

Relatório da Tarefa 8: Revisão para prova.

Aluno: Mairon Schneider Cardoso.

Data: 15/06/2021

Número de matrícula: 17102515.

1 Introdução

No âmbito de sistemas de controle, no contexto da concepção de controladores, nessa disciplina, foi observado a ampla gama de técnicas que podem ser empregadas com o objetivo de projetar um controlador visando eficiência das características transientes, custo de projeto do controlador e empregabilidade. O estudo acerca das técnicas de prototipação do controlador, permite o correto discernimento da aplicação das técnicas em diferentes contextos, quando busca-se o melhor custo benefício entre os requisitos citados anteriormente. No decorrer do relatório, o controlador que será projetado tem como objetivo a garantir uma eficiência coerente com os três fatores comentado anteriormente, tendo em vista esse objetivo, será de suma importância o emprego de diversas técnicas já vistas na disciplina.

2 Resultados e Discussões

O projeto de controladores tem como ponto de partida a obtenção da equação de transferência da planta que desejamos controlar. Tratando-se de um sistema eletrônico, é possível extrair essa planta através da análise em domínio frequência, aplicando um degrau na sua entrada e extraindo a saída, outro método eficaz, e que foi empregado na concepção do controlador no presente relatório, são as técnicas de análise de circuitos especificamente as técnicas que se propõe a analisar as correntes, baseando-se na lei de Kirchhoff das correntes, a partir da diferença de tensão entre dois nós (método das tensões de nó). Ao aplicarmos o método, devemos obter duas equações que relacionam as tensões nos pontos de interesse com a corrente que percorre esses pontos (os cálculos através da análise de circuitos estão presentes no arquivo **cálculos.pdf**). Quando finalmente isolamos a equação em termos de $\frac{Y(s)}{X(s)}$, o que desejamos obter é a função de transferência da planta descrita através do circuito. A equação que descreve o comportamento do circuito pode ser observada através da equação 1.

$$G(s) = \frac{60s^2 + 123s + 6}{280s^3 + 636s^2 + 319s + 8} \quad (1)$$

Na tentativa de verificar a veracidade da equação obtida, foi construído o diagrama de Bode da planta $G(s)$, em paralelo, por meio da simulação pelo *software* Micro-cap, é possível construir a resposta em frequência do circuito através do diagrama de Bode. A construção desses dois diagramas permitem-nos aferir a correta veracidade da equação encontrada em contraponto com a resposta em frequência do circuito. Portanto, observando as figuras 1 e 2 é factível afirmar que a equação descreve corretamente o circuito proposto, entretanto, é relevante notar que o diagrama de Bode obtido através do Matlab encontra-se com a frequência descrita em *rad/s*, já o Microcap descreve a frequência em termos de Hz.

A concepção do controlador para a planta $G(s)$ deve garantir para o sistema realimentado, um erro de regime permanente $E_r = 0$ (para uma entrada ao degrau), um tempo de acomodação menor que 30 segundos para uma tolerância de 2% e um máximo sobrepasso menor que 20%. O erro em regime permanente zero para uma entrada degrau é um requisito que pode ser atingido através de um controlador com característica puramente integrativa, entretanto, ao empregar somente um controlador com a característica integrativa, acabamos por piorar a estabilidade relativa do sistema o que se mostra uma decisão incoerente para o projeto, uma vez que a estabilidade relativa não deseja somente saber

se o sistema é ou não estável (estabilidade absoluta), ela também se preocupa em analisar o quão fortemente estável está. Portanto, como o objetivo a ser atingido nesse momento é um erro de regime permanente igual a zero, a implementação de um controlador proporcional-integral será mais eficiente no quesito esforço de controle que um somente com a característica proporcional (figuras 3 e 4), logo, a equação utilizada pelo controlador será descrita através da equação 2.

$$C_{PI}(s) = k \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s}\right) \quad (2)$$

O emprego desse tipo de controlador pode ser baseado nas tabelas vista na concepção dos controladores PIDs, considerando somente a coluna que especifica os valores apenas dos parâmetros do integrador e do proporcional. A tabela de Ziegler–Nichols tende a ser uma boa escolha como forma de controlar o sistema realimentado justamente pela resposta da planta do sistema assemelhar-se a uma resposta de primeira ordem. Entretanto, quando julgamos o comportamento da resposta ao degrau da planta, percebemos que o maior valor da segunda derivada será em um valor muito próximo a zero (figura 5), e essa aproximação dificulta o algoritmo em adquirir o correto valor para esse caso, logo a resposta do sistema realimentado será levemente diferente a da extraída através das funções do Matlab (figuras 6 e 7). A concepção através das tabelas PI é uma forma eficiente de se obter o controlador eficiente quando comparamos com as outras opções de controladores. Um controlador com um compensador *lag*, resolveria o erro de regime permanente, entretanto, o circuito ficaria extremamente lento (justamente pela necessidade de deslocar bastante o polo e zero do compensador para a esquerda), além disso, o *lead* também não é uma opção válida justamente por não mudar o erro de regime permanente. Além disso, com a aplicação de um controlador proporcional integrativo, acabamos por garantir a eficiência de esforço de controle (figura 8), o que é desejável e uma alta rejeição a perturbações do tipo degrau (figura 9), além de também garantir a redução de custos em engenharia e em espaço também.

