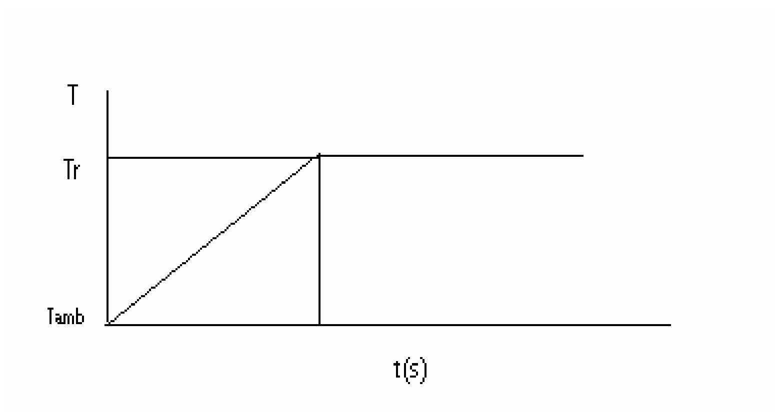
1. Introdução

Nosso objetivo é controlar a temperatura de uma cuba. Esta cuba contém água e é aquecida através de uma resistência, cuja corrente é controlada por dois SCRs em anta- parelo.

Ná água há um NTC, uma resistência que varia conforme a temperatura em que ela está imersa. Assim podemos utilizar o NTC como um sensor para controlar a temperatura da cuba.

Desejamos que a temperatura da cuba seja como abaixo:



T é a temperatura em graus Celsius e t é o tempo em segundos.

Tr é temperatura de regime. Tamb é a temperatura ambiente. Deste modo estaremos Controlando a temperatura de Tamb até Tr.

Para o controle é preciso que implementemos o seguinte diagrama em blocos.

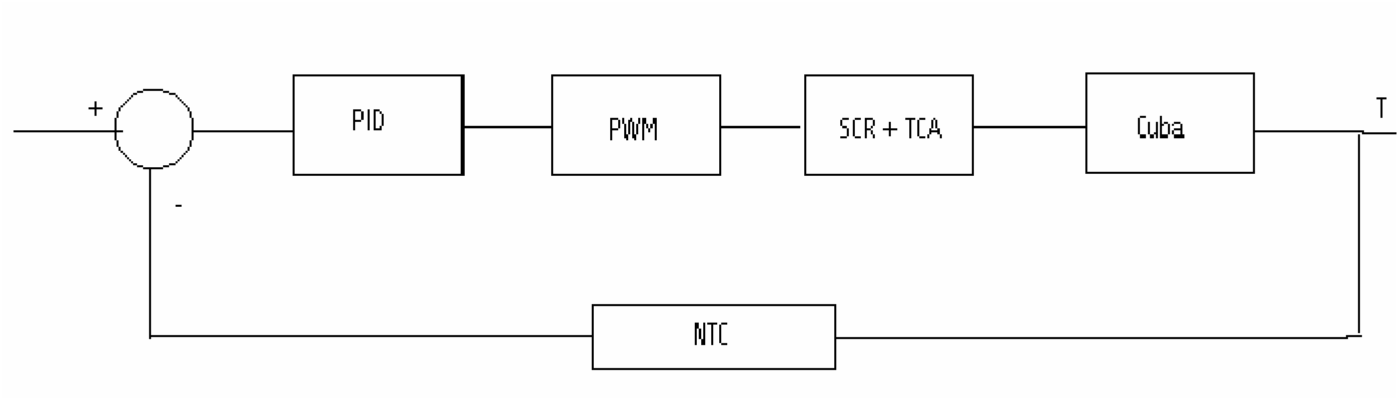


Figura 2- Diagrama (simplificado) em blocos do sistema.

A referência de entrada é uma rampa de tensão limitada num ponto V. Neste ponto a tensão dever ser constante, pois para esta tensão a saída deve proporcional a temperatura de regime.

Escolhemos a máxima temperatura até onde vamos controlar os sistema em 70 C.

2. A Cuba

2.1 **Função de transferência da cuba**.

