

ESTUDO DE UM ACIONAMENTO ELÉTRICO INTEGRADO DE MOTOR PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE MOBILIDADE ELÉTRICA¹

Sérgio Vidal Garcia Oliveira², Ademir Nied³, Alvaro Daniel Arioni Paladino⁴, Endrigo Vanassi Jacques da Silva⁵, Marcel Maciel Fernandes⁶

¹ Vinculado ao projeto “Accionamentos Elétricos Integrados”

² Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica – CCT – sergio.oliveira@udesc.br

³ Professor, Departamento de Engenharia Elétrica – CCT – ademir.nied@udesc.br

⁴ Acadêmico de Doutorado em Engenharia Elétrica – CCT

⁵ Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica - CCT – Bolsista PIBIC/CNPq

⁶ Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica - CCT

Os acionamentos elétricos são sistemas fundamentais no controle de máquinas elétricas e de processos industriais. São compostos por dispositivos que podem controlar velocidade, torque, potência e sentido de giro de motores e geradores, possibilitando extrair maior rendimento e versatilidade em aplicações mais específicas que podem envolver geração de energia, mobilidade elétrica, automação e robótica [1].

Em se tratando de aplicações voltadas para mobilidade elétrica, os acionamentos dos motores vêm ampliando as possibilidades de inovações em sistemas de tração da frota elétrica e híbrida que está sendo lançada no mercado nos últimos anos. Tendo em vista a necessidade de reduzir espaço e peso, de forma a melhorar as relações peso-potência e o rendimento desses veículos, busca-se unificar os dois principais sistemas que compõem a arquitetura clássica de um acionamento moderno (Figura 1), ou seja: o motor elétrico, responsável pela conversão da energia elétrica em energia mecânica (torque) e conversor de potência, o qual realiza o controle de torque eletromagnético e velocidade desenvolvidos pelo motor [2].

Fundamentalmente, procurou-se dar sequência a pesquisa que já vinha sendo desenvolvida pelo bolsista de iniciação científica anterior, porém voltando a possibilidade de aplicação prática de um acionamento elétrico integrado (AEI) para o sistema de tração de um veículo tipo Fórmula SAE elétrico, de forma a validar os conhecimentos empregados. Dessa forma, foi necessário escolher um conjunto de *powertrain* que atendesse às aplicações de carga e desempenho do veículo em questão. Ideou-se então, iniciar os estudos identificando os esforços aos quais a máquina seria submetida, para assim escolher o tipo da máquina elétrica e a forma de acionamento a ser utilizado. Com isso, a última etapa da pesquisa se daria pela simulação e validação da ideia proposta de aplicação dos conceitos de AEIs estudados.

Como o foco do trabalho não era especificamente entender os esforços na máquina, obteve-se juntamente com o grupo de alunos envolvidos com a construção do veículo tipo Fórmula SAE, valores aproximados de massa e momentos de inércia do sistema, bem como propostas de reduções mecânicas para melhoramento de torque, que pretendiam ser manufaturadas. Com isso, passou-se a buscar um tipo de máquina que atenderia com eficiência as demandas. Inicialmente, a primeira proposta seria buscar um motor de corrente contínua (CC) no mercado, visto que seria mais simples de controlá-lo, pois a alimentação é através de um banco de baterias em corrente contínua.

Após analisar algumas possibilidades e realizar um estudo comparativo entre motores CCs e de corrente alternada (CA), concluiu-se que seria inviável utilizar um CC para essa aplicação, visto que possuem algumas desvantagens significativas em relação aos motores CAs, como:

relação peso-potência muito alta, o que geraria excesso de peso no carro; exigência de manutenção frequente de escovas; limitação de velocidade de operação na faixa de 3000 rpm; momento de inércia alto; dissipação de calor dificultada, exigindo ventilação forçada. Com isso, buscou-se motores CA, sendo os de indução, os primeiros a serem analisados, visto que são de construção e manutenção simples, alto torque de partida e oferecem uma boa eficiência.