A implementação do controlador na prática, é feito através do Microcap (figura 10). Dentro deste contexto, é necessário primeiramente empregar o amplificador operacional na configuração de seguidor de tensão para que seja possível isolar a planta e garantir que uma alta impedância de entrada seja conectada a um componente com baixa impedância de saída (considerando as idealidades do amplificador operacional), onde a alta impedância de entrada é justificável justamente pelo conceito do terra virtual. Logo em seguida, para a correta realimentação do sistema, é empregado um sensor (como resistor e *buffer*) com valor de $1\ \Omega$ na saída do seguidor de tensão, que corresponde ao valor 1 do denominador da fórmula do sistema realimentado. A soma do sinal de entrada com a realimentação unitária do sistema é possível através do uso do amplificador operacional na sua topologia de subtrator, onde essa topologia, nos permite subtrair dois sinais e amplificar a resposta (caso necessário).

A parte que é responsável por controlar a planta do sistema é descrita através da equação 3. A equação em questão, descreve o comportamento requisitado para construção do controlador proporcional integral, possuindo uma parte responsável pelo ganho proporcional garantida através da relação de resistores $-\frac{R_2}{R_1}$ e outra responsável por integrar o sinal de entrada de modo a também garantir um ganho (também com característica proporcional no integrador). A partir da equação do controlador proporcional integrador que foi deduzida, foi possível entregar tudo somente em uma topologia de amplificador, o que resultou em economia no custo em relação ao espaço gasto quando comparado ao tamanho que um controle proporcional integrador e derivador pode ocupar.

$$V_{out}(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int V_i(\tau) \cdot d\tau - \frac{R_2}{R_1} V_i(t) \quad (3)$$

A simulação do sistema realimentado nos retorna um comportamento semelhante ao observado através dos modelos matemáticos definidos pelo *software* MATLAB (figuras 11 e 12), garantindo que caso aplicássemos um controlador com a fórmula semelhante a exibida através da equação 2 com valor de k e T_i iguais a 1, obteremos uma curva semelhante em ambos programas.

3 Conclusões

Portanto, através dos experimentos propostos pelo relatório dessa semana, compreendemos como projetar um controlador através da observação do comportamento da função de transferência da planta $G(s)$, e também foi observado qual método não é adequado quando a planta exibe determinada característica, como ilustrado no relatório, vimos que nem sempre queremos empregar um compensador *lag* para solucionar uma especificação de regime permanente. Contudo, através dos controladores projetados, foi possível garantir a construção de um controlador proporcional integral em termos de circuitos eletrônicos, de modo a garantir um comportamento semelhante quando comparado ao modelo matemático extraído através do Matlab.

