

Introdução às ferramentas e métodos estatísticos para análise de dados

Introduction to statistical tools and methods for data analysis

RESUMO

Motores elétricos passaram a ocupar grande espaço dentro do cenário industrial nas últimas décadas, devido a não utilizarem fontes não renováveis e, portanto, não serem nocivos ao ambiente, porém, ainda apresentam grande consumo de energia elétrica, o que reduz a sua eficiência e desperdiça recursos naturais. Tendo isso em vista, surgiram estudos acerca do Motor Síncrono de Imã Permanente (MSIP), o qual é conhecido por possuir alto rendimento e ser um grande candidato a substituir os motores elétricos até então utilizados. Dessa forma, o projeto em questão busca fazer um estudo acerca do MSIP usando métodos estatísticos de análise de dados.

PALAVRAS-CHAVE: Motores síncronos. Energia elétrica. Motor elétrico. Substituto.

ABSTRACT

Electric motors became to occupy a large space within the industrial scenario in the last decades, due to not using non-renewable sources and therefore not being harmful to the environment, however, they still present great consumption of electric energy, which reduces their efficiency and wastes natural resources. With this in mind, studies have emerged on the Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), which is known for having high performance and being a great candidate to replace the electric motors hitherto used. Thus, the project in question seeks to make a study about PMSM using statistical methods of data analysis.

KEYWORDS: Synchronous motors. Electric energy. Electric motor. Substitute.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

O Em virtude do cenário atual, é inegável que a demanda por energia tende a crescer e juntamente a ela o aumento da poluição, dado que as maiores fontes de energia na atualidade fazem uso de recursos naturais, já que fontes de energia renováveis não são igualmente viáveis. Juntamente a esse fato, é sabido que os motores de combustão são responsáveis por grande parte da liberação de gases prejudiciais à atmosfera, e segundo estimativa da CETESB (2004), os veículos automotores são responsáveis por cerca de 83,2% da emissão de CO.

Os motores elétricos têm sido vistos como os principais substitutos para os motores a combustão, justamente por não fazerem uso de recursos não renováveis e por não serem nocivos ao ambiente, ou seja, não são poluentes durante o seu funcionamento. Porém, sistemas elétricos são responsáveis por cerca de 50% do consumo de energia no setor industrial brasileiro, [fonte: BEU/MMUE]. Sendo os motores elétricos responsáveis por cerca de 30% a 40% do consumo de energia mundial, [fonte: Draft IEC 60034-30]. Desse modo, grande parte da comunidade científica e industrial tem dado como prioridade o estudo de formas alternativas de motores e sistemas otimizados, devido a esses sistemas serem mais eficientes e demandarem menos energia. A implementação de um sistema otimizado pode resultar em cerca de 30% a 60% de economia de energia dentro da indústria, sendo os motores otimizados responsáveis por cerca de 7% dessa economia, [fonte: IEA – 7 de julho 2006, Motor Workshop].

Dessa maneira, os estudos acerca dos Motores Síncronos de Imã Permanente (MSIP) têm aumentado, devido a esses motores possuírem alto rendimento, maior densidade de potência e maior relação de torque por inércia, (JAHNS, 1996, p. 321-330) (QIGHUA, 2001, p. 475-478). Além de possuírem menos massa, menor momento de inércia e não necessitarem de potência do estator dedicada a geração de campo magnético. São muito utilizados na automação industrial para tração, robótica ou aeroespacial.

O MSIP pode ter o rotor constituído por bobinas alimentadas por corrente contínua (CC), por um eletroímã, ou pode ser constituído por ímãs permanentes, caso seja trifásico. Esses motores são geralmente trifásicos alimentados por corrente alternada, gerada pelo estator e excitada por meio de um enrolamento de campo alimentado em CC, ou por meio de ímãs permanentes (IP) no rotor, (BEZERRA, 2004).

Devido ao MSIP possuir ímãs permanentes no lugar do campo bobinado, faz com que esse seja colocado na categoria de motores sem escovas podendo ser construído com qualquer número de par de polos. Esse motor é construído com enrolamento de estator concentrado, tendo as bobinas de uma fase colocadas em posição diametralmente opostas e ligadas em série, formando uma fase do estator. Também são utilizados ímãs na superfície rotórica com arco polar próximo de 180º elétricos.

