

12º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2021

VEÍCULOS ELÉTRICOS: UMA BREVE INTRODUÇÃO COM SIMULAÇÕES.

LEONARDO E. RUNKEL¹, TIAGO V. ORTUNHO²

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Presidente Epitácio, l.runkel@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor Doutor em Engenharia Elétrica, IFSP, Câmpus Presidente Epitácio, tiago.veronese@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.04.05-3 Máquinas Elétricas e Dispositivos de Potência.

RESUMO: O presente estudo tem como finalidade a inicialização de pesquisas para o desenvolvimento de um protótipo de um veículo elétrico. Por este motivo, foi adotado como primeira etapa a simulação de um sistema de acionamento com motor de corrente contínua. Sabe-se que o veículo utiliza outras máquinas motrizes, porém, para início das ações focou-se nesta máquina por ela possuir sistema de controle parecido ao adotado em um controle vetorial de uma máquina de indução. Outrossim, o objetivo é ser feito a análise do motor de corrente contínua para posteriormente ser aplicado/testado em um motor de um veículo elétrico. Portanto, por se tratar de um estudo inicial tem-se como prioridade a continuidade da pesquisa, visando a utilização de outras máquinas motrizes.

PALAVRAS-CHAVE: protótipo; veículo elétrico; acionamento; sistema de controle; máquinas motrizes.

ELECTRIC VEHICLES: A BRIEF INTRODUCTION WITH SIMULATIONS.

ABSTRACT: The purpose of this study is to initiate research for the development of a prototype of an electric vehicle. For this reason, it was adopted as the first step the simulation of a drive system with a DC motor. It is known that the vehicle uses other driving machines, however, to start the actions we focused on this machine because it has a control system similar to that adopted in a vector control of an induction machine. Furthermore, the objective is to analyze the DC motor to be later applied/tested in an electric vehicle motor. Therefore, since this is an initial study, the continuity of the research is a priority, aiming at the use of other motor machines.

KEYWORDS: prototype; electric vehicle; drive; control system; driving machines.

INTRODUÇÃO

Os veículos elétricos no passado foram desprezados em relação aos veículos convencionais (a combustão), devido ao seu elevado custo, às baterias que não tinham muita capacidade de armazenamento e a descoberta de grandes jazidas de petróleo que por sua vez barateou a gasolina que é seu derivado (FERREIRA et al., 2020).

Com o passar dos anos, percebeu-se que os veículos a combustão estavam causando impactos ambientais devido as emissões de CO₂ para a atmosfera, e isso lhe concerne a aceleração do efeito estufa, causando aumento nas temperaturas. Isto se tornou uma preocupação para a comunidade global, fazendo com que houvesse inúmeras conferências globais com principal enfoque no desenvolvimento sustentável (BARAN et al., 2011). Basicamente, este desenvolvimento implica a diminuição das emissões de CO₂, a eficiência energética, e uma matriz energética mais limpa.

O conceito de redes elétricas inteligentes possibilita o gerenciamento da demanda energética causada pelas inovações tecnológicas, popularização de dispositivos eletrônicos conectados à rede, de forma a criar um aumento significativo das fontes de geração distribuída. (CGEE, 2012).

A mobilidade elétrica ocasionará um impacto nas redes elétricas e o consequente aumento no consumo de energia, porém a renovação na infraestrutura do sistema de distribuição será necessária em breve. Portanto, as redes elétricas inteligentes serão muito úteis no desenvolvimento e possibilitarão um aumento da utilização dos veículos elétricos (VALLE, 2015).

Os veículos elétricos começam a ganhar espaço no mercado, e se tornam o principal enfoque deste estudo, visando a importância destes para o mundo. Assim sendo, iniciou-se este estudo desenvolvendo simulações do funcionamento de um motor de corrente contínua acionado com um conversor cc-cc bidirecional em tensão e corrente para posterior aplicação no sistema de tração de um veículo elétrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O motor de corrente contínua por sua vez é composto de duas estruturas magnéticas: estator (enrolamento de campo), e o rotor (enrolamento da armadura). Nesse sistema é inserido um comutador, que está conectado aos enrolamentos, ademais o comutador é capaz de inverter a corrente na fase de rotação de forma a que o conjugado desenvolvido seja sempre na mesma direção. Outra parte são os conjuntos de porta escovas nas quais são ligados os terminais de alimentação (UMANS, 2014).