Sendo

θ = temperatura [C]

M = massa [kg]

C = calor específico [cal/K.C]

R = resistência térmica

CT = capacitância térmica

RT = resistência térmica

A equação diferencial do sistema será :

$$R.C\frac{d\theta}{dt} = R\ hi - R\ ho$$

hi é o fluxo de calor que sai da cuba por unidade de tempo.

$$ho = \frac{\theta}{R}$$

Aplicando laplace e manipuldando a expressão ficamos com :

$$Gcuba = \frac{R}{1 + R.C.s}$$

2.2 Ensaio da cuba

Aplicamos um degrau na entrada da cuba e medimos a resistência no NTC, a temperatura
E o tempo para podermos determinar as funções de transferência necessárias.
Desta forma obtivemos a tabela abaixo que mostra T, R e t.

Com a as colunas de tempo e temperatura obtemos T(s).
Isto é feito fazendo uma regressão exponencial , onde obtemos a seguinte expressão :

T(t)=

Daí aplicando a transformada de Laplace na equação acima obtemos T(s).
No entanto é preciso antes de aplicar a trasnformada, subtrair 24 C.

Assim :

T(t)=

Daí a transformada de laplace resulta em :

T(s)=

Sabendo que a entrada na cuba é
Um degrau do tipo A/s podemos determinar a função de transferência experimental da cuba, supondo que a entrada de será V(s) e a saída será T(s).
Desta forma

Gcubaexp=

Utilizando as colunas de T e R podemos através de um programa que realiza uma
Regressão exponencial, encontrar a expressão que relaciona R= f(T)
Podemos agora então elaborar dois gráficos.
O da resposta ao degrau da função de transferência teórica e da experimental.
Isto é mostrado abaixo:

Figura 3- Resposta ao degrau da função de transferência da cuba.

3. O sensor (NTC)

O NTC, um resistor variável com a temperatura, vai nos fornecer uma resistência.

No entanto não podemos utilizar a resistência para realimentar a malha. Assim devemos fazer com que esta resistência seja convertida em tensão. E mais ainda. É preciso que a relação entre a temperatura e a tensão de saída seja linearizada.

3.1 Segundo indicação do manual do NTC para linearizarmos sua curva um circuito que efetua esta operação é :

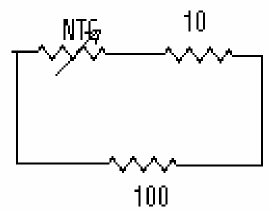


Figura 4- Circuito linearizador.

Após a linearização precisamos converter a resistência do NTC em tensão. Para isso devemos colocar um divisor de tensão em série.

Nas figuras abaixo mostramos os gráficos de R´ (resistência linearizada), V´ (tensão de saída do divisor). Em função da temperatura.

Figura 5- Gráfico de T contra V´ (tensão de saída linearizada);

Para a aumentarmos a impedância de entrada, é preciso colocar um circuito seguidor de tensão. Em série é necessário colocar um circuito que regule o off set do circuito além de amplificador. O circuito eletrônico está esquematizado abaixo:

