DAS5210 - Introdução ao Controle de Processos

Prova 1

José Fernando Rosa Ribeiro

Questão 1

Em nosso sistema, desejamos controlar a velocidade angular $\omega(t)$ do eixo de rotação de um motor através da manipulação da tensão do circuito de acionamento $u(t)$. A descrição do sistema consta nas instruções da prova, motivo pelo qual não será objeto desse relatório. A nossa variável de controle aqui é $\omega(t)$, e atuaremos sobre a variável manipulada $u(t)$ a fim de obter os valores desejados de $\omega(t)$, nunca deixando de levar em conta eventuais perturbações do sistemea, aqui representados por $q(t)$.

A fim de iniciar, precisamos montar o sistema não linearizado no ambiente de modelagem de sistemas dinâmicos Simulink. A planta de malha aberta que obtive é a que se segue. É importante ressaltar que esse modelo nada mais é do que uma representação no ambiente de modelagem das equações fornecidas.

Além disso, ressalto que, como uma perturbação, $q(t)$ contribui negativamente com o equilíbrio do sistema. Por este motivo, a entrada do somador a que $q(t)$ está ligada é negativa. Perturbações são sinais que podem interagir com o processo que estamos modelando a ponto de interferir controle do sistema de controle em questão. A fim de garantir a qualidade do controle exercido, pode ser necessário levá-las em conta no desenho do nosso sistema.

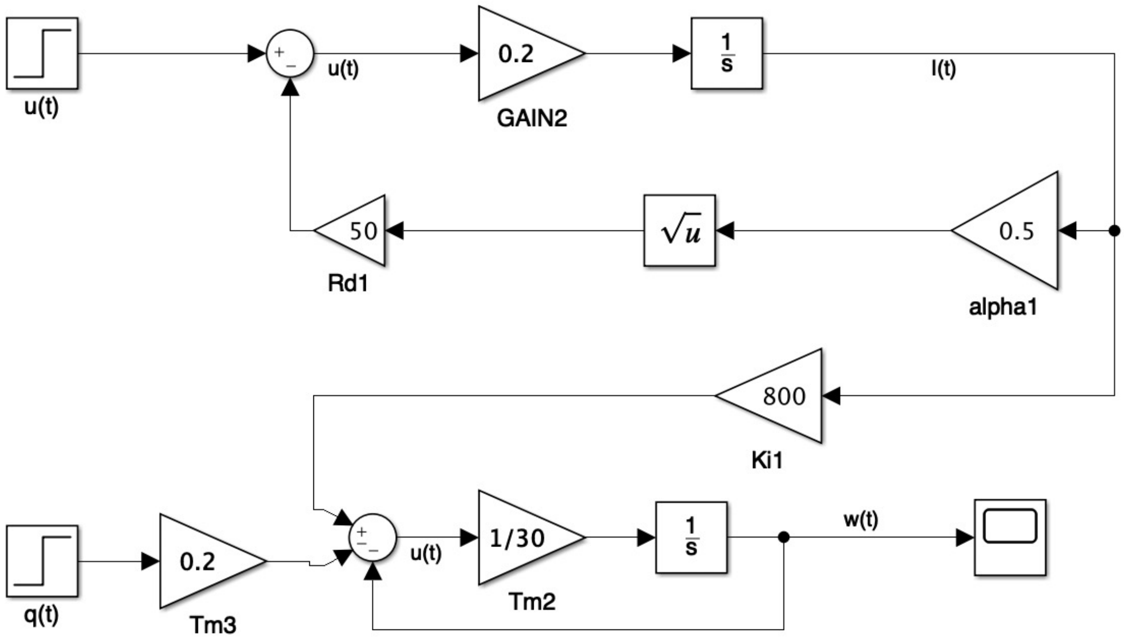

Figura 1: Diagrama do sistema não-linearizado no Simulink.