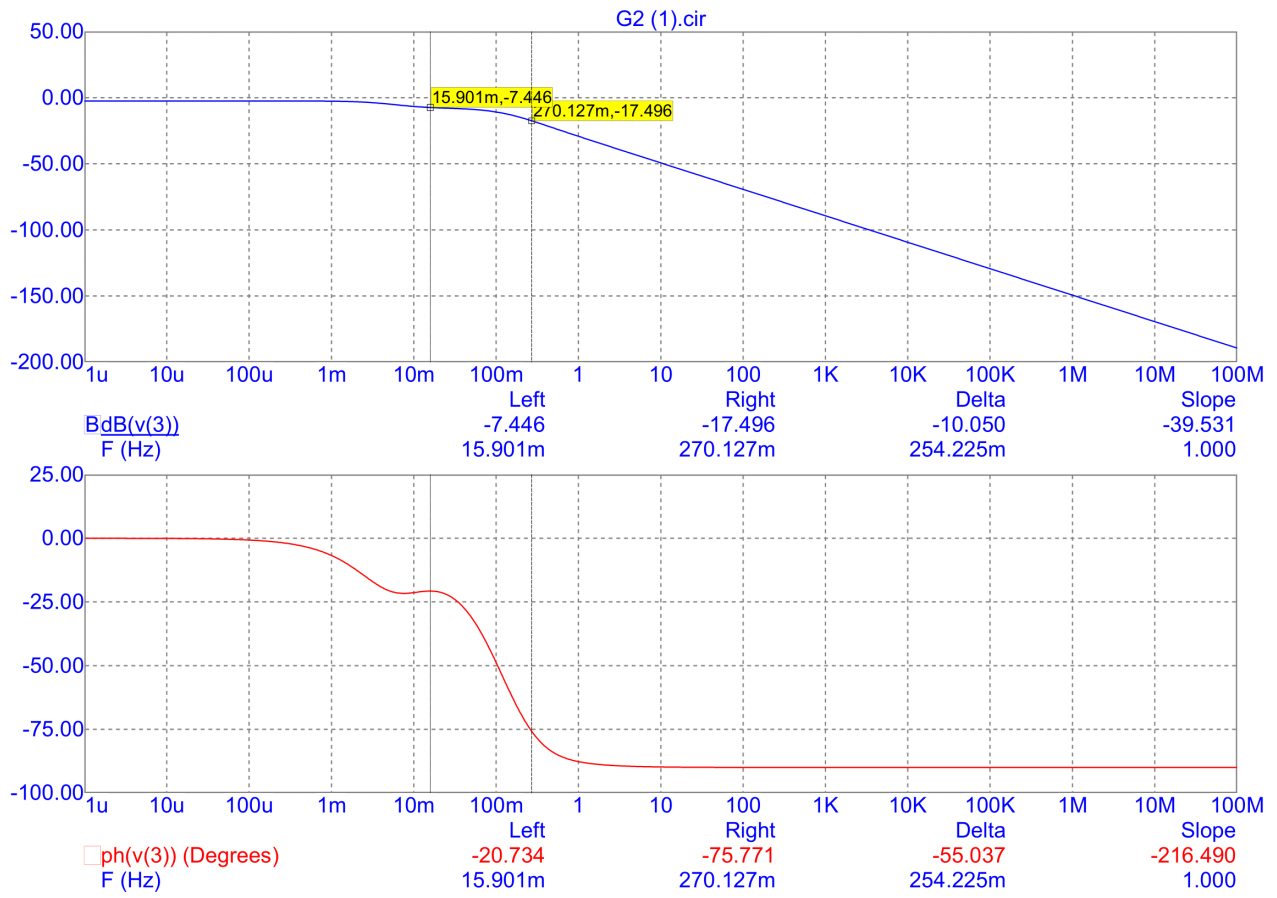


Figura 1: Diagrama de Bode do circuito. Extraído a partir do Micro-cap.

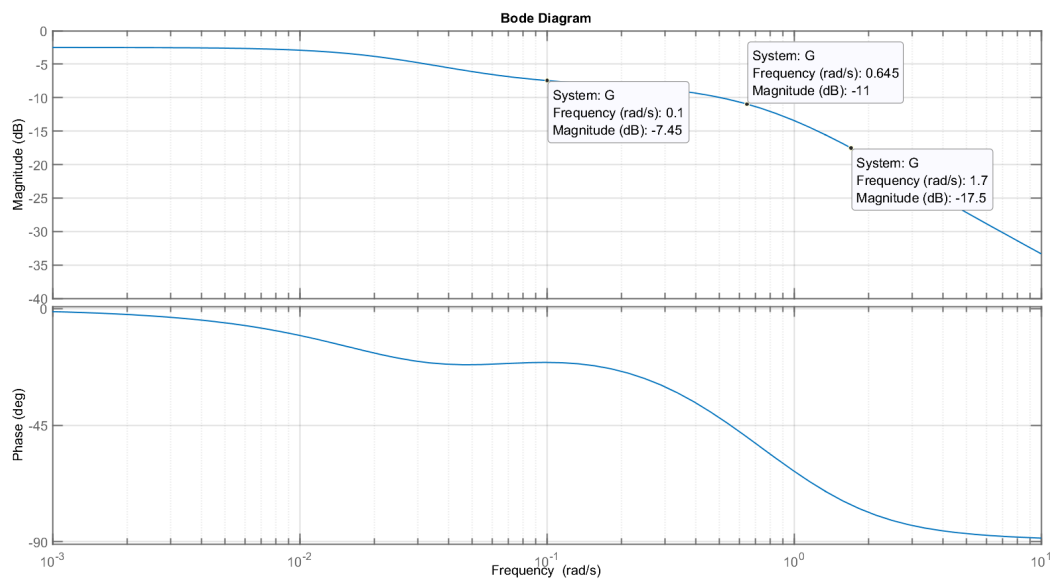


Figura 2: Diagrama de Bode do circuito. Extraído a partir do Matlab.