Para a realização dos estudos do MSIP foram utilizados estudos sobre métodos estatísticos de análise de dados. O estudo de métodos estatísticos possibilita quantificar padrões, como índices de desmatamento, acidentes automobilísticos, epidemias, taxas de suicídio, dentre vários outros exemplos que se enquadram como sistemas físicos, biológicos ou sociais, (ANTONIO, 2017, p. 1-3). Possui aplicações práticas e comerciais.

Esse estudo possibilita a compreensão e análises de sistemas complexos, como é o caso dos Motores Síncronos de Imãs Permanente, possibilitando uma maior compreensão acerca de seu funcionamento e permitindo comparações com outros modelos de motor. Com os métodos estatísticos é possível descobrir vantagens e desvantagens do MSIP, como, por exemplo, o fato de esse motor ser mais econômico e funcional, devido a possuir maior potência, alto rendimento e menor momento de inércia, porém mostrou-se problemático quando exposto à altas temperaturas.

O objetivo do projeto consiste no estudo de sistemas complexos, tal como temperatura, velocidade e torque de motores síncronos de imãs permanentes. Com o intuito de investigar a existência de leis de escala, a presença de alometrias e a dinâmica temporal dos dados.

MATERIAIS E METODOS

Para a realização do projeto utilizou-se dados coletados da plataforma *Kaggle*. Foram utilizados dados decimais referentes a temperatura de refrigeração, voltagem do componente d (ud), voltagem do componente q (uq), velocidade do motor, torque induzido por corrente, corrente do componente d (id), corrente do componente q (iq), temperatura da superfície do ímã permanente (pm), temperatura do *stator yoke*, temperatura do dente do estator e temperatura do enrolamento do estator. Além dos dados de temperatura ambiente.

O conjunto de dados compreende vários dados coletados de um MSIP implantado em uma bancada de teste. As medições foram coletadas pelo departamento de LEA da *Paderborn University*. O motor é induzido através de ciclos de direção projetados à mão, obtendo uma velocidade de motor de referência e um torque de referência. As correntes em coordenadas d/q e tensões em coordenadas d/q são resultado de uma estratégia de controle padrão tentando seguir a velocidade de referência e o torque. As colunas de velocidade do motor e torque são as grandezas resultantes de tal estratégia.

Os dados disponibilizados estão separados por conjuntos de medidas, sendo que nossas análises foram feitas em conjuntos independentes de forma a não misturar comportamentos devidos a diferentes parâmetros, o que seria bastante indesejável no reconhecimento de padrões. Separou-se os dados por sessão de medida e adicionou-se uma coluna de derivada da velocidade. Essa derivada foi calculada numericamente para dados discretos com base no método de Euler:

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{f(t+\Delta t) - f(t)}{\Delta t} \quad (1)$$

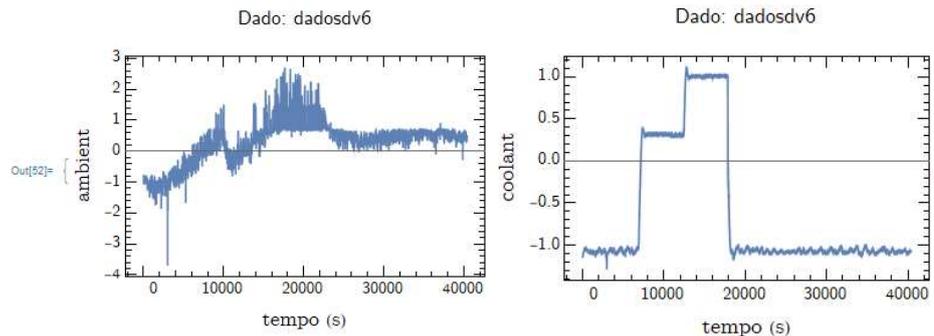
em que Δt é o intervalo de tempo entre duas medidas sucessivas.

Para que houvesse uma melhor visualização dos dados e resultados, foram feitos histogramas. E, por fim, foi feito o uso da derivada da velocidade para procurar alometrias entre torque e velocidade.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos ao longo do trabalho. O primeiro passo é caracterizar as variáveis. Para isso, analisamos cada uma delas em relação ao tempo. Na Figura 1a temos o gráfico da evolução da temperatura ambiente em uma das séries de medidas. A partir dele, é possível observar um gráfico de temperatura ambiente por tempo, sendo notável que a medida que o tempo aumenta a temperatura tende a aumentar, provando que o motor tende a gerar aumento de calor.