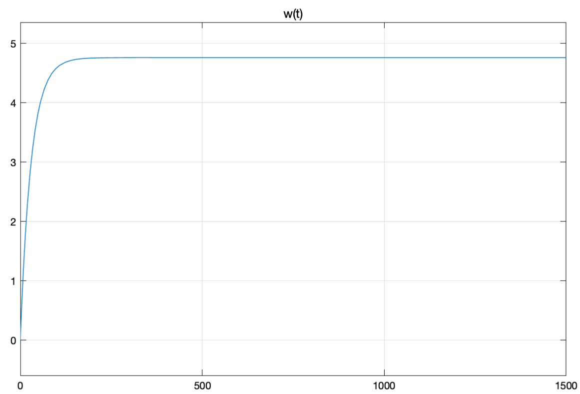

Figura 2: Gráfico da variação de $\omega(t)$ com u(t)=5 e degrau q(t-1)=5

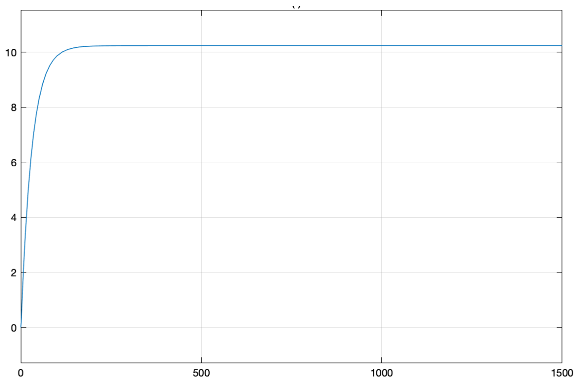

Figura 3: Gráfico da variação de $\omega(t)$ com degrau u(t-1)=3 a 4 e q(t)=0

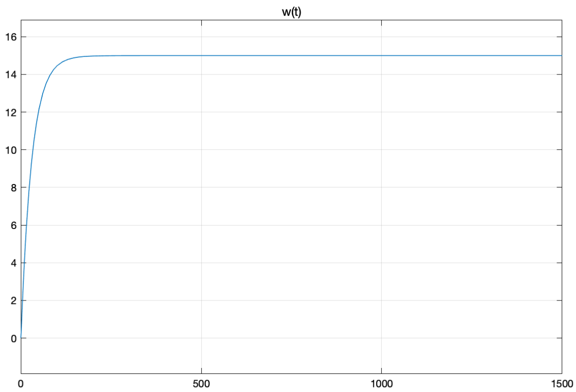

Figura 4: Gráfico da variação de $\omega(t)$ com u(t-1)=4 a 5 e q(t)=5

Podemos observar que os pontos de convergência para $\omega(t)$ variam bastante com o nível de perturbação presente no sistema.

Questão 2

Dada a equação linearizada

$$\zeta_L \frac{d\Delta i(t)}{dt} + \Delta i(t) = K_L \Delta u(t) \tag{1}$$

montamos o sistema:

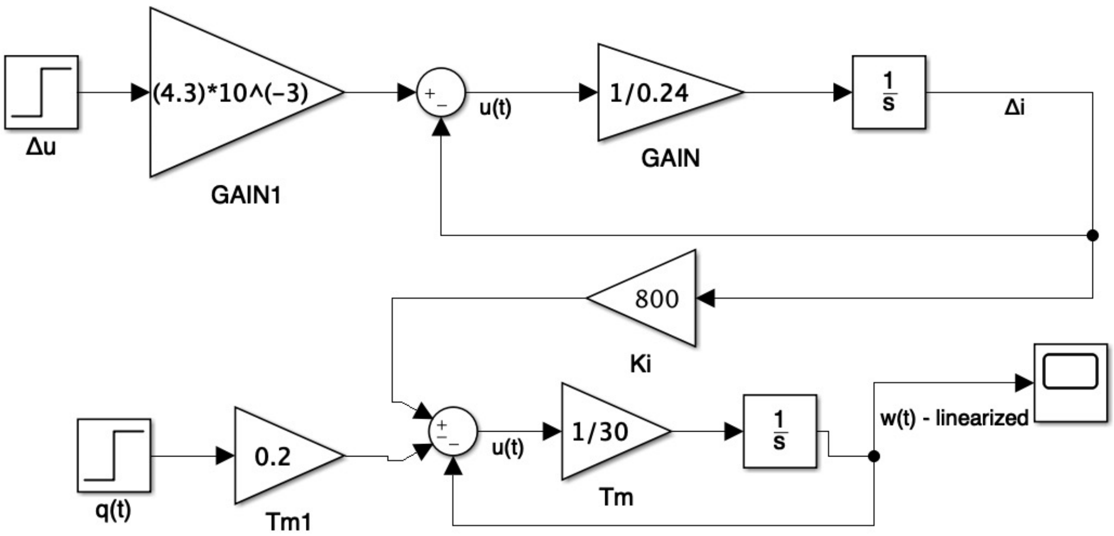

Figura 5: Diagrama do sistema linearizado.