Com as características construtivas da máquina definidas, buscou-se no mercado um conjunto elétrico que ao ser acoplado em uma transmissão redutiva com relação 1:9 (projetada pelo grupo responsável pelo carro de Fórmula SAE), conseguisse dispor um torque em uma faixa entre 80 e 130 Nm às rodas. Assim, encontrou-se um *kit* elétrico produzido pela empresa *WEG S.A* para utilização em sistemas de mobilidade que é composto por: um motor de indução tipo *squirrelcage* (gaiola de esquilo) trifásico com potência nominal de 6 kW, frequência nominal de 150 Hz, tensão de linha de 51 V, torque nominal de 13 Nm e rotação nominal de 4420 rpm, denominado pelo fabricante como WTE300 – IND300; e um inversor trifásico denominado pelo fabricante como CVW250 com alimentação que varia entre 24 e 72 V em corrente contínua, corrente de operação nominal de saída de 132 A e circuitos de controle vetorial e escalar já inseridos no *hardware*, possibilitando acionar o motor e controlá-lo de diversas formas.

A última etapa da pesquisa consistiu na validação dos dados através dos *softwares PSim* e *Simulink* (segmento do *software MatLab*). Em ambas as ferramentas, utilizou-se um modelo pronto de motor de indução trifásico à vazio (Figura 2) para verificar se as informações da folha de dados estavam corretas e fazer correções no modelo caso necessário. O *software PSim* apresentou resultados mais coerentes com o esperado, principalmente na etapa de regime transitório em um acionamento simples direto com fontes de tensão equilibradas. Concluiu-se que a análise matemática do *PSim* mostrava mais fidelidade a uma situação real para esse estudo e que o modelo adotado apresentou resultados semelhantes à folha de dados do fabricante quando à vazio conforme Figura 3, no qual atinge valores próximos de 4420 rpm de rotação no eixo (eixo horizontal) e torque eletromagnético (eixo vertical) próximo a 13 Nm.

Como a aplicação exigiria a potência nominal do motor, realizou-se o estudo utilizando o mesmo modelo anterior no *PSim*, agora com uma carga que extraísse 6 kW no eixo da máquina. Observou-se que ela não tinha capacidade de operar nesse regime sem um alívio de partida, pois a rotação do eixo se tornava negativa, ou seja, a carga passava a atuar como força motriz, forçando o motor a operar como gerador. Após verificar as configurações de simulação do *software*, optou-se por aumentar gradualmente a carga, executando uma partida suave, entretanto o resultado ainda indicava que a velocidade do motor se tornaria negativa. Como as configurações do *software* sempre resultavam nessa incoerência, exigiu-se realizar testes práticos de bancada com o motor a vazio e com o rotor bloqueado, para confirmar as impedâncias dos enrolamentos descritas na folha de dados.

Os ensaios à vazio e de rotor bloqueado do motor não puderam ser realizados em tempo hábil de registrar e estudar valores medidos. Dessa forma, foi apenas realizado um acionamento simples com uma fonte de corrente alternada isolada (Figura 3). Posteriormente, deverão ser realizados esses ensaios de maneira formal, possibilitando assim, dar sequência às simulações com o inversor acoplado. Com os resultados desses estudos, pode-se dar início ao estudo de uma maneira física de integrar o motor, inversor e transmissão (redução) em um único módulo, concluindo a proposta do acionamento integrado.

