



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



IMPLEMENTAÇÃO EM MICROCONTROLADORES DE TÉCNICAS DE CONTROLE VETORIAL SENSORIADO PARA INVERSORES DE FREQUÊNCIA TRIFÁSICOS

João Américo Vilela Jr.

Professor do Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Paraná
vilela@eletrica.ufpr.br

Gabriel Moscardi Pauka

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Paraná
gabriel.pauka@ufpr.br

***Resumo.** Este trabalho consiste na implementação de técnicas de controle vetorial em microcontroladores para aplicações em máquinas elétricas síncronas trifásicas utilizadas em veículos voltados a competições de automobilismo.*

***Palavras-chave:** Máquinas elétricas. Controle vetorial. Veículos elétricos.*

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias de semicondutores de potência e de motores elétricos aplicados à automóveis para mobilidade urbana, é natural que o automobilismo de competição também siga esta tecnologia. Cada vez mais categorias de competição de veículos elétricos surgem no mundo. Este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de controle eficaz para máquinas síncronas de ímã permanente de alta performance para aplicações em veículos de competição em níveis amadores e básicos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As máquinas elétricas de corrente alternada possuem uma densidade de potência (relação potência/massa) superior às máquinas de corrente contínua, sendo uma figura de mérito desejada em veículos automotores, porém, ao custo de um controle complexo.

2.1 Controle AC vs. Controle DC

Em um motor DC de excitação separada, é possível controlar o torque e o fluxo magnético de maneira independente, através das correntes de estator e de campo, respectivamente. Além disso, o comutador da máquina permite que a corrente de armadura esteja sempre ortogonal ao fluxo magnético, fazendo com que o produto vetorial entre a corrente e o campo seja sempre máximo. Isso garante um torque constante até a velocidade nominal da máquina, como pode ser visto na Figura (1), extraída do website ResearchGate [1].

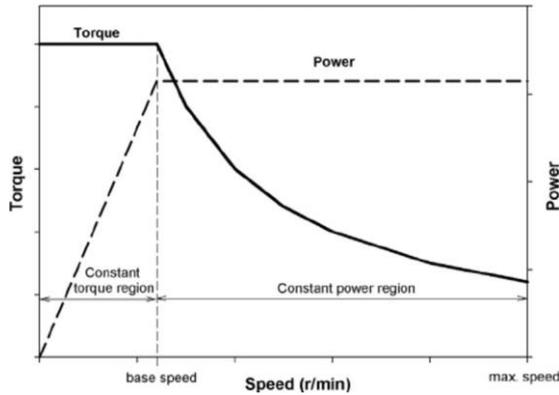


Figura 1. Curvas de Torque e Potência para uma Máquina DC de Excitação Separada

Logo, o objetivo do controle vetorial é replicar o mesmo comportamento de uma máquina DC em uma máquina AC. Este comportamento consiste na disponibilidade de torque máximo em uma ampla região, que contempla desde a velocidade zero (máquina parada) até sua velocidade base. Após a velocidade base, a máquina está trabalhando em sua potência máxima, logo, o torque começa a cair para manter a mesma potência conforme a rotação sobe.

2.2 Transformação de coordenadas

No sistema de coordenadas convencional, isto é, no sistema a,b,c, o fluxo magnético girante é produzido pela interação das correntes nas três fases do sistema de alimentação trifásicas. Por isso, fazem-se necessárias técnicas matemáticas para a transformação do sistema de três fases interdependentes em duas fases independentes entre si. Isto só é possível transformando o sistema a,b,c em um sistema de duas coordenadas ortogonais entre si: um eixo direto e outro em quadratura, sendo chamado sistema d,q. O controle vetorial no sistema d,q é o único que de fato controla as componentes da máquina que geram trabalho (isto é, fluxo e torque), ao invés de controlarem-nos de forma indireta por intermédio da tensão.

A transformação a,b,c → d,q é feita através de duas transformadas. A primeira delas é a Transformada de Clarke, que faz a transformação do sistema a,b,c → α,β, um

sistema ortogonal de dois eixos, como pode ser visto na Figura (2), extraída da Microsemi [1].