Questão 3

Podemos observar através da figura que os valores do sistema linarizado não distam muito daqueles da forma não-linearizada. No entanto, não se espera que essa linearização seja precisa para todo o domínio $i(t) \in [0, 20]mA$. É esperado que ela seja tão precisa quanto mais perto estivermos do ponto de equilíbrio escolhido $i = 7.2mA$.

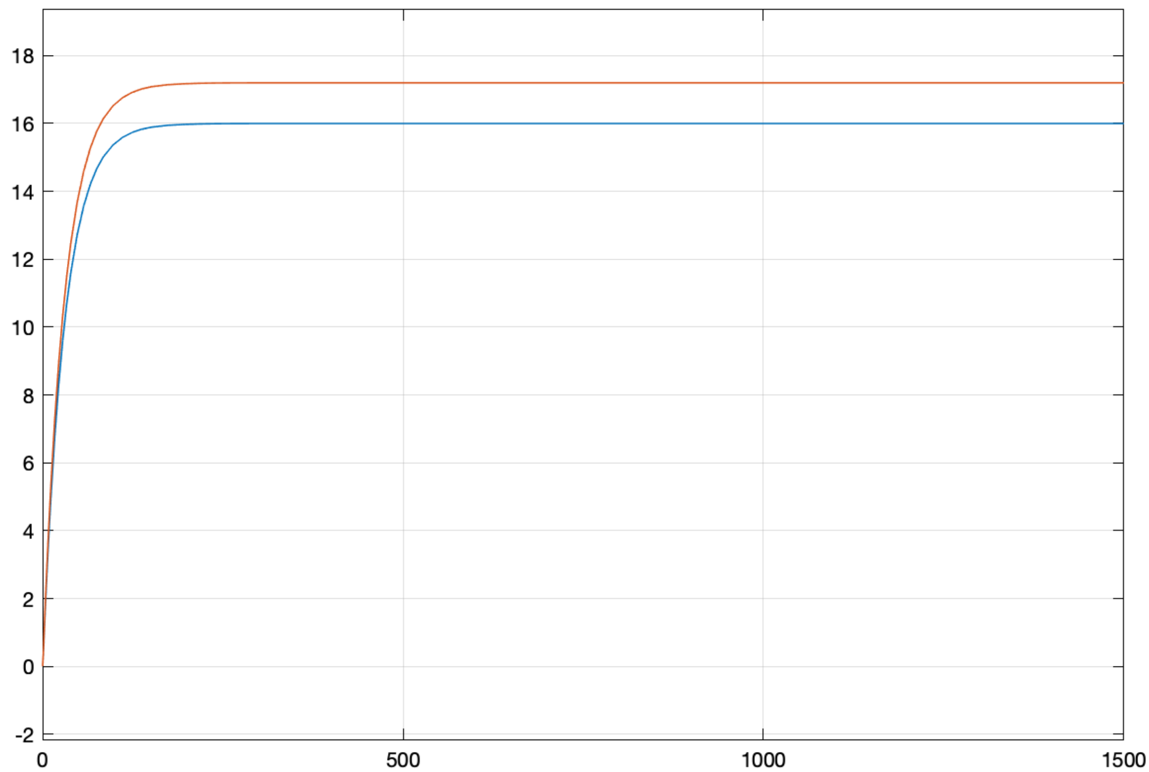

Figura 6: Gráfico da comparação entre o sistema nas formas linearizada e não-linearizada.

