

## CONTROLE PREDITIVO TOLERANTE A FALHAS

Vinícius Cidral de Almenau <sup>1</sup>, Mariana Santos Matos Cavalca <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Acadêmico (a) do Curso de Engenharia Elétrica – CCT – Bolsista PROBIC/UDESC

<sup>3</sup> Orientadora, Departamento de Engenharia Elétrica – CCT – mariana.cavalca@udesc.br

<sup>4</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – CCT

Para o estudo dos controladores preditivos tolerante a falhas, foi utilizado alguns conceitos sobre modelagem de plantas dinâmicas, para que fosse possível extrair um modelo matemático em variáveis de estado. Para que pudesse ser modelado facilmente, foi utilizado um circuito RC simples podendo assim dedicar maior parte do tempo ao estudo dos controladores preditivos tolerante a falhas. Primeiramente foi estudada a técnica de controle preditivo por matriz de dinâmica e posteriormente por variáveis de estado.

Entre a vasta gama de controladores digitais encontra-se o controle preditivo baseado em modelo, MPC (Modelo Preditivo de Controle), que utiliza um modelo matemático da planta para estimar o estado futuro decorrente de uma alteração nas variáveis manipuladas do processo. Somente a entrada referente ao instante atual é realmente aplicada na planta, por mais que a solução seja um conjunto de entradas para os instantes futuros. Tal fato é denominado horizonte retrocedente, e é utilizado para que a cada período de amostragem as informações da realimentação sejam avaliadas pela malha de controle. As previsões são feitas em malha aberta, assim os erros entre as saídas futuras e seus valores previstos não são empregados no cálculo. [4]

Proposto em 1979 por Cuttler e Ramaker, ambos engenheiros da Shell, o modelo DMC (Dynamic Matrix Control) foi um dos primeiros estudados dentre as estratégias MPC e é um dos métodos mais aceitos no meio acadêmico e industrial [2]. Caracteriza-se pela utilização de um modelo de convolução baseado na resposta ao degrau unitário do processo [1]. Foi realizado o desenvolvimento do controlador e aplicado em uma planta real (circuito RC), tendo como variável controlada a tensão sobre o capacitor. A base do código está em obter a função de transferência da planta em malha aberta, e aplicar uma função degrau na planta, mediante o comportamento estimasse um horizonte de previsão e gerasse a matriz de dinâmica, que é responsável por manipular o peso de controle de maneira a levar a variável manipulada até o valor de referência.

O controle preditivo em modelo por variáveis de estado como o nome já diz consiste em expressar as equações da planta de forma matricial, e utilizar as matrizes discretizadas para calcular o ganho do controlador assim como no DMC, no entanto não é necessário aplicar um degrau na planta para obter este ganho, é preciso apenas das matrizes de estado discretizadas. Uma particularidade do método de variáveis de estado é lidar com as perturbações e restrições do sistema, pois podem ser equacionadas dentro das matrizes de estado, o que melhora a ação de controle [3].

Controladores preditivos são muito úteis para processos que necessitam de um controle robusto, pois são desenvolvidos para se autoajustar e estabilizar em uma referência definida, e quando o sistema vence o período transiente se o sistema sofrer alguma variação no valor lido, por conta de alguma perturbação na planta, o controlador vai atuar com base nos valores já lidos para atualizar os parâmetros e corrigir os erros, de maneira que a saída alcance o valor de referência novamente.

A planta (circuito RC de 1ª ordem) utilizada foi a mesma para os dois controladores, porém no controlador por matriz de dinâmica a planta era física, com um resistor de 20kΩ e um capacitor

de 1000μF em série, o que gera uma função de transferência  $G(s) = \frac{1}{s + \frac{1}{RC}}$ . O tempo de

acomodação da planta é 3.91s. A Figura 1 apresenta a resposta do circuito ao controlador que é a variável  $y(k)$  e a ação de controle  $u(k)$ , no meio do período de amostragem foi alterada a referência, para forçar uma nova ação de controle.

Para o controlador por variáveis de estado foi utilizado um circuito RC série com resistor de 1kΩ e capacitor de 10nF, porém não de forma física, mas sim emulada segundo o método de Euler, o que é muito comum de se fazer antes de migrar para uma planta física. Para o controlador por variáveis de estado é necessário a função de estado da planta, para este circuito é

$\dot{V}_c = \left[-\frac{1}{RC}\right]V_c + \left[\frac{1}{RC}\right]V$ . A Figura 2 apresenta a resposta do circuito ao controlador, e também houve uma mudança na referência, de modo a forçar a ação de controle.

As técnicas de controle preditivo vêm provando seu valor, e estão cada vez mais sendo aplicadas em diversas situações. A planta utilizada é bastante simples, mas, didática o que facilitou a implementação dos controladores e uma familiaridade com os métodos, o desafio agora é a aplicação dos controladores em plantas com um maior número de variáveis e restrições como por exemplo motor elétrico.