O funcionamento de um motor de corrente contínua consiste na interação entre o campo magnético e a corrente de armadura no rotor, que geram uma força que tendem a mover o condutor num sentido que depende do sentido do campo e da corrente na armadura. Sob a ação da força a espira irá se movimentar até a posição onde a força resultante é nula, não dando continuidade ao movimento. Desta forma, com o comutador ocorre a inversão da corrente na espira para que o movimento do motor seja contínuo (UMANS, 2014).

As máquinas de corrente contínua podem ser acionadas através de quatro tipos de excitação, que são dependentes do circuito do motor. Esses quatro tipos são: excitação em série, excitação em derivação, excitação composta, e excitação independente. Cada método de excitação influencia nas características de operação do equipamento, no regime permanente e transitório. Além de influenciarem no comportamento dinâmico da máquina controlada (UMANS, 2014). Neste estudo analisou-se a excitação independente.

Os modos de operação do motor de corrente contínua são definidos em quatro faixas de operação, as quais caracterizam as condições de trabalho que estão ilustradas na Figura 1. Ou seja, durante o funcionamento do veículo elétrico, a máquina de corrente contínua poderá atuar nos quatro quadrantes de operação (1° e 2° quadrantes - avanço do veículo) e (3° e 4° quadrantes - ré do veículo). Nos quadrantes pares a máquina trabalhará como gerador e isto ocorrerá nos instantes da frenagem regenerativa do automóvel.

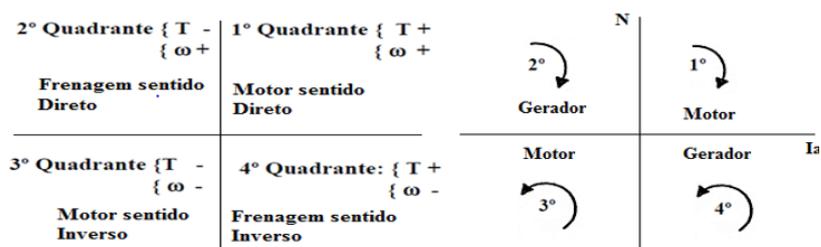


Figura 1: Características da operação do motor de corrente contínua.

A comutação do motor para gerador, por exemplo, no caso de frenagem do acionamento, pode ocorrer de várias maneiras:

- mudança da polaridade da tensão de armadura através de inversão dos terminais do motor;
- inversão da polaridade do circuito de excitação;
- inversão da polaridade da tensão de alimentação na fonte de geração.

Os acionamentos de potência são basicamente construídos através da combinação de elementos passivos, como indutores e capacitores, juntamente com dispositivos semicondutores de potência como transistores (BJT's, MOSFET's, IGBT's etc.), tiristores (SCR's, GTO's, etc), operando em alta frequência no modo chaveado. No trabalho adotou-se para as simulações e, depois, para futura implementação prática o uso de IGBT's.

A técnica de controle usada para o controle destes dispositivos foi através do controle em frequência constante. Nesta técnica de controle a frequência de operação é mantida constante e o controle é feito apenas pela variação do tempo em que a fonte de entrada fornece energia para a carga. Sendo assim, a largura de pulso é controlada e esta técnica de controle é conhecida como modulação por largura de pulsos (PWM – Pulse Width Modulation).

Para fins de simulação foi utilizado um motor de corrente contínua apresentado na Figura 2, destacando sua forma de acionamento. Os dados deste motor estão apresentados na Tabela 1.



Figura 2: Motor de corrente contínua

Tabela 1: Dados de placa do motor de corrente contínua

Potência	1 CV
Tensão de Armadura	160 V
Tensão de Campo	190 V
Corrente Armadura	6 A
Corrente Campo	0.5 A
Velocidade	200 RPM

A alimentação do conversor cc-cc bidirecional em tensão e corrente é efetuada através de um retificador de onda completa com filtro capacitivo na saída, e este por sua vez é o responsável pelo acionamento e controle do motor de corrente contínua.

As Figuras 3 e 4 demonstram como o conversor cc-cc funciona em um intervalo de tempo em que chaves S1 e S4 foram juntamente comutadas, enquanto as chaves S2 e S3 permaneceram desligadas, posteriormente, as chaves S2 e S3 foram energizadas e S1 e S4 desligadas, desta forma, para que o motor gire em sentido horário, as chaves S1 e S4 ficam acionadas em um intervalo de tempo maior que as outras chaves. Por outro lado, quando o motor gira no sentido anti-horário, as chaves S2 e S3 estão ligadas por mais tempo. A partir disso se tem os chaveamentos S1 e S4 e S2 e S3 do conversor cc-cc bidirecional de tensão e corrente.