Questão 4

Itens a e b

Tanto o código utilizado para estudar a simulação do sistema qunato a o esquema da planta no Simulink serão úteis para os próximos da questão 4. O código a seguir está implantado na nossa planta no bloco fcn. Esse bloco tem duas entradas e duas saídas. Como entrada, ele recebe tanto com o estado atual de $\omega(t)$ como uma informação da memória sobre a atuação sobre o bloco. A saída dessa função envia o sinal de atuação em $u(t)$ e salva na memória o estado da atuação (ativa ou não). Essa foi a solução encontrada para a implementação de uma estratégia de controle on/off da velocidade angular que a mantivesse entre 5 e 15 rad/s.

O controle é ativado quando a velocidade se encontra abaixo de $5rad/s$. Quando está ativo, envia $u(t) = 5V$ a fim de retomar $\omega(t) = 15rad/s$. Neste patamar, desativamos o controle sobre a nossa variável manipulada $u(t)$, até que a velocidade angular se encontre novamente abaixo de $5rad/s$. Cabe ressaltar que este sistema envia $u(t) = 1V$ quando o controle está inativo a fim de que não encontremos valores negativos no nosso sistema, o que violaria o domínio da função $V_D(t)$.

```
function [y1, y2]= fcn(u, m)

    lower_bound = 5;
    upper_bound = 15;
    active = m;

    if active
            y1 = 5;
    else
            y1 = 1;
    end

    if u≥upper_bound
            active = 0;
    elseif u≤lower_bound
            active = 1;
    end

    y2 = active;
```

