

Sistema Alternativo De Medição De Posição De Máquinas De Pátio Utilizando Cálculo Diferencial e Integral

Aline F. Bianco¹

Marina Souza²

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Araxá, MG

Resumo. Este trabalho propõe uma solução alternativa para o problema de medição de posição em máquinas de pátio. Considerando o método convencional, através da utilização de *encoders*, nesta pesquisa será desenvolvido um sistema para monitoramento da posição instantânea das máquinas de pátio do tipo retomadora, o qual se utiliza da integração da função velocidade para se obter a função posição. Assim, a partir dos gráficos de velocidade apresentados na saída dos inversores de frequência que comandam os motores responsáveis pelo movimento de avanço, torna-se possível saber a posição exata da máquina de pátio no momento t analisado.

Palavras-chave. Máquinas de pátio, retomadora, sensoramento, *encoders*, inversores de frequência, cálculo diferencial e integral.

1 Introdução

O setor industrial demanda de maneira crescente equipamentos e ferramentas capazes de atender as necessidades dos processos produtivos, assim como rigorosos critérios de qualidade, confiabilidade e segurança. Essas necessidades têm contribuído com o crescimento do mercado da indústria de base e, conseqüentemente, com o desenvolvimento de técnicas de alta tecnologia capazes de agregar qualidade ao maquinário.

Máquinas de pátio, ilustradas na figura 1, são equipamentos amplamente utilizados em empilhamento, recuperação e estocagem, sendo que sua aplicação é mais evidente em áreas de mineração e portuárias. As máquinas de pátio muitas vezes são chamadas de empilhadeiras, recuperadoras ou retomadoras, dependendo do seu tipo de aplicação. Dentre elas, podem ser destacadas as retomadoras, cuja utilização é bastante difundida na indústria mundial. Em vista dessa importância, o presente trabalho, busca sanar algumas das dificuldades encontradas em um cenário específico.

Em mineradoras, as máquinas de pátio são empregadas para homogeneização do minério que não se apresenta distribuído uniformemente no solo [1]. Ou seja, cada frente de lavra pode apresentar características minerais, como porcentagem de composição e densidade completamente diferentes, o que pode comprometer o tratamento desse mineral ou da

¹afbianco@araxa.cefetmg.br

²marina.souza@valefert.com



Figura 1: Exemplos de máquinas de pátio.

Fonte: TKFLA [8].

estrutura de processo utilizada para seu beneficiamento. Nessa medida, para homogeneização de minério são utilizadas empilhadeiras e retomadoras, sendo que a primeira distribui o material em uma área delimitada, misturando diferentes frentes de lavra e formado uma pilha, que é retomada pela segunda, e segue para as próximas fases do beneficiamento com características menos discrepantes.

A figura 2 ilustra um pátio de homogeneização com uma retomadora desenvolvida e fabricada pela Isomonte [5] para uma mineradora da cidade de Araxá no estado de Minas Gerais.



Figura 2: Pátio de homogeneização, pilhas do tipo Chevron.

Fonte: Isomonte [5].

Dentro de uma mesma mina, minerais com diferentes características podem ser encontrados. Seguindo essa linha de raciocínio, em escala mundial, as diferenças podem ser multiplicadas, o que dificulta o desenvolvimento de um único modelo de máquina capaz de suprir as inúmeras demandas. Usualmente, as mineradoras desenvolvem projetos de máquinas de pátio específicos para o produto extraído em determinada mina; essas particularidades no processo geram também problemas distintos e, como consequência, mais difíceis de serem sanados.

Em vista dessas considerações, visando aprimorar o funcionamento das retomadoras, acredita-se que o sensoriamento, primordialmente necessário em uma retomadora, seria o de posicionamento. Nessa medida, conhecendo a posição da retomadora na pilha ou pátio de homogeneização, é possível automatizar a máquina em um grau mais elevado. Como exemplo, seria possível definir a velocidade do equipamento de acordo com a quantidade de minério que se deseja retomar; também seria possível controlar o desalinhamento dos eixos, o risco de colisão com a estrutura física ou com outras máquinas de pátio, entre outras aplicações.