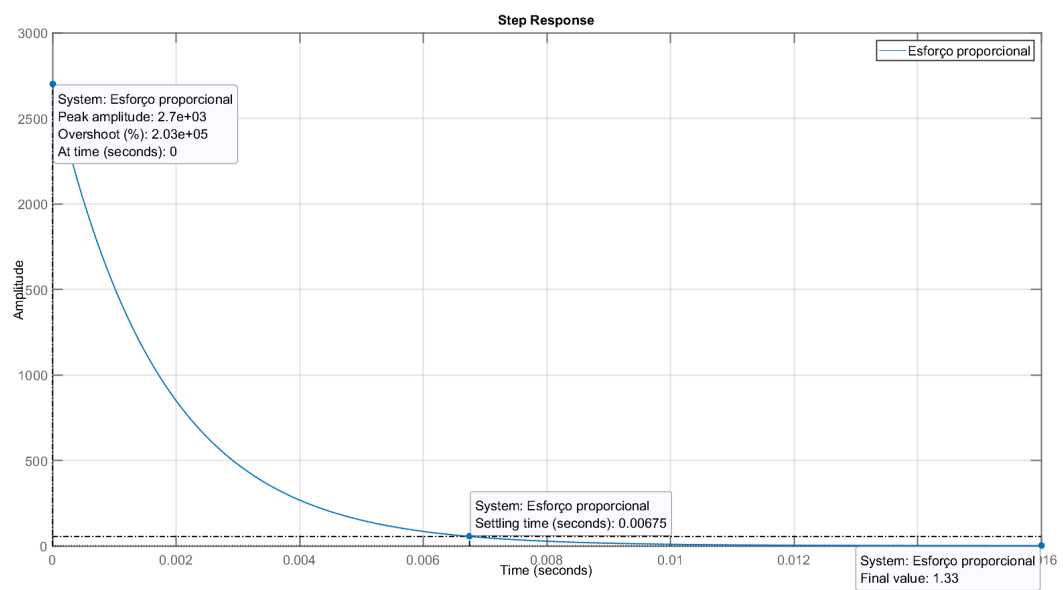


Figura 3: Esforço do controlador proporcional para garantir E_r igual a 0.

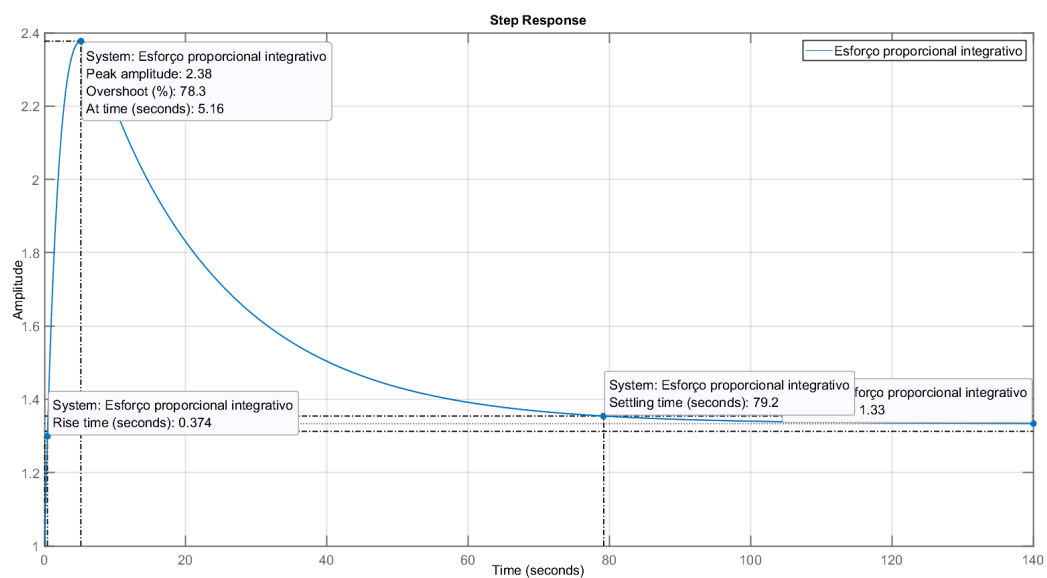


Figura 4: Esforço do controlador proporcional integrativo para garantir E_r igual a 0.