Código 1: Código usado para controlar a planta

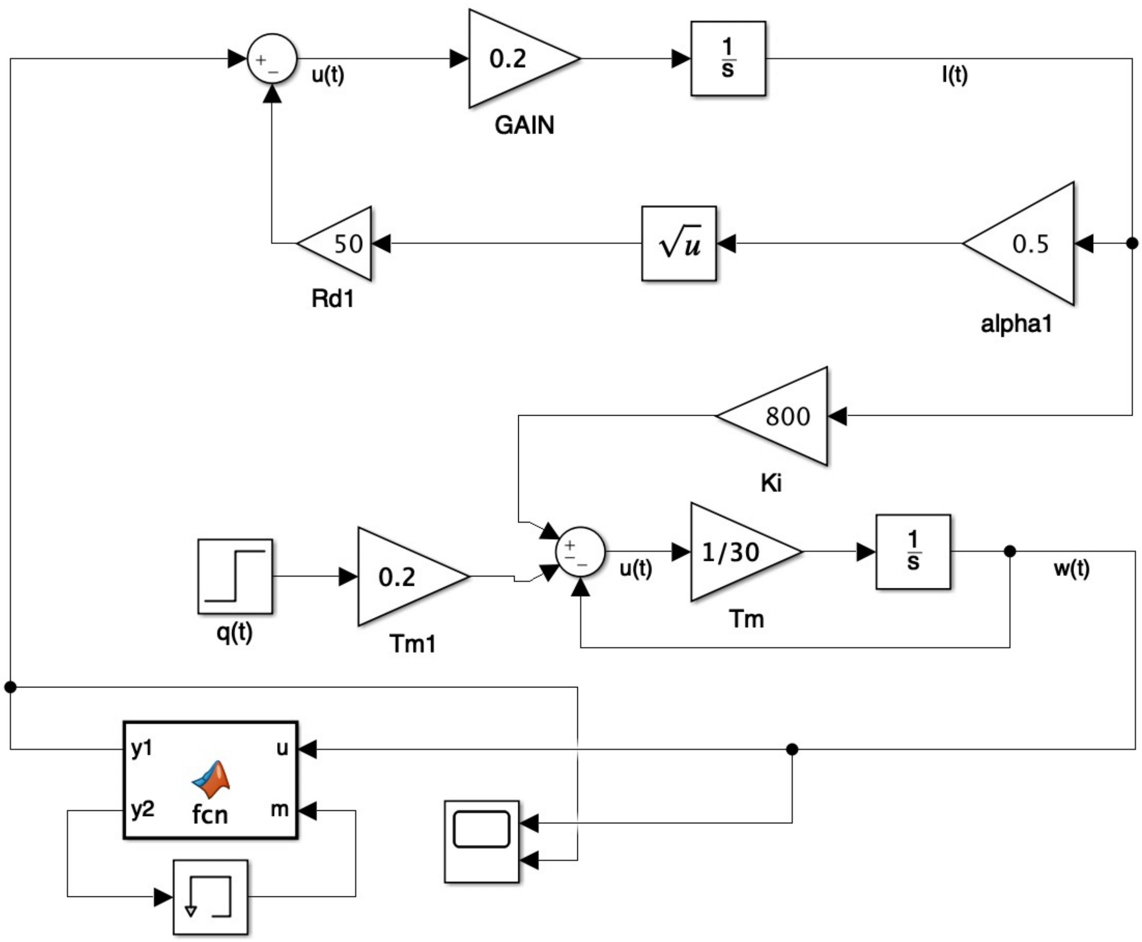

Figura 7: Esquema da planta no Simulink.

Item a

Podemos observar que neste gráfico as variáveis manipulada ($u(t)$) e controlada ($\omega(t)$) da planta para $\tau_q = 90s$ e uma perturbação de $Q(t) = 1N.m$.

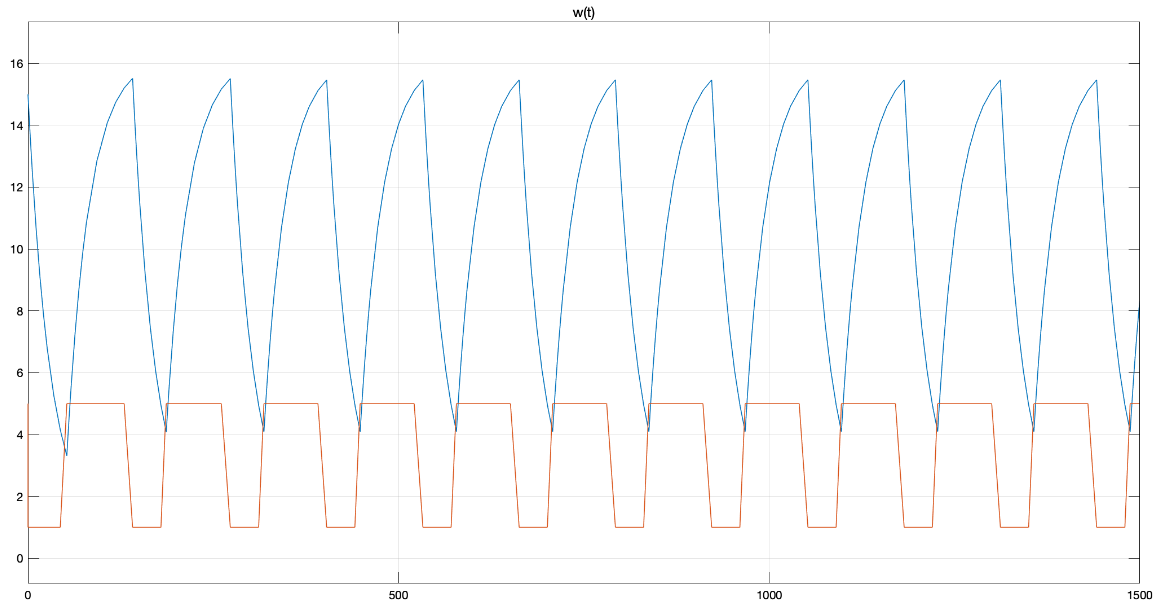

Figura 8: Gráfico de $u(t)$ (em vermelho) e $\omega(t)$ (em azul), respectivamente, para $Q(t) = 1N.m$

Item b

Neste gráfico, fazemos uma simulação do sistema com os mesmos parâmetros que o anterior, alterando apenas a perturbação $Q(t)$ para $Q(t) = 5N.m$. É interessante notar como o tempo de atuação sobre a variável manipulada aumenta sensivelmente entre a situação anterior e a atual. Isso é esperado, pois aqui situação há uma maior perturbação no sistema.

