-graduação "lato-sensu" pela Fundação Educacional Inaciana – FEI em Gerenciamento da Manutenção e pós-graduação "lato-sensu" pelo PECE-POLI da USP na área de Tecnologia Metroferroviária. Atualmente é engenheiro de manutenção sênior da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), admissão em MAR/2006. Tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em sistemas de potência, atuando na área de subestações retificadoras, rede aérea de tração, distribuição e transmissão de energia, além de sistemas de baixa e média tensão.