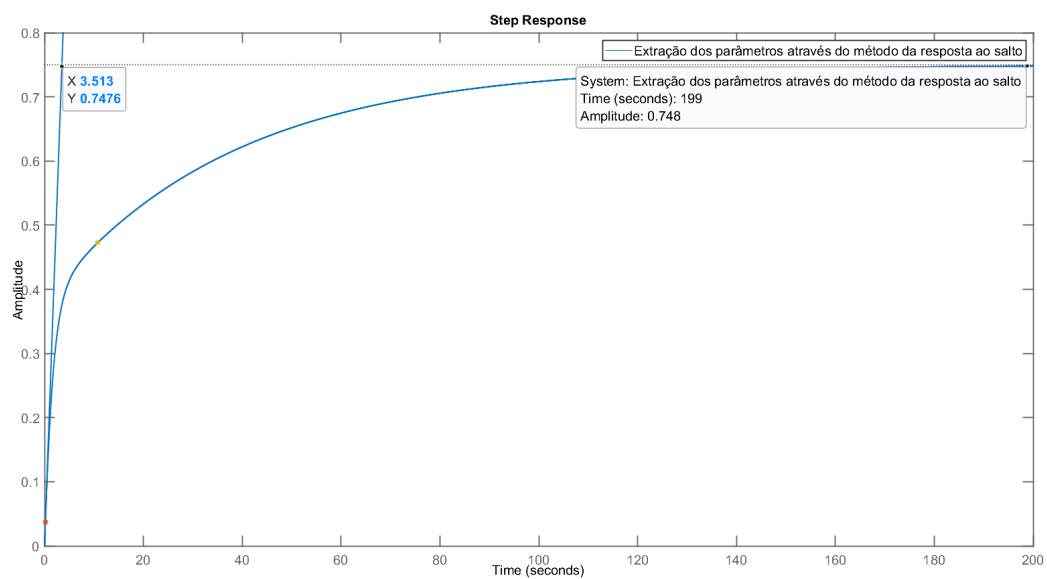


Figura 5: Resposta ao degrau da planta $G(s)$.

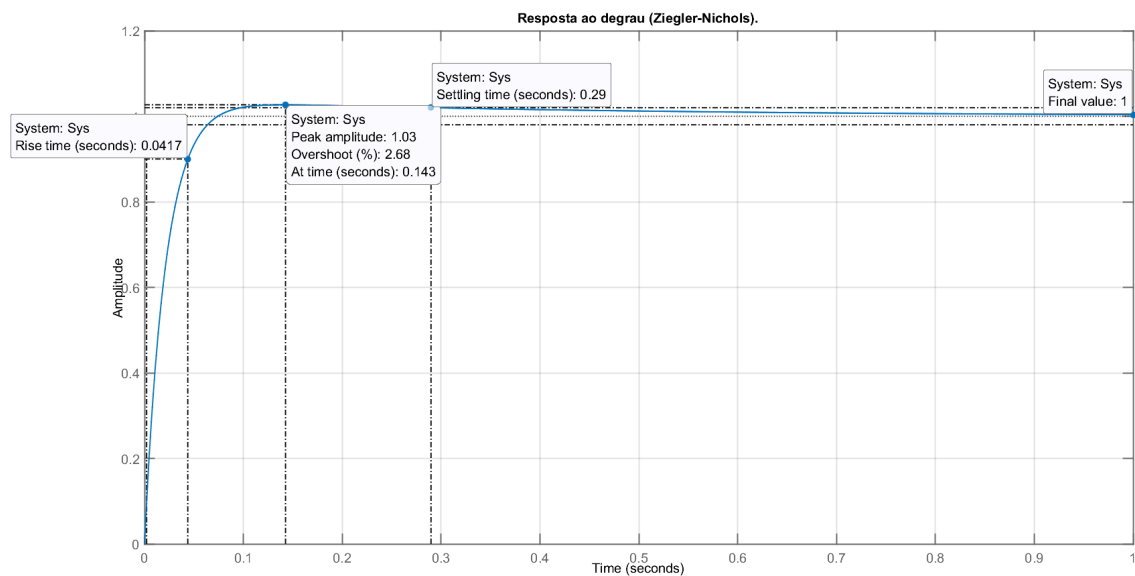


Figura 6: Sistema realimentado aplicando o controlador de acordo com a tabela de Ziegler-Nichols.