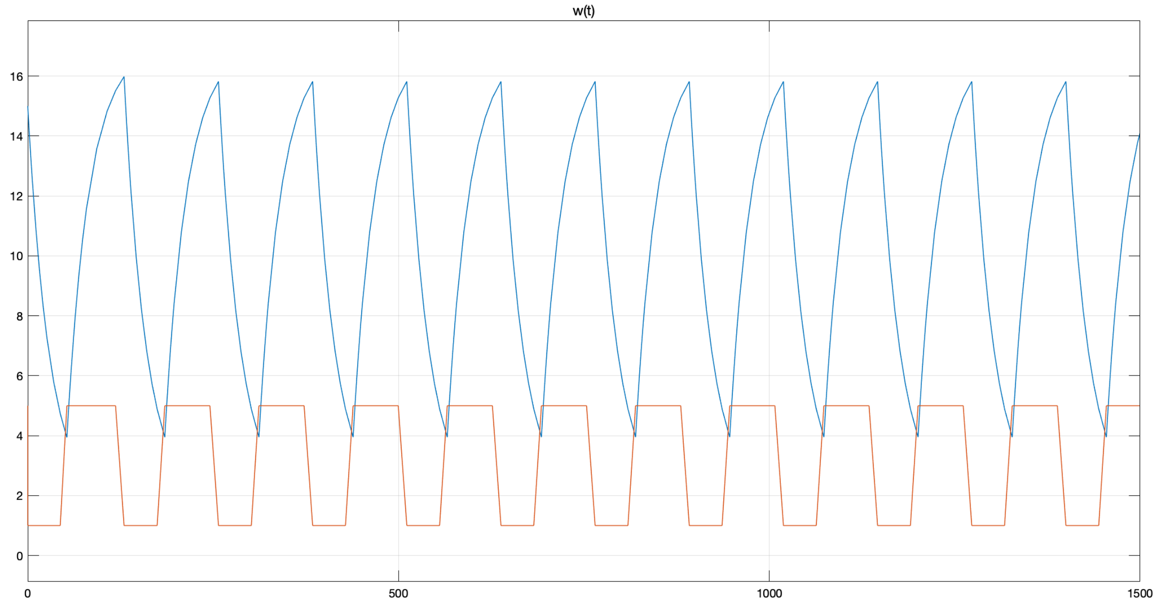

Figura 9: Gráfico de u(t) (em vermelho) e $\omega(t)$ (em azul), respectivamente, para $Q(t) = 5N.m$