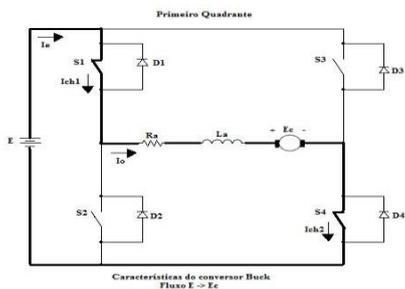


Figura 3: Chaves S1 e S4 ligadas.

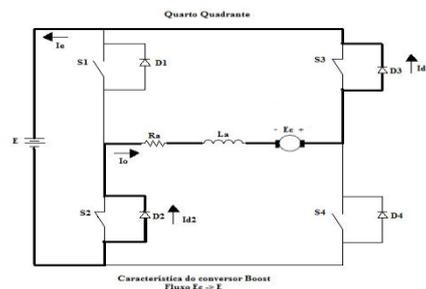


Figura 4: Chaves S2 e S3 ligadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das deduções das equações e estudos das formas de onda do conversor cc-cc reversível em tensão e corrente, foi confeccionado um programa usando o *software* MATLAB®, em que se informa os valores da indutância e da resistência da armadura do motor, a tensão contínua de alimentação do conversor, a corrente nominal do motor, a razão cíclica e a frequência de trabalho, sendo que o programa fornece os valores considerando carga máxima no motor para dimensionamento dos componentes.

Em seguida, foi confeccionado um programa no SIMULINK®, no qual efetuou-se simulações para se comparar os resultados obtidos em cálculo. Os resultados da simulação e os calculados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos para o conversor cc-cc.

Variáveis	Calculado para D = 0,76	Simulado para D = 0,76	Calculado para D = 0,24	Simulado para D = 0,24
Tensão média de saída (Vo)	161,20	159,5	-161,20	-159,5
Tensão eficaz de saída (Vmef)	310	306,8	310	306,8
Corrente média de saída (Io) carga máxima	6	5,986	-6	-5,986

Varição de corrente (Δi)	0,1563	0,16	-0,1563	0,16
Corrente máxima na chave	6,0781	6,055	-6,0781	-6,055
Corrente mínima na chave	5,9219	5,915	-5,9219	-5,905
Corrente média na chave S1 e S4	4,56	4,378	-1,44	-0,8593
Corrente média na chave S2 e S3	-1,44	-1,617	4,56	5,126
Corrente eficaz na chave S1 e S4	5,2602	5,126	2,8942	2,307
Corrente eficaz na chave S2 e S3	2,9466	3,108	5,5543	5,538

As Figuras 5 a 9 possuem os resultados obtidos nas simulações desenvolvidas para o conversor cc-cc, respectivamente, as formas de ondas na entrada, tensão e corrente no capacitor, no motor, velocidade e torque do motor. O conversor foi acionando adotando a razão cíclica de 0,76 e frequência de chaveamento de 16KHz, com referência de torque quase nulo (pequena carga), considerando todo o conjunto de acionamento, com retificador, barramento cc e o bloco do motor disponível na biblioteca *SymPowerSystem* do SIMULINK®.

As Figuras 10 a 14 possuem os resultados obtidos nas simulações desenvolvidas para o mesmo sistema considerando a razão cíclica em 0,24.

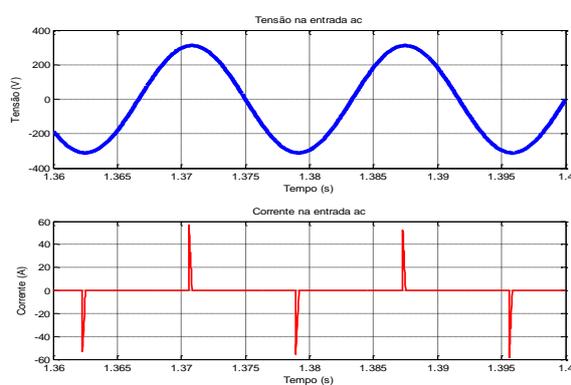


Figura 5: Tensão e corrente de entrada, $D = 0,76$.