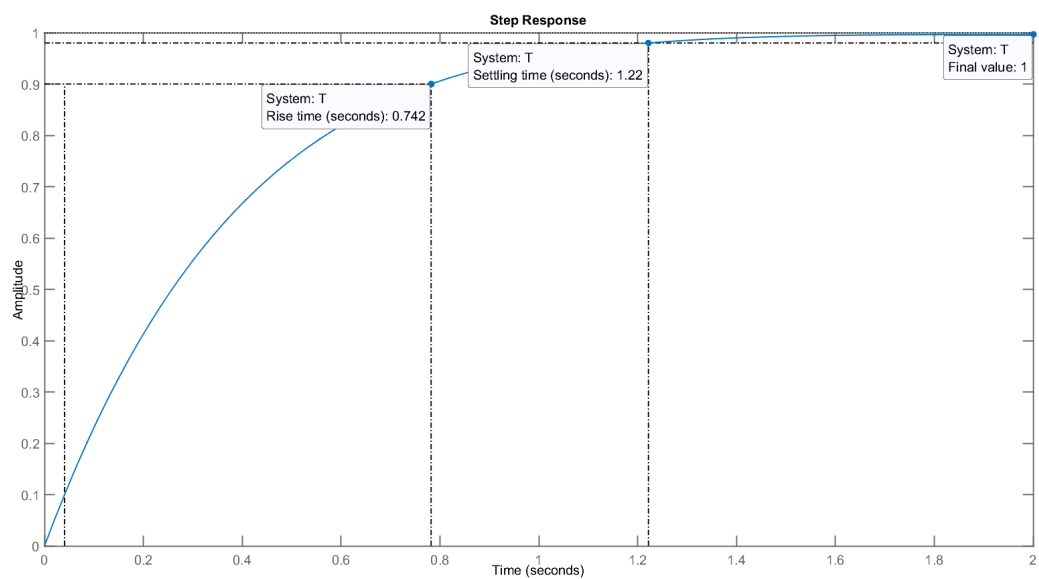


Figura 7: Sistema realimentado aplicando o controlador de acordo com a tabela de Ziegler-Nichols pela ferramenta *sisotool*.

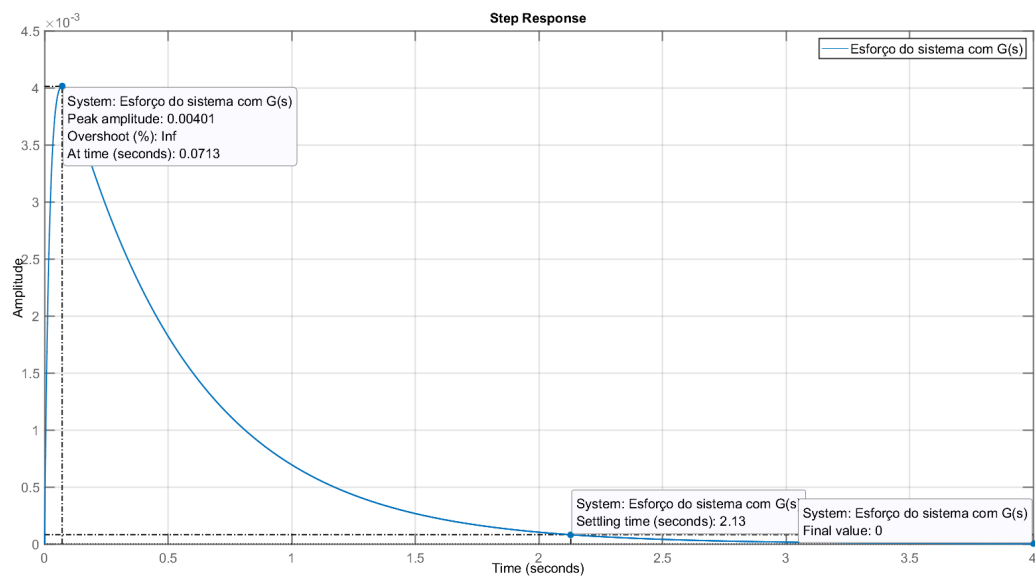


Figura 8: Esforço do sistema realimentado aplicando o controlador de acordo com a tabela de Ziegler-Nichols.