Item c

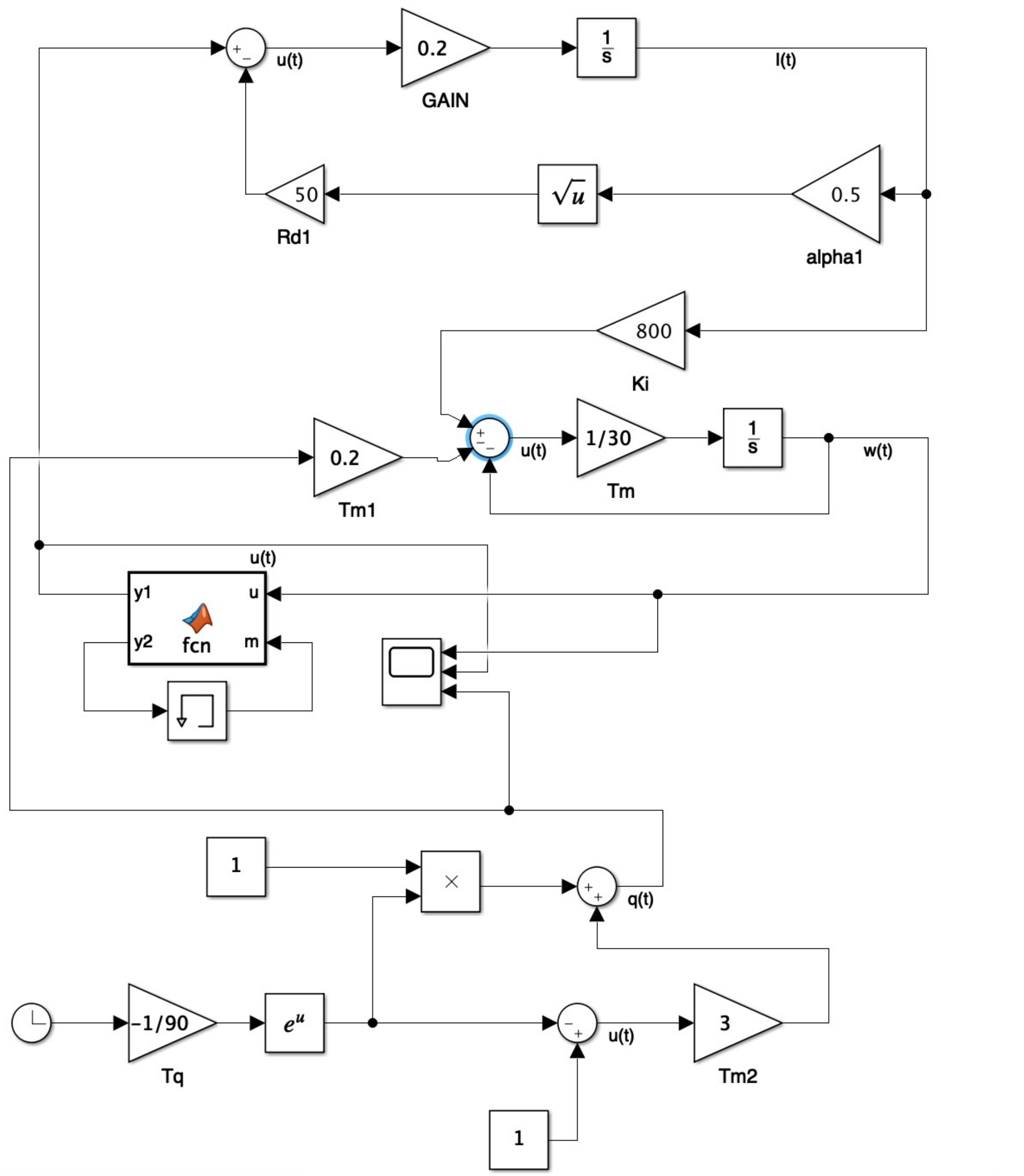

Figura 10: Esquema da planta no Simulink.

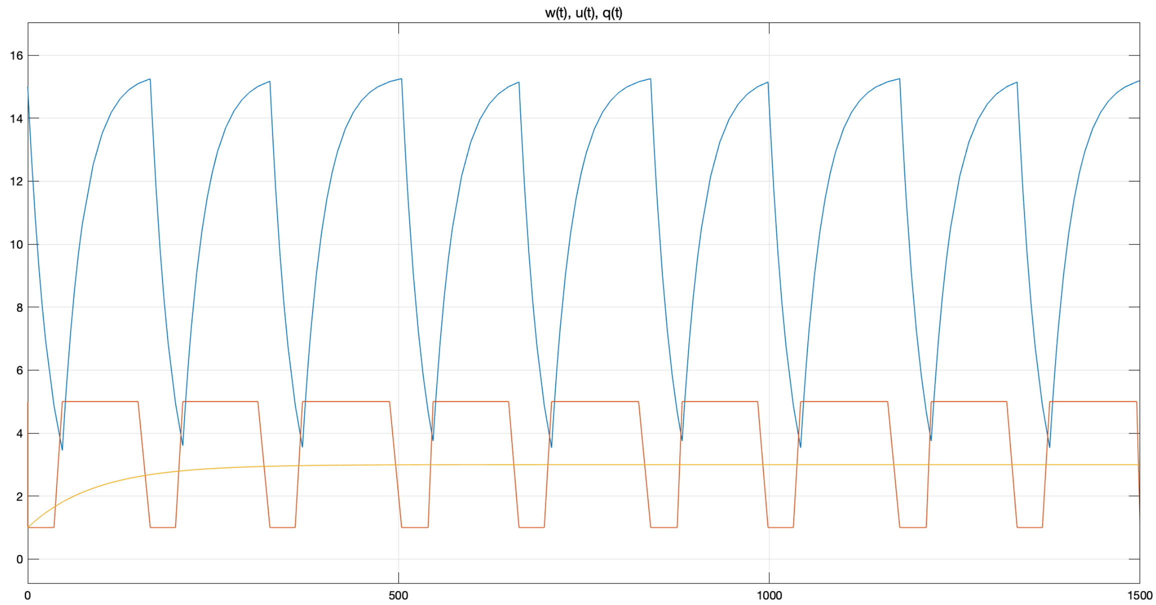

Figura 11: Gráfico de $u(t)$ (em vermelho) e $\omega(t)$ (em azul) e $q(t)$ (em amarelo.)