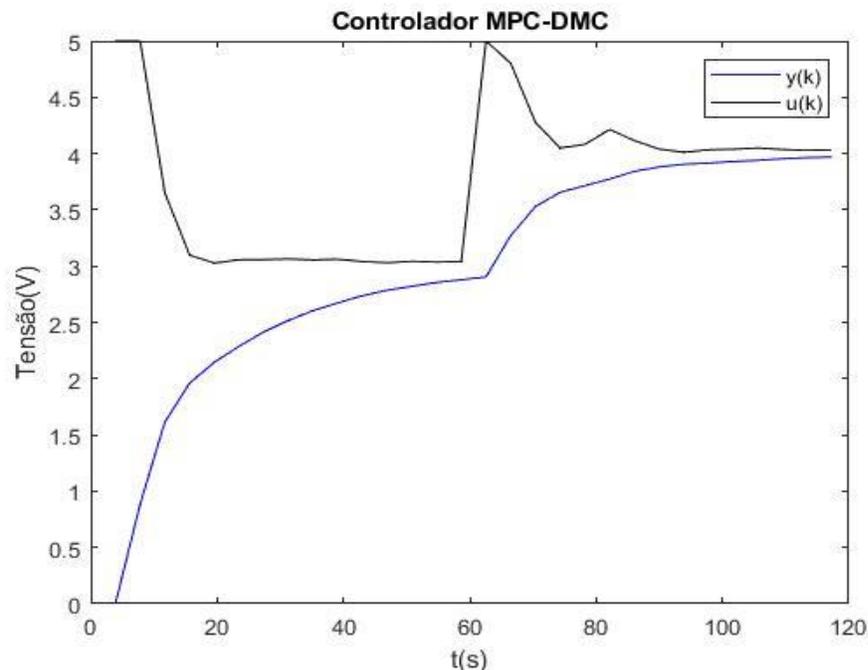
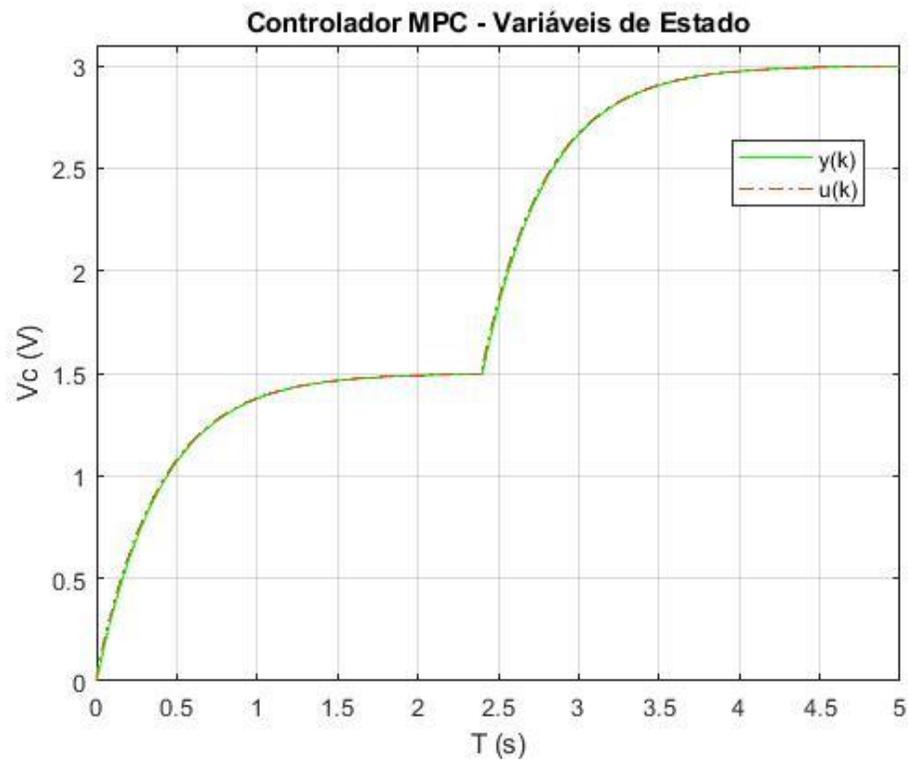


Figura 1 - Controlador MPC-DMC



**Figura 2 - Controlador MPC - Variáveis de Estado**

### Referências:

- [1] CEVINSKI, André. **Estudo e aplicação de métodos de sintonia para a técnica DMC**. 2016. 72 f. TCC (Graduação)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Curso de Engenharia Elétrica, Joinville, 2016. Disponível em:  
<http://sistemabu.udesc.br/pergamumweb/vinculos/00001e/00001e9e.pdf>.
- [2] SHELL OIL COMPANY. PRETT, David; RAMAKER, Brian; CUTLER, Charles. Dynamic Matrix Control Method. US4349869 A, 14 set. 1982.
- [3] MACIEJOWSKI, J. M. Predictive Control with Constraints. Prentice Hall, Harlow, England, 2002.
- [4] SANTORO, B.F. Controle Preditivo de Horizonte Infinito para Sistemas Integradores e com Tempo Morto, 2011. Disponível em:  
[www.teses.usp.br/teses/.../3/.../Dissertacao\\_Bruno\\_Faccini\\_Revisada.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/.../3/.../Dissertacao_Bruno_Faccini_Revisada.pdf)

**Palavras-chave:** DMC-MPC, Modelo preditivo de controle, Variáveis de estado.