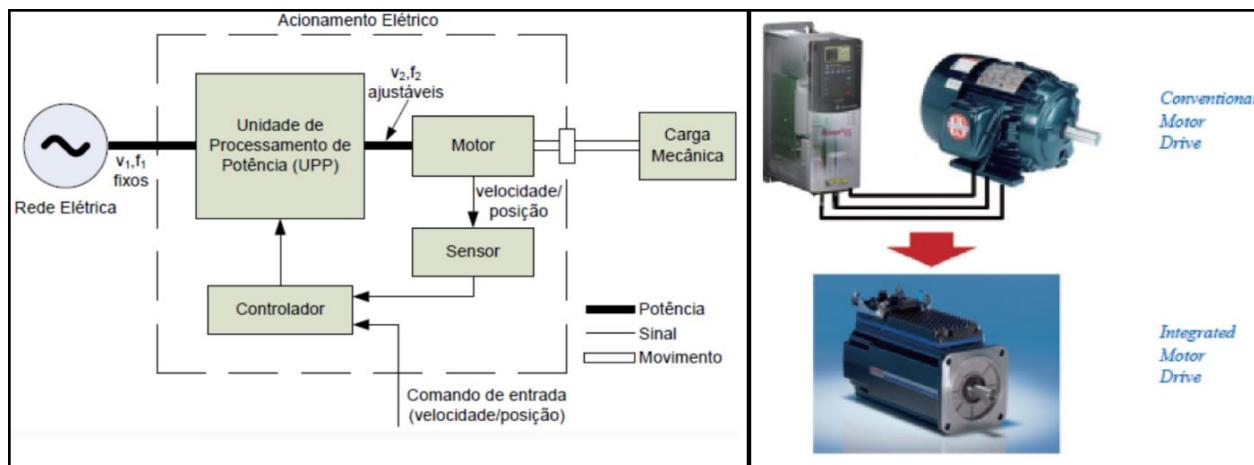


Figura 1. Arquitetura funcional de um acionamento elétrico moderno (esquerda) e diferenças construtivas entre o acionamento elétrico convencional e o acionamento elétrico integrado (direita) [1]

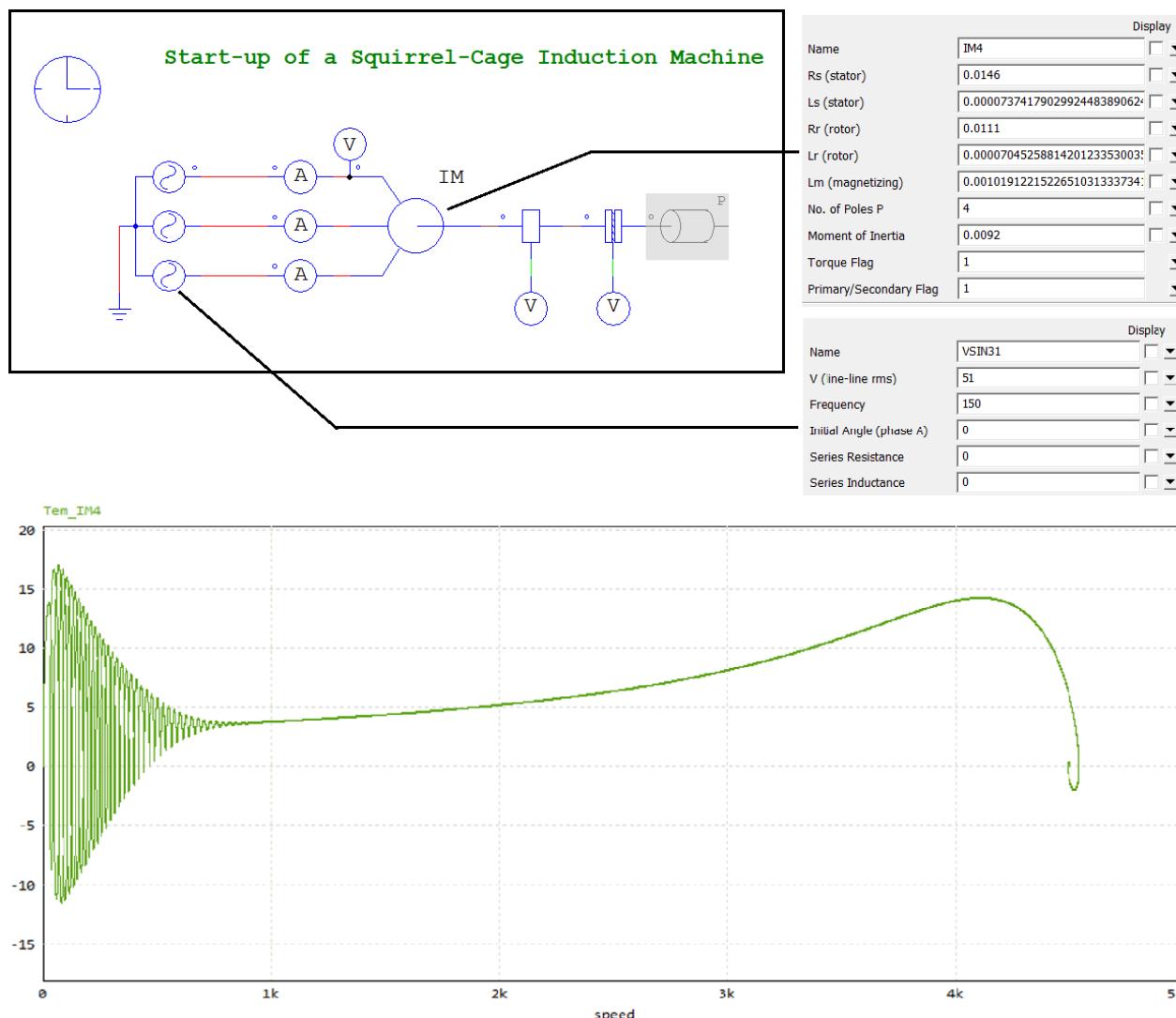


Figura 2. Esquemático do circuito de acionamento elétrico e resultado da simulação no software PSim