Questão 5

Sabemos que $V_D(t) + V_L(t) - u(t) = 0$. Mas como estamos em um ponto de equilíbrio, $V_L(t) = L\frac{di}{dt}(t) = 0$. Portanto, $V_D(t) = u(t)$.

E sabemos que $i(t)$ está dado na relação $V_D(t) = R_D\sqrt{\alpha i(t)}$. Isolando $i(t)$, temos:

$$(\frac{V_D(t)}{R_D})^2.\frac{1}{\alpha} = i(t) \tag{2}$$

Como $V_D(t) = u(t)$, teremos $(\frac{u(t)}{R_D})^2.\frac{1}{\alpha} = i(t)$. Mas nos interessa controlar a velocidade em malha aberta segundo a lei $u(t) = K_{MA}r(t)$. Teremos, portanto,

$$(\frac{K_{MA}r(t)}{R_D})^2.\frac{1}{\alpha} = i(t) \tag{3}$$

Como $\omega(t) = K_i i(t) + K_q q(t)$, pois estamos em um ponto de equilíbrio (isto é, $\frac{d\omega}{dt} = 0$), teremos

$$\omega(t) = K_i((\frac{K_{MA}r(t)}{R_D})^2.\frac{1}{\alpha}) + K_q q(t) \tag{4}$$

Isolando K_{MA}:

$$K_{MA} = \frac{R_D}{r(t)}\sqrt{\frac{\alpha(\omega(t) - K_q q(t))}{K_i}} \tag{5}$$

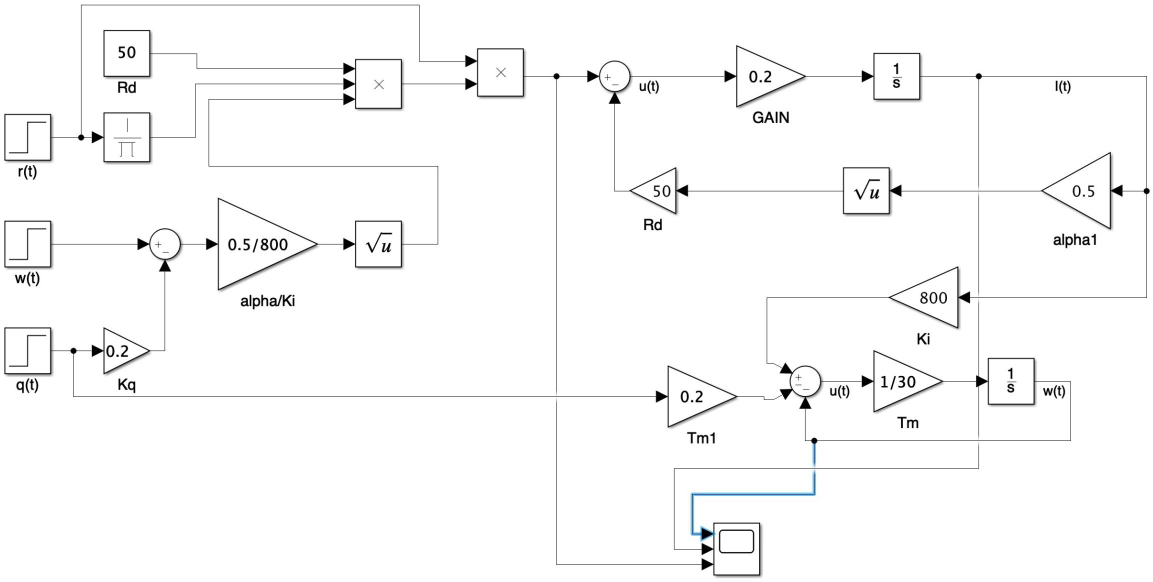

Figura 12: Esquema da planta com controle de malha aberta no Simulink.

Questão 6

Em teoria, o controle em malha aberta torna o processo menos robusto em termos de rejeição de perturbações, embora possa haver um maior seguimento de referência para sistemas sem perturbações. A estratégia on-off, por ser realimentada, empresta mais robustez ao sistema a perturbações $q(t)$ do tipo degrau.