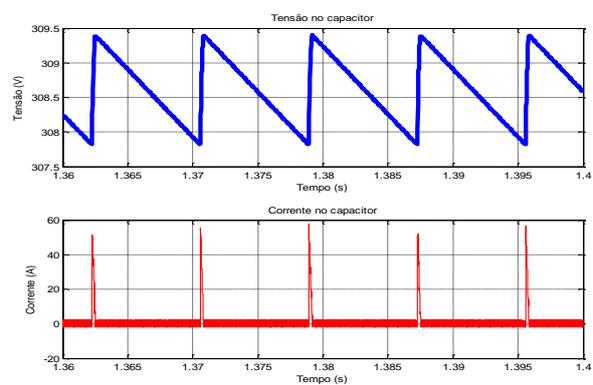


Figura 6: Tensão e corrente no capacitor, $D = 0,76$.

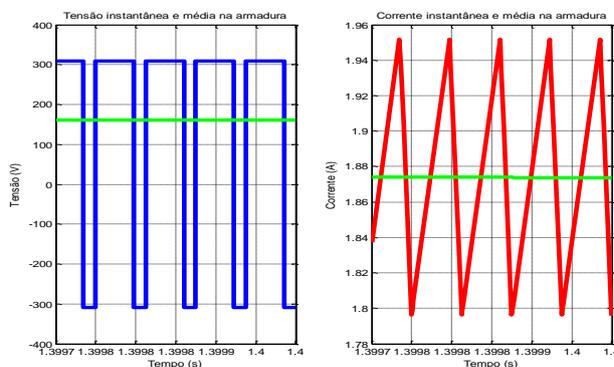


Figura 7: Tensão e corrente no motor, $D = 0,76$.

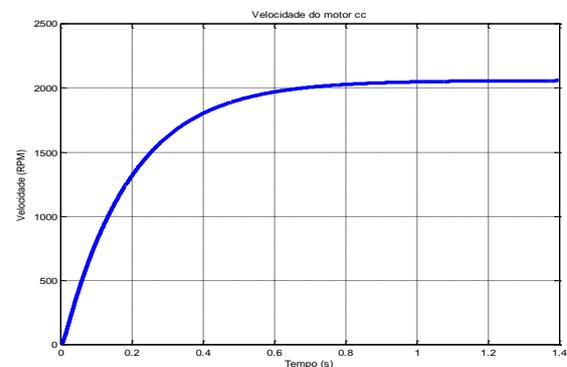


Figura 8: Velocidade no motor cc, $D = 0,76$.

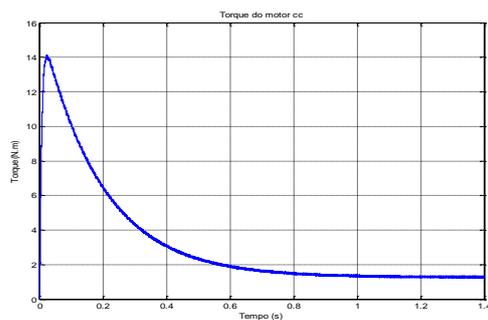


Figura 9: Torque no motor cc, $D = 0,76$.

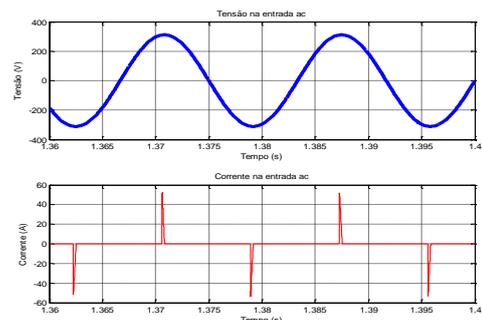


Figura 10: Tensão e corrente de entrada, $D = 0,24$.

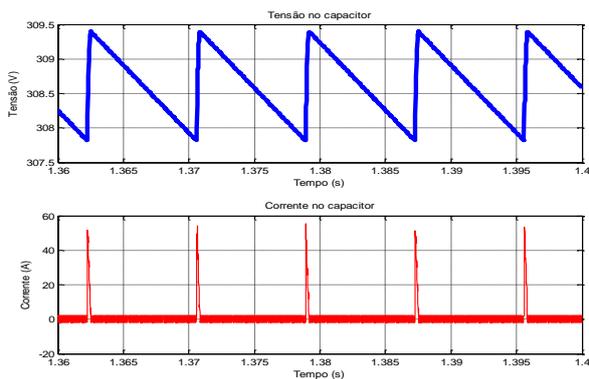


Figura 11: Tensão e corrente no capacitor, $D = 0.24$.