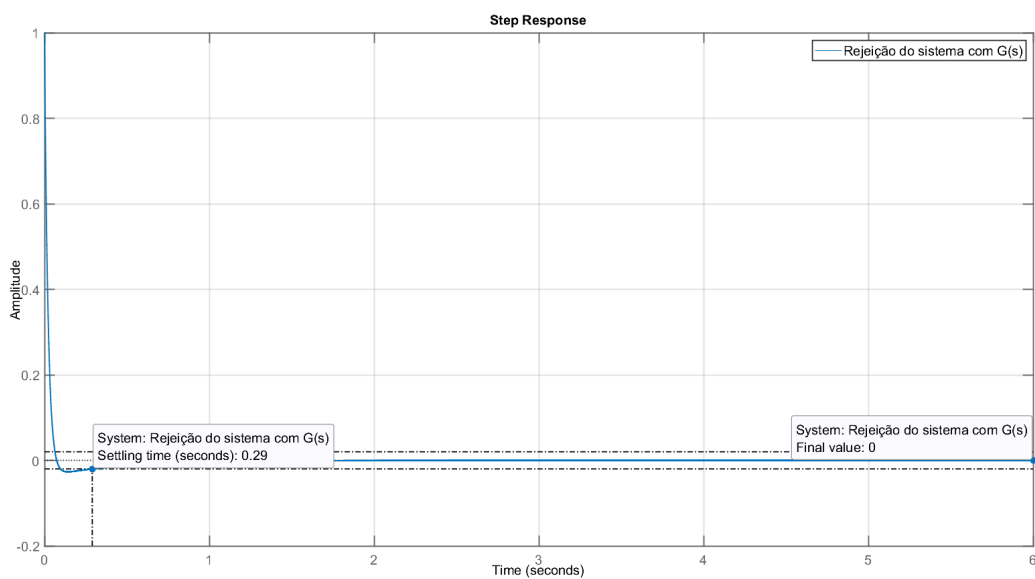


Figura 9: Rejeição a perturbação do sistema realimentado aplicando o controlador de acordo com a tabela de Ziegler-Nichols.

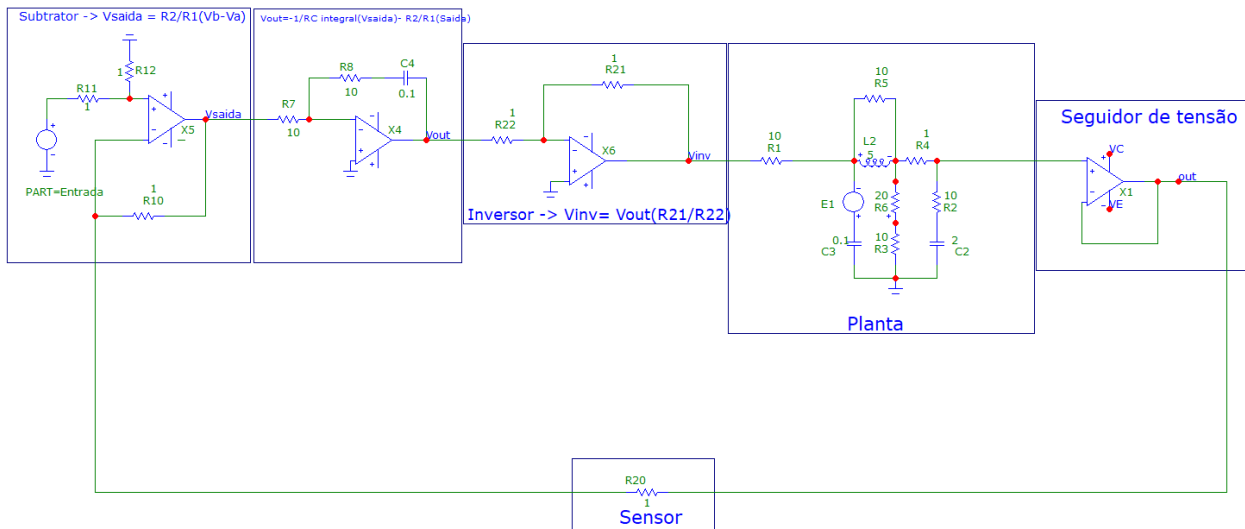


Figura 10: Controlador $K(1+1/s)$ construído a partir dos componentes eletrônicos.