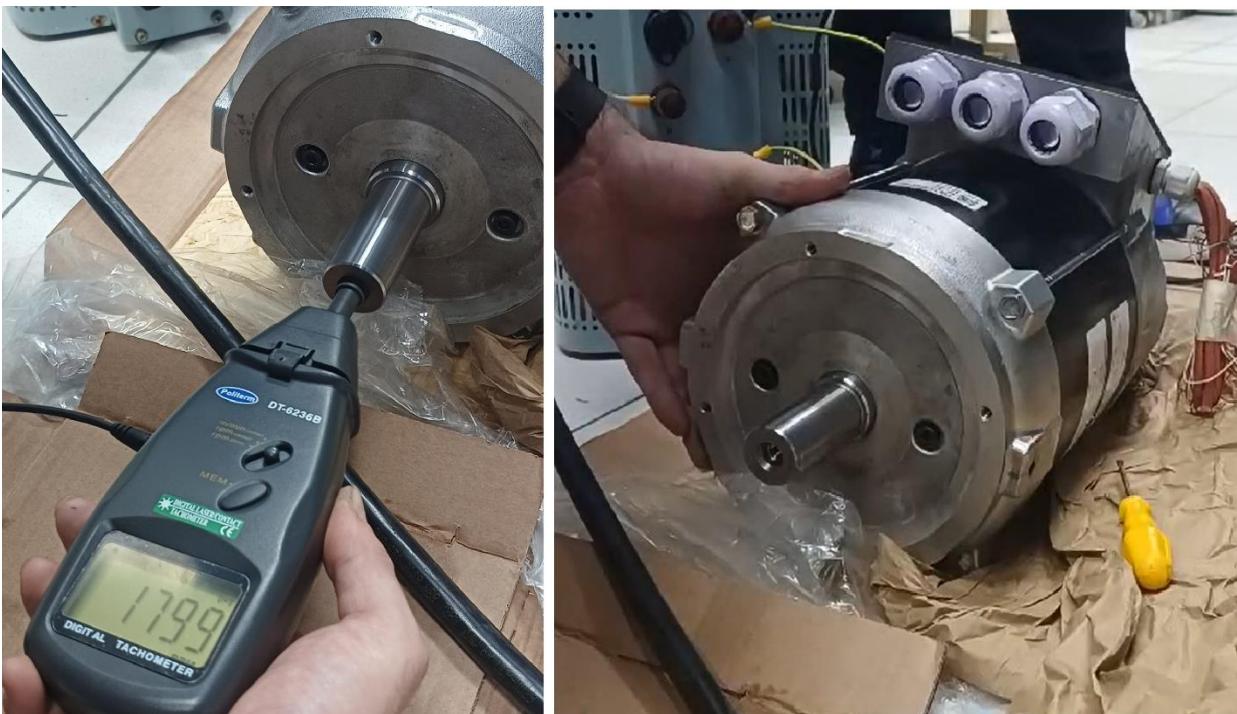


Figura 3. Acionamento a Vazio do Motor WEG WTE300-IND300

Palavras-chave: Acionamentos elétricos integrados. Mobilidade elétrica. Simulações. Tração elétrica.

Referências Bibliográficas

- [1] HANG, Bowen; SONG, Zaixin; LIU, Senyi; HUANG, Rundong; LIU, Chunhua. Overview of Integrated Electric Motor Drives: opportunities and challenges. *Energies*, [S.L.], v. 15, n. 21, p. 8299, 7 nov. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en15218299>. Acesso em: 06/09/2024.
- [2] JAHNS, T. M.; DAI, H. "The past, present, and future of power electronics integration technology in motor drives," in CPSS Transactions on Power Electronics and Applications, vol. 2, no. 3, pp. 197-216, Sept. 2017. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee-org.ez74.periodicos.capes.gov.br/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8118375>. Acesso em: 06/09/2024.