Figura 1a e 1b – Gráficos de temperatura ambiente e refrigeração x tempo

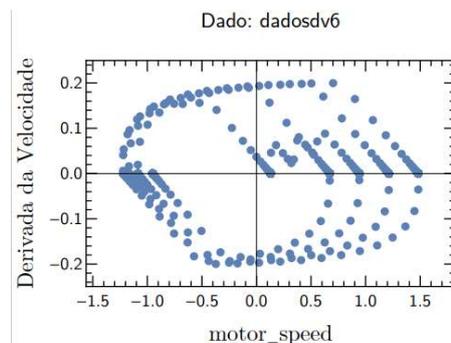


Fonte: A autoria própria (2020)

Já na Figura 1b é apresentado o gráfico de temperatura de refrigeração em função do tempo para a mesma série de medidas utilizadas para a Figura 1a. Pode-se observar um gráfico de temperatura de refrigeração em função do tempo. Quando comparada à Figura 1a, é possível notar que à medida que a temperatura ambiente aumenta foi preciso aumentar a temperatura de refrigeração com o intuito amenizar o aumento de temperatura do motor.

O segundo passo consistiu em procurar relação entre as variáveis disponibilizadas nos dados. Na Figura 2 tem-se um gráfico relacionando as variáveis 'derivada da velocidade' e 'velocidade do motor' para uma das séries de medidas. Nesse gráfico, é possível notar que há um padrão de simetria: o gráfico mantém-se limitado ao intervalo de -0.2 a 0.2 no eixo da derivada da velocidade e de -1.5 a 1.5 no eixo da velocidade do motor. Dessa forma, é possível prever que o sistema tem um movimento autoalimentado à medida que o tempo passa. Em particular, que a variação da velocidade está conectada à própria velocidade.

Figura 2 – Gráfico de derivada da velocidade x Velocidade do motor

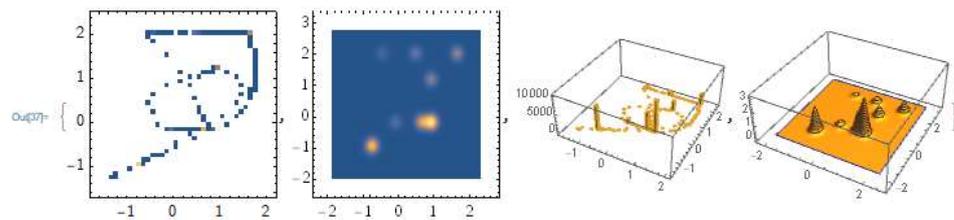


Fonte: A autoria própria (2020)

Por fim, fez-se uma correlação entre os dados da velocidade do motor e do torque, como pode ser visto na Figura 3, a qual apresenta gráficos de velocidade

do motor em função do torque. É possível notar que as regiões com cores mais amareladas (no caso dos gráficos bidimensionais) e com maiores relevos (presentes nos gráficos tridimensionais) representam as regiões nas quais houve maior presença de valores da velocidade em função do torque, sendo as regiões de maior incidência. Analisando esses gráficos também é possível notar os valores que mais se repetiram ao longo do tempo, além de ser possível notar o padrão de velocidade que o motor vai seguir à medida que o tempo aumentar junto aos valores de torque.

Figura 3 – Gráfico de velocidade do motor x Torque

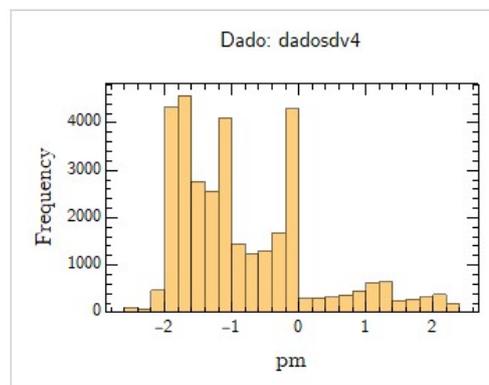


Fonte: Autoria própria (2020)

A Figura 4 apresenta um histograma da temperatura na superfície do ímã permanente, sendo demonstrado no gráfico em questão a primeira sessão dos dados PM. O gráfico permite identificar um aumento brusco na frequência dos dados quando atingido valores entre -2 e 0 graus Celsius, sendo possível notar que a temperatura negativa do rotor apresentou dados mais frequentes, o que já era esperado, devido ao fato de o motor ser refrigerado junto ao aumento de temperatura, ocorrendo com o intuito de manter a energia estável. Se comparado a outras variáveis, como os dados da temperatura ambiente e temperatura de refrigeração, é possível notar semelhanças no perfil dos histogramas, sendo a principal o fato de apresentarem maior frequência nas temperaturas baixas.