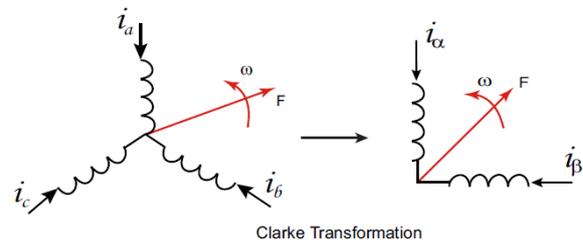


Figura 2. Transformação de Clarke

A transformação segue as Eq. (1) e (2), de acordo com [2]:

$$I\alpha = I_a \quad (1)$$

$$I\beta = \frac{(I_a + 2 \cdot I_b)}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Em seguida, é realizada a transformação α,β → d,q, denotada pela Transformação de Park, vista na Figura (3), extraída de [2].

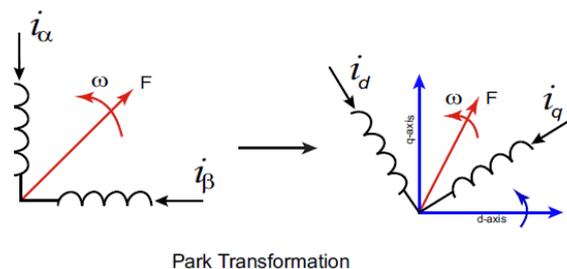


Figura 3. Transformação de Park

Cujas matemática é tratada nas Eq. (3) e (4), propostas em [2].

$$I_d = I\alpha \cdot \cos(\theta) + I\beta \cdot \sin(\theta) \quad (3)$$

$$I_q = I\beta \cdot \cos(\theta) - I\alpha \cdot \sin(\theta) \quad (4)$$

Onde θ é o ângulo do fluxo magnético gerado pelos ímãs permanentes do rotor em relação a um eixo 90° atrasado do eixo da fase A. Logo, o sistema d,q gira na velocidade síncrona.

Com as correntes I_d e I_q , é possível realizar o controle devido das grandezas envolvidas no motor, já que o torque e o fluxo magnético agora são controlados independentemente.

2.3 Esquemático simplificado do controle vetorial

O sistema de controle proposto faz com que a máquina siga uma velocidade de referência. Isto é feito através de um controle realimentado, que pode ser visto na Figura (4), extraída da Texas Instruments [3].

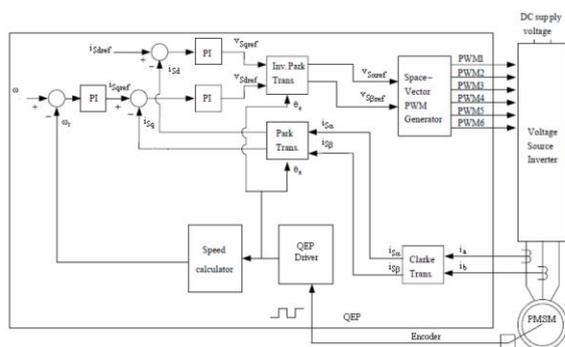


Figura 4. Esquemático do Controle Vetorial

Onde as grandezas denotadas com um subscrito “ref” são as grandezas de referência. Os controladores PI são responsáveis tanto pelo seguimento de referência como pelas transformações de unidades.

3. DETALHAMENTO DO PROJETO FÍSICO

Este projeto consiste na programação de um microcontrolador que será utilizado como sistema de processamento e controle de um motor síncrono trifásico, de um protótipo em pequena escala, cuja finalidade é estudos de desenvolvimento, para futuramente uma implementação em grande escala.

3.1 Detalhes da pequena escala

O projeto foi desenvolvido para um motor síncrono de rotor bobinado de 4kVA

do fabricante brasileiro WEG, modelo ART 4. As baterias de tração presentes em um veículo serão representadas por uma retificação da rede trifásica, resultando em aproximadamente $311V_{DC}$.

3.2 Esquemático simplificado do projeto

A implementação física do projeto seguirá o diagrama visto na Figura (5).