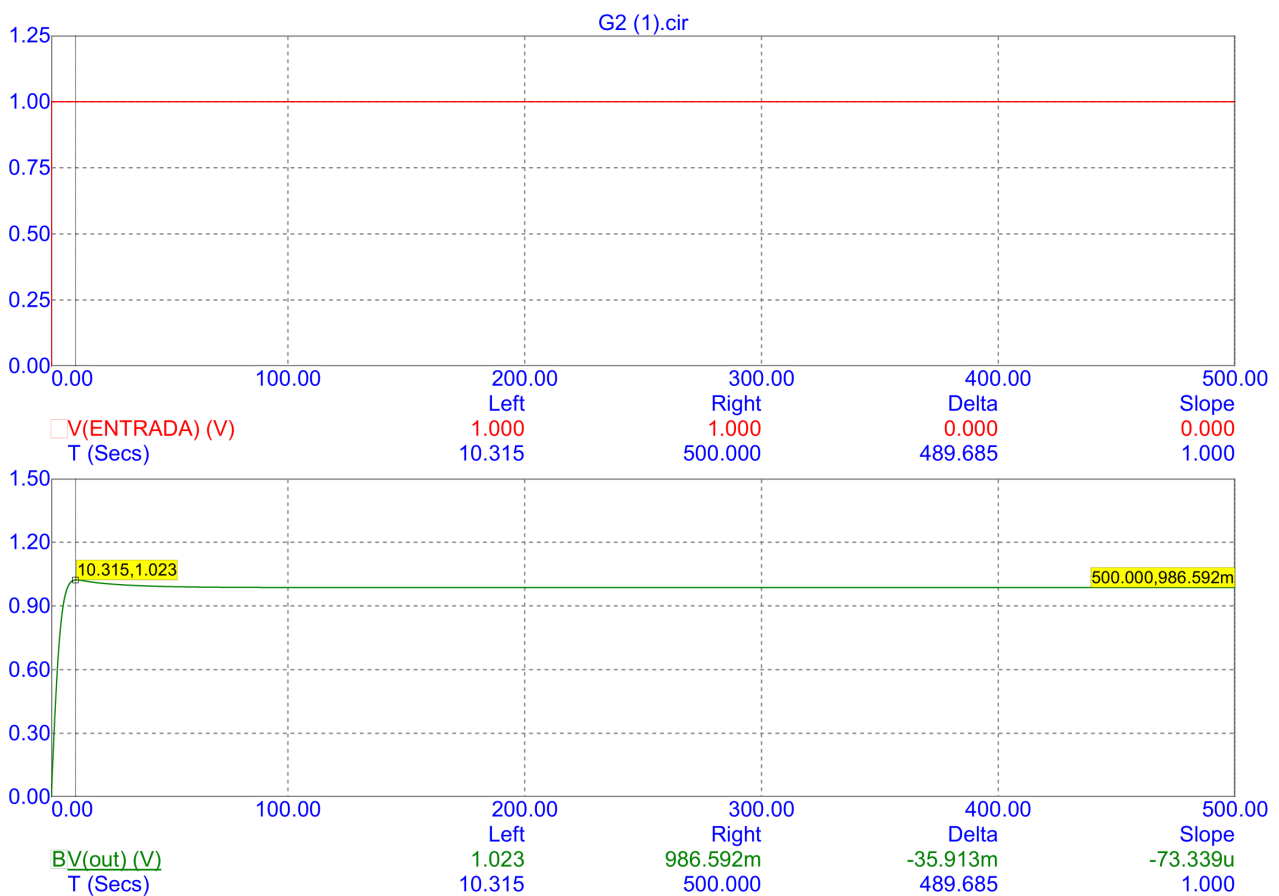


Figura 11: Correto funcionamento do sistema projetado através dos componentes eletrônicos.

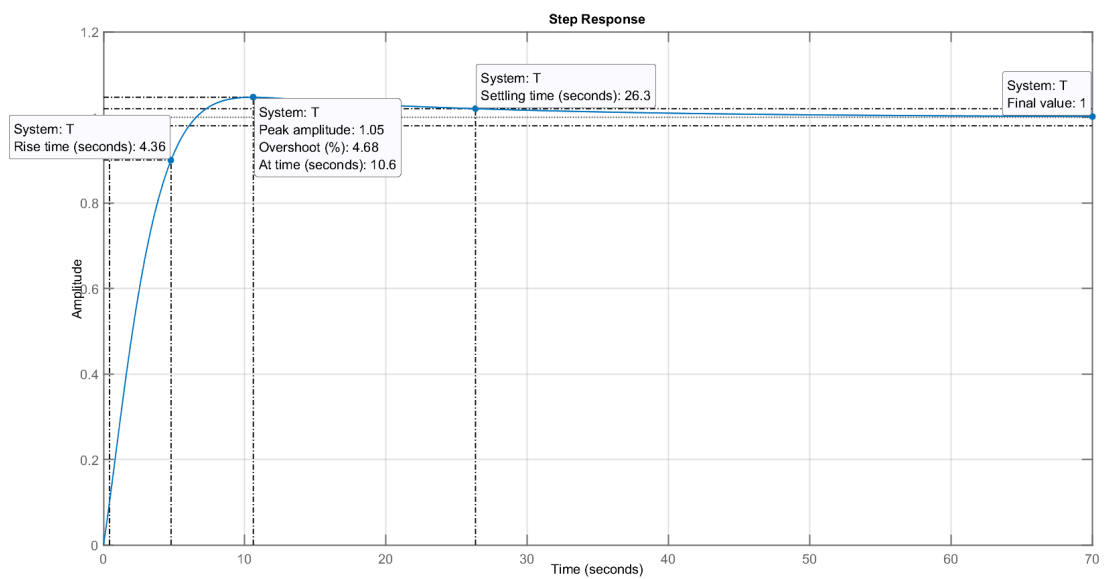


Figura 12: Funcionamento do sistema através da simulação pelo Matlab.