Para que houvesse um melhor entendimento acerca dos dados apresentados, foram feitos histogramas iguais ao da Figura 4 para cada dado, fazendo várias seções de testes para analisar diferentes momentos e ver a forma como os dados se comportavam. Ficou evidente que houve grande variação de frequência, não só em relação ao dado como também ao tempo, sendo possível notar grande variação não só nos valores máximos de cada sessão, mas também nos mínimos, além de que os dados de pm, tomando como exemplo a Figura 4, variaram de forma significativa ao longo das baterias de teste.

Figura 4 – Histograma de frequência de pm



Fonte: Autoria própria (2020)

CONCLUSÕES

Através dos dados coletados e dos resultados obtidos é notável semelhanças entre os valores, como o fato de tanto a temperatura ambiente, quanto a temperatura de refrigeração e da superfície do imã terem aumentado assim que o motor foi ligado. Sendo assim fica evidente o fato de o motor gerar aumento de temperatura, tornando a temperatura de refrigeração um componente essencial para o modelo estudado. Além disso é possível observar que o motor possui um sistema de movimento autoalimentado, ou seja, a velocidade do motor tende a repetir seu intervalo de valores com determinada constância em função do tempo, sendo que a variação de velocidade do motor está conectada à própria velocidade. Também ficou explícito que a velocidade possui grande relação com o torque, havendo pontos de tendência em relação aos dois componentes, os quais tendem a se repetir através de intervalos em função do tempo. Além de ser possível notar uma certa inconstância na frequência em que os dados aparecem ao longo das baterias de teste, havendo grande variação tanto no valor dos dados quanto na frequência em que aparecem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço pelo apoio e infraestrutura disponibilizados pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e pela oportunidade e ensinamentos fornecidos pelo professor Fernando José Antônio.

REFERÊNCIAS

ANTONIO, F. J. **Spatial patterns of dengue cases in Brazil**. Plos One. Cornélio Procópio, p. 1-3. 17 jul. 2017. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0180715>.

Acesso em: 23 ago. 2020.

BEZERRA, L. B. **Implementação de uma bancada para o controle eletrônico de motores síncronos de imã permanente utilizando um DSP**. 2004. 198 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em:

<http://pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2004034001.pdf>. Acesso em: 31 jul.

2020.

COLEMAN, M. M.; GRAF J. F.; PAINTER, P. C. **Specific interactions and the miscibility of polymer blends**. Technomic, Lancaster, 1991.

JAHNS, T. M.; Soong, W. L. **Pulsating torque minimization techniques for permanent magnet AC motor drives – a review**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 43, Issue 2, Apr 1996, p. 321 – 330.

NRIAGU, J. O. Historical Perspectives. In: NRIAGU, J. O. e NIEBOER, E. (Eds.). **Chromium in the natural and human environments, ADVANCES IN**

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. New York: John Wiley, v. 20, 1988, p. 1-19.

QINGHUA, L.; Jabbar, M. A.; Khambadkone, A. M. **Design optimization of interior permanent magnet synchronous motors for wide-speed operation.** Proceedings Power Electronics and Drive Systems 2001, 2001 4th IEEE International Conference, v. 2, 22-25 Oct. 2001, p. 475 – 478.

VAN EKENSTEIN, G. O. R. A.; DEURING, H.; TEN BRINKE, G.; ELLIS, T. S. **Blends of caprolactam/caprolactone copolymers and chlorinated polymers.** Polymer, v. 38, p. 3025-3034, 1997.

WIZENTIER, S. E.; BOSCHI, A. O.; VIEIRA, J. M. **Fabricação de membranas cerâmicas para microfiltração.** ANAIS DO 10o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Caxambu, 2010, p 34-38.