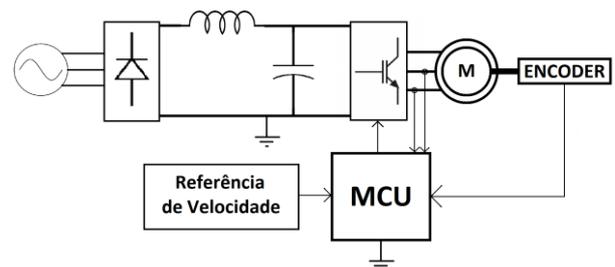


Figura 5. Esquemático Simplificado do Projeto

Onde pode-se observar tanto o circuito de potência como o de controle.

O circuito de potência é composto por um retificador trifásico e um inversor trifásico. O retificador fará parte apenas do protótipo, tendo em mente que em um veículo, a fonte DC será um banco de baterias.

Já o circuito de controle é composto de sensores de corrente, um *encoder* (cuja finalidade é medir a posição e a velocidade do eixo), uma referência de velocidade (um potenciômetro) e o microcontrolador LAUNCHXL-F28379D, da Texas Instruments.

4. DETALHAMENTO DA PROGRAMAÇÃO

Foi utilizado um microcontrolador de performance da linha C2000 da Texas Instruments, cuja finalidade é estabelecer o controle vetorial e garantir que o motor siga uma velocidade de referência.

4.1 Detalhamento da ferramenta

O microcontrolador LAUNCHXL-F28379D, do fabricante Texas Instruments,

foi programado através do software MATLAB, com a ferramenta Simulink. Foi utilizada uma expansão chamada “*Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors*”, disponível para download gratuito. Esta expansão permite que o microcontrolador seja programado visualmente por blocos no Simulink.

4.2 Esquemático da programação

Dispondo de duas CPUs, o microcontrolador LAUNCHXL-F28379D utiliza uma delas para controle, e a outra, para proteção. O diagrama do programa da CPU 1, dedicada ao controle, pode ser visto na Figura (6).

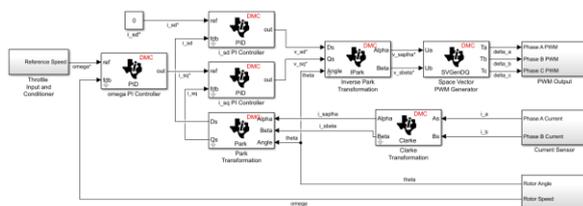


Figura 6. Esquemático de Programação da CPU 1

As grandezas de referência são denotadas com um asterisco.

Nota-se que o fluxo de controle da Figura (6) é igual ao da Figura (4), pois trata-se de sua implementação para programação do microcontrolador. Os controladores PI, as Transformadas de Clarke e Park, e suas transformadas inversas, são feitas por blocos originais da própria extensão.

A referência de velocidade, denotada por ω^* , irá vir de uma leitura de um potenciômetro, e, então, processada para que seja feito um referencial de velocidade.

Já a Figura (7) mostra a CPU 2, responsável pela proteção do sistema.

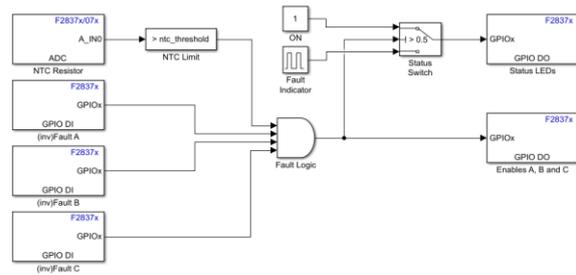


Figura 7. Esquemático de Programação da CPU 2

Os drivers para *gate* dos IGBTs possuem portas digitais de entrada e saída, que recebem um sinal de ativação e enviam dados de falha. Pelo processamento da CPU 2 do microcontrolador utilizado, os sinais de ativação serão altos apenas se todos os sinais de falha de lógica invertida forem altos, incluindo a leitura de um termistor NTC presente no módulo inversor, garantindo, então, que o inversor não funcione em caso de falha, evitando danos às chaves ou ao motor.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Extraído do website “https://www.researchgate.net/publication/289495669_Rare-earth-free_propulsion_motors_for_electric_vehicles_A_technology_review”, acesso em 22/09/2017
- [2] Microsemi, “Field Oriented Control of Permanent Magnet Synchronous Motors – User’s Guide”, revisão 0.
- [3] Texas Instruments, “Sensored Field Oriented Control of 3-Phase Permanent Magnet Synchronous Motors”.