Apesar da importância do posicionamento das retomadoras em empresas de extração mineral, as técnicas existentes para esse controle ainda são restritas. Não exclusivamente tratando das retomadoras, pode-se dizer que os *encoders* são utilizados em larga escala para posicionamento, apresentando uma gama de produtos de diferentes aplicabilidades. As várias classes e níveis de precisão fazem com que os *encoders* atendam tanto em situações onde certo nível de robustez é necessário quanto em robôs de última geração com escalas centimétricas.

Entretanto, a falta de opções de dispositivos capazes de controlar o posicionamento torna-se evidente quando se levanta as situações nas quais os *encoders* não são capazes de funcionar com o nível de confiabilidade necessário. Conforme descrito por [4], o funcionamento dos *encoders* incrementais, destacados em um esquema simplificado na figura 3, se dá através de um sensor fotoelétrico, que instalado a frente de uma fonte de luz, reconhece pontos opacos ou transparentes de um disco posicionado entre o sensor e a fonte de luz. Através da rotação desse disco, os pontos opacos e transparentes alternam-se excitando o sensor fotoelétrico, o sinal reconhecido pelo sensor é transmitido a uma placa eletrônica no *encoder*, capaz de se comunicar externamente. Grande parte dos *encoders* incrementais tem um segundo disco utilizado na determinação do sentido, ou ainda um terceiro disco para determinação de uma referência, um ponto de partida zero.

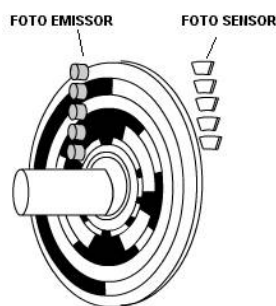


Figura 3: Estrutura simplificada de um encoder incremental.

Os pátios de homogeneização estão dentre os locais onde os *encoders* apresentam problemas de funcionamento e medidas falsas, isso ocorre devido às condições apresentadas por esse ambiente industrial. O acúmulo de poeira e minério é perceptível e acredita-se que seja o motivo das falhas apresentadas, já que, devido à poeira, um *encoder* pode não girar da maneira prevista para seu perfeito funcionamento ou, quando o componente des-

liza sobre o trilho, os pulsos são perdidos e a medida de posição fica menor que a real, o que pode comprometer o processo ou, até mesmo, causar um sério acidente.

As companhias mineradoras usualmente buscam solucionar os problemas encontrados em seu processo de beneficiamento utilizando a tecnologia disponível no mercado. No caso do posicionamento das retomadoras, como o ambiente apresenta características particulares, tornou-se inviável usar as técnicas já comercializáveis. Partindo desse fato, acredita-se que desenvolver uma nova técnica de medição de posição, específica para o cenário encontrado em pátios de homogeneização seria o ideal. Para a idealização desse novo método, foi necessário considerar os conceitos básicos de física nas áreas de mecânica e cinemática para construção de uma proposta viável que possa suprir as reais necessidades apresentadas, atingindo o objetivo principal, qual seja, solucionar o problema de medição de posição de máquinas de pátio, aplicadas em mineradoras, cujo ambiente de homogeneização inviabiliza a utilização de métodos convencionais como *encoders*.

A fim de solucionar esse problema, foi desenvolvido um método alternativo de acompanhamento e medição da posição, aplicadas em mineradoras, com acionamento por inversor de frequência.

2 Materiais e Métodos

2.1 *Encoders*

Encoders são dispositivos eletromecânicos utilizados para monitoramento de posição ou velocidade em equipamentos com partes móveis. Esses dispositivos são comercializados em diferentes tamanhos, preços e precisão, a fim de atender os diversos tipos de demanda e aplicação. Ademais, os *encoders* podem ser relativos, quando indicam apenas o deslocamento, ou seja, a diferença entre a posição final e a posição inicial; ou absolutos, quando apresentam a posição real do elemento monitorado.