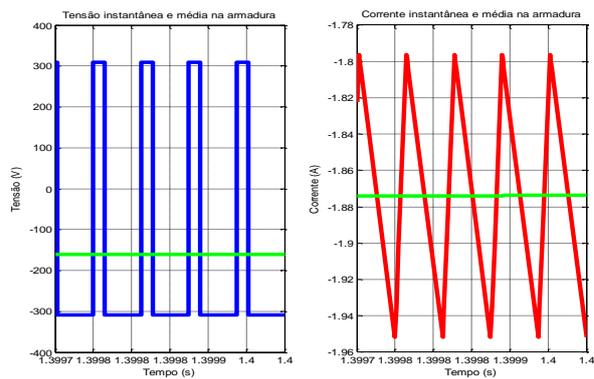


Figura 12: Tensão e corrente no motor, $D = 0.24$.

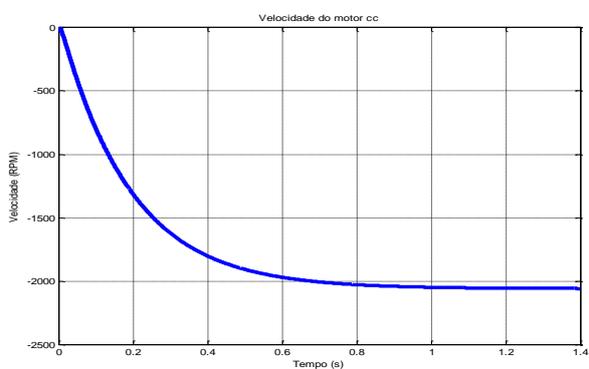


Figura 13: Velocidade no motor cc, $D = 0.24$.

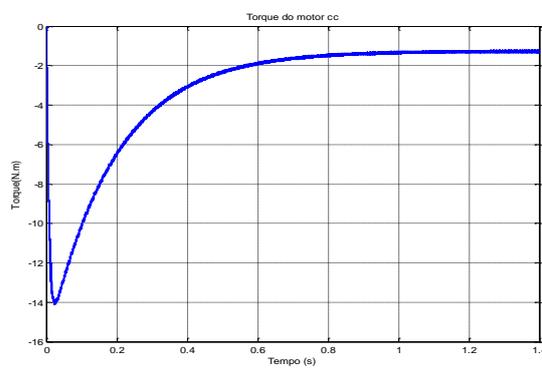


Figura 14: Torque no motor cc, $D = 0.24$.

Através das simulações foi possível validar os cálculos efetuados, além de possibilitar um melhor entendimento do funcionamento de todo o conjunto possibilitando definir os componentes para posterior montagem em bancada.

CONCLUSÕES

Por se tratar do estudo inicial para o desenvolvimento de um protótipo de um veículo elétrico, é possível analisar através da simulação que o calculado e o simulado tem valores próximos e são promissores para o possível acionamento de um motor de corrente contínua.

Vale ressaltar que os veículos elétricos têm tomada cada vez mais espaço no mercado devido a não emissão de CO_2 na atmosfera, a utilização destes veículos causa impactos na rede elétrica aumentando a demanda, porém isso faz com que haja maiores pesquisas em energias limpas e em inovações tecnológicas para uma melhorar eficiência energética.

REFERÊNCIAS

- BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. *Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33, p. 207-224, mar.2011.
- CGEE. *Redes elétricas inteligentes: contexto nacional*. Brasília, DF. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012.
- FERREIRA, J. P.; DIAS, M. J. *Veículos Elétricos e Híbridos: História e Perspectivas para o Brasil*. *Revista Processos Químicos*, 2020.
- VALLE, Helena Bento Martins do. *Aplicação do conceito Vehicle-to-Grid para nivelamento de carga e suprimento de pico de demanda*. 2015. 73 f. Graduação - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Ufrj, Rio de Janeiro, 2015.
- UMANS, Stephen D. *Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley*. 7. ed. Porto Alegre: McGraw Hill Education, 2014. Tradução de: Anatólio Laschuk.