Esses dispositivos funcionam como sensores a partir da contagem de pulsos gerados através do deslocamento da estrutura, ou rotação em torno de seu próprio eixo. Cada pulso representa certa distância angular percorrida, e a variação do tempo entre os pulsos indica a velocidade. O sinal digital é proveniente dos pulsos que estimulam um sensor óptico ou emissores infravermelhos, dependendo da construção do dispositivo. Quanto maior o número de pontos de medição, maior a geração de pulsos e, conseqüentemente, há um aumento na precisão dos valores medidos.

No caso das desvantagens na utilização deste tipo de elemento, destaca-se: a necessidade de uso de contador externo; possibilidade de perda de informações e dados advindos de queda de energia; leitura não precisa e inexata sob condições de ruído ou sujeira no disco óptico [4]. Outra desvantagem a ser destacada é a inviabilidade de aplicação em locais com muita poeira e material mineral acumulado, como o caso de pátios de homogeneização. Contudo, há poucas opções de produtos que desempenham a mesma função. Em vista dessa restrição, esses sensores são utilizados para verificação da posição de máquinas de pátio, no entanto, o funcionamento é comprometido devido às condições ambientais. Nesses casos, os *encoders* param de girar, deslizando sobre a estrutura, o que ocasiona a parada da geração de pulsos, provocando a indicação incorreta de posição e de velocidade. Além disso, a incrustação de minério na estrutura do elemento também gera problemas

como a perda dos sinais ópticos, mesmo quando a estrutura ainda está girando.

2.2 Inversores de Frequência

Anteriormente à década de 60, as instalações nas quais a variação de velocidade era necessária, eram principalmente executadas com motores de corrente contínua [3]. Um segundo dispositivo era utilizado para conversão de energia, que utilizava componentes mecânicos, hidráulicos ou eletromagnéticos.

Durante várias décadas, os motores de corrente contínua foram usados em situações nas quais o controle de velocidade se fazia necessário, como principal opção. Essa situação advinha da limitação tecnológica, já que, sobre esses, uma lista considerável de ônus está relacionada se comparada com os motores de corrente alternada. Comparando os dois tipos de motores, de forma geral, pode-se dizer que dentre os ônus dos motores de corrente contínua destaca-se: são mais caros, bem como suas manutenções; a vida útil é menor; a instalação física necessária para o controle de velocidade desse dispositivo é muito maior; há inúmeros pontos com possibilidade de falha; há a necessidade de retificadores e de fontes de energia mais caras; dentre outros.

O desenvolvimento e a comercialização dos dispositivos inversores de frequência permitiu a substituição de motores de corrente contínua por motores de corrente alternada, nos casos onde os mesmos deveriam ser aplicados com velocidade controlada. As máquinas de pátio retomadoras tem seu movimento de avanço sobre os trilhos realizado através de motores de indução com velocidade controlada por inversor de frequência.

Deve-se ressaltar que o inversor de frequência não necessita de controle externo. A interligação com o Controlador Lógico Programável ocorre devido interferências com a lógica de funcionamento do pátio de retomado como um todo, considerando a sequência de intertravamentos e necessidade de visualização das informações e controle tanto através da Interface Homem Máquina (IHM) embarcada no retomador, quanto com o Sistema Supervisório utilizado na sala de controle da planta de extração mineral.

2.3 Cálculo Diferencial e Integral

Integrais definidas são utilizadas para se determinar a área entre a curva de uma função $f(x)$ e o eixo x num intervalo $x \in [a, b]$.

Considerando uma função $y = f(x)$, contínua em um intervalo fechado $[a, b]$ e subdividindo o intervalo em pontos, obtem-se o conjunto: $x_0 = a, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n = b$.

Definindo $c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, c_n$ de modo que

$$\begin{aligned} c_1 &\in [a, x_1] \\ c_2 &\in [x_1, x_2] \\ &(\dots) \\ c_n &\in [x_{n-1}, b] \end{aligned} \tag{1}$$

e formando a soma:

$$S = f(c_1)\Delta(x_1) + f(c_2)\Delta(x_2) + \dots + f(c_n)\Delta(x_n) = \sum_{i=1}^n f(c_i)\Delta x_i \tag{2}$$

tem-se que essa é a soma integral da função f , no intervalo $[a, b]$.

A figura 4 representa graficamente a situação apresentada. Note que para $f > 0$ em $[a, b]$, a soma integral é a soma das áreas dos retângulos [2].

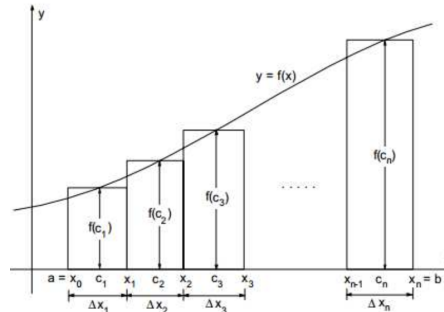


Figura 4: Representação de uma integral definida.

De maneira simplificada, a integral definida de f de a até b é o número real

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{\Delta_i \rightarrow 0} S. \tag{3}$$

Neste trabalho, para medição da posição de máquinas de pátio é utilizada a definição de integral apresentada anteriormente, sendo a posição da retomadora o número real que se deseja encontrar, o qual é obtido através da somatória dos pontos da função velocidade gerada pelo inversor de frequência com Δx_i o menor possível, no caso, 0,01 segundos.

3 Resultados

A indicação de posição da retomadora foi adicionada ao sistema supervisório da planta de mineração na qual a pesquisa foi realizada. O sistema supervisório destina-se à capturar e armazenar em um banco de dados, informações sobre um processo de produção que vêm de sensores que capturam as variáveis de processo da planta industrial [7]. O *software* empregado para tal foi o CitectSCADA [6].

A figura 5 demonstra parte da sala de controle onde o sistema supervisório é monitorado. Nas duas telas a direita podem ser vistas as informações do pátio de homogeneização, ilustrando as duas máquinas reomadoras sendo a que fica mais a esquerda a retomadora 01, objeto deste estudo. Abaixo da imagem da retomadora, foi inserida a informação da posição instantânea, que está disponível para utilização da operação.

4 Conclusão

Através dos resultados obtidos com esta pesquisa, foi comprovada a aplicabilidade da hipótese: se feita integral dos gráficos de velocidade apresentados na saída dos inversores de frequência que comandam os motores responsáveis pelo movimento de avanço, de posse da área inferior à curva, então seria possível saber a posição exata da máquina de pátio no instante momento t analisado.



Figura 5: Sistema supervisório para indicação da posição.

A partir do exato conhecimento da posição de máquinas de pátio, é possível o aumento do grau de automatização dos equipamentos, possibilitando o controle do desalinhamento das retomadoras do tipo ponte igualando a posição nos dois eixos; implementação de um método de definição de posição remoto; instalação de alarme de proximidade entre máquinas de pátio; criação de um controle automático do movimento de avanço das máquinas de pátio através das informações de nível do silo de alimentação do processo seguinte da planta de beneficiamento; entre outros.

Referências

- [1] A. P. Chaves; F. M. Ferreira, Apostila Estocagem e homogeneização. São Paulo, 2006.
- [2] D. M. Flemming e M. B. Gonçalves. Cálculo A. Ed. Pearson, Prentice Hall, São Paulo 2006.
- [3] F. M. Gurgel, Aplicações de inversores eletrônicos na indústria nacional: a contribuição brasileira. Rio de Janeiro: POLI UFRJ, 2009.
- [4] B. J. R. Junior, Avaliação da exatidão de posicionamento angular de um eixo servo acionado. 2013. 94f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.
- [5] Isomonte S.A. Disponível em: < <http://www.isomonte.com.br/Produtos/retomadoras.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2017.
- [6] Manual de Catálogo do Eletricista, Schneider Electric. Disponível em: < <https://www.schneider-electric.com.br/documents/electricians/manual-residencial.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2017.
- [7] E. Montgomery, Introdução aos sistemas a eventos discretos e à teoria de controle supervisório. Rio de Janeiro: Alta Books, 2004.
- [8] TKFLA. Thyssen Krupp Industrial Solutions. Disponível em: < <http://www.tkfla.com.br/categoria/produtos/>>. Acesso em: 15 fev. 2017.