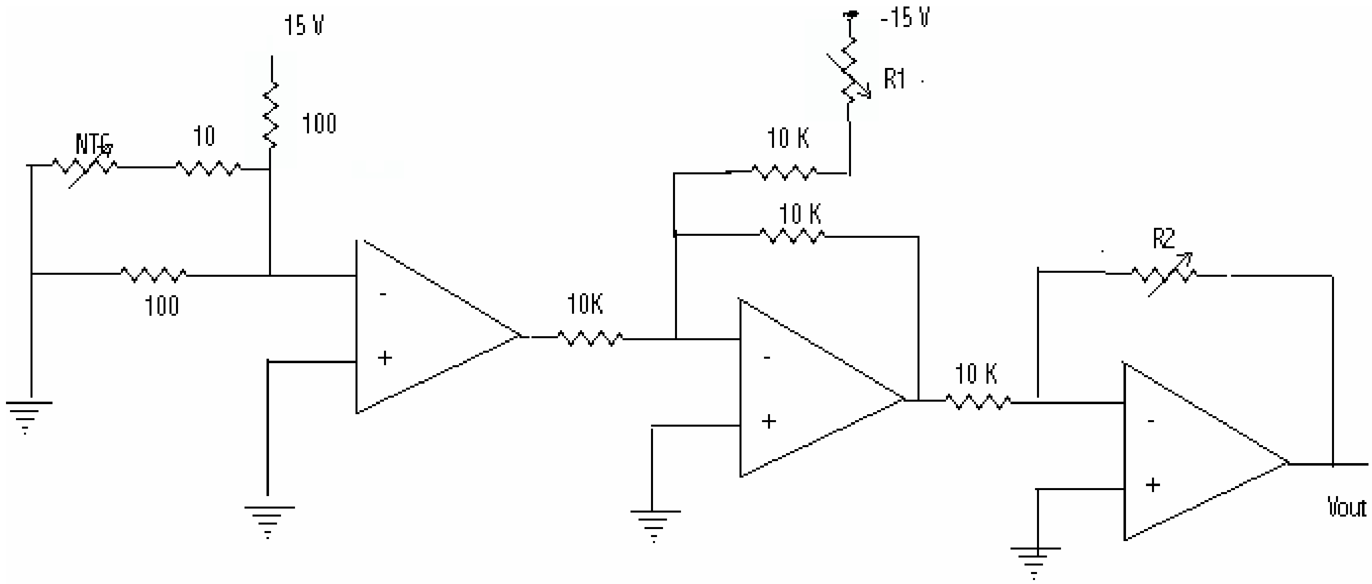


Figura 6- Circuito linearizador do NTC.

4. Gerando a rampa de referência

Precisamos gerar uma referência como mostrado abaixo:

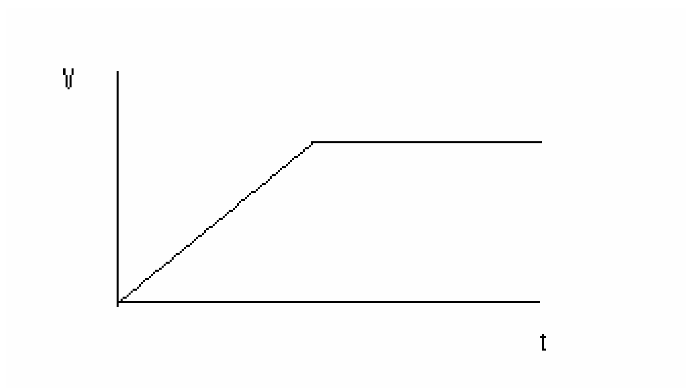


Figura7- Entrada do sistema (referência)

Para isso alimentamos um integrador com um pulso de tensão de amplitude A .

Obtemos assim na saída deste uma rampa. Precisamos limitar porém, a tensão V para um valor que seja interessante. Assim colocamos na a saída do integrador o um Zenner de 9.1 V. A figura abaixo mostra o circuito necessário:

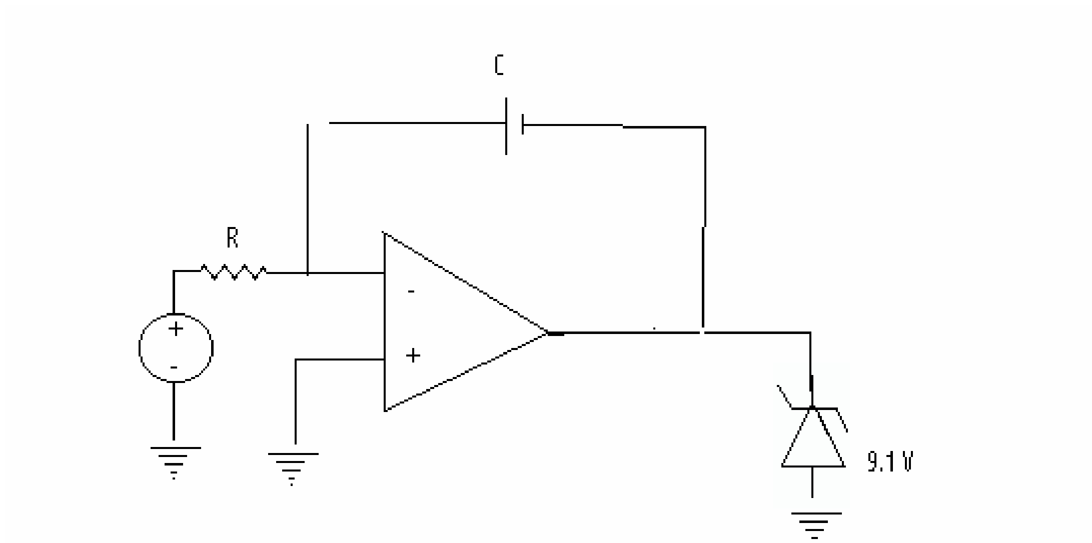


Figura 8- Gerador de referência.

O integrador integra a entrada de tensão. Ou :

$$\text{Vout} = -\frac{1}{\text{R.C}}\int_0^t vin(t)dt$$

A constante de tempo é então $\tau = 1/\text{RC}$

Para calcularmos os valores de R e C devemos observar o gráfico abaixo :

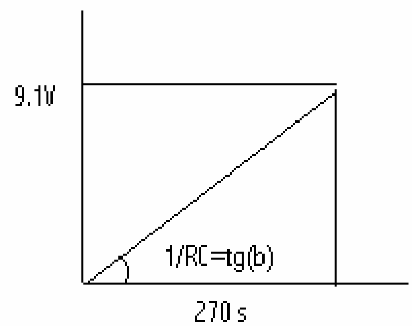


Figura 9- tensão de saída do integrador x tempo para um degrau na entrada.

Desta forma 1/RC= 9.1/270. Escolhendo um capacitor de 2.2 uF obtemos uma resistência aproximadamente igual a 13 MΩ. Colocamos um resistor de 10 MΩ em série com 3 resistores de 1 MΩ.

5. O PWM

Precisamos gerar uma rampa triangular. Para isso utilizamos o C.I 555. Para dimensionarmos os valores do capacitores e resistores necessários, utilizamos as fórmulas propostas no manual.

Assim :

$$tH = 0.623(RA + RB).C$$
$$tL = 0.693\,RB.C$$

$$f = 1.44/(RA + 2.RB)$$

$$\text{com } C = 47\ \text{uF e } RA = 4.8\ K\Omega \text{ e } RB = 300\ \Omega$$

$$tH = 0.16661\,s$$
$$tL = 0.00977\,s$$
$$f = 6.0007\ Hz$$

O circuito fica então :

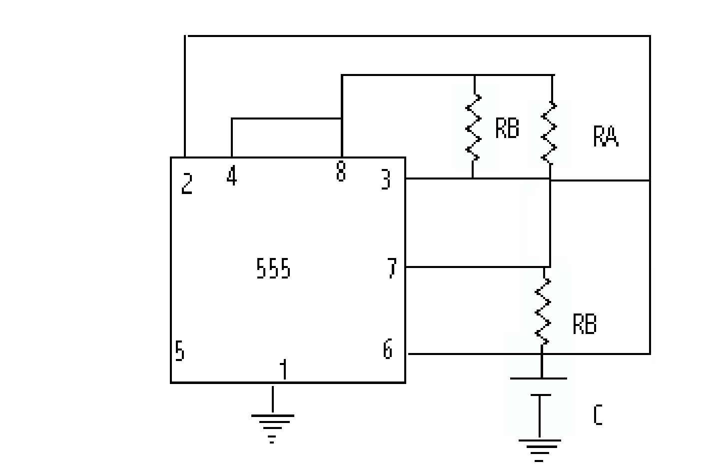


Figura 10- Gerador de onda triangular

A saída é tomada no capacitor. Ligamos esta saída a dois circuitos. O 1.o para eliminar o off- set e o segundo para obtermos um ganho. Ambos são idênticos aos circutios apresentados anteriormente na geração da rampa. Em seguida ligamos a saída a um circuito Integrado 311. Daí a saída deste comparador controlará os SCRs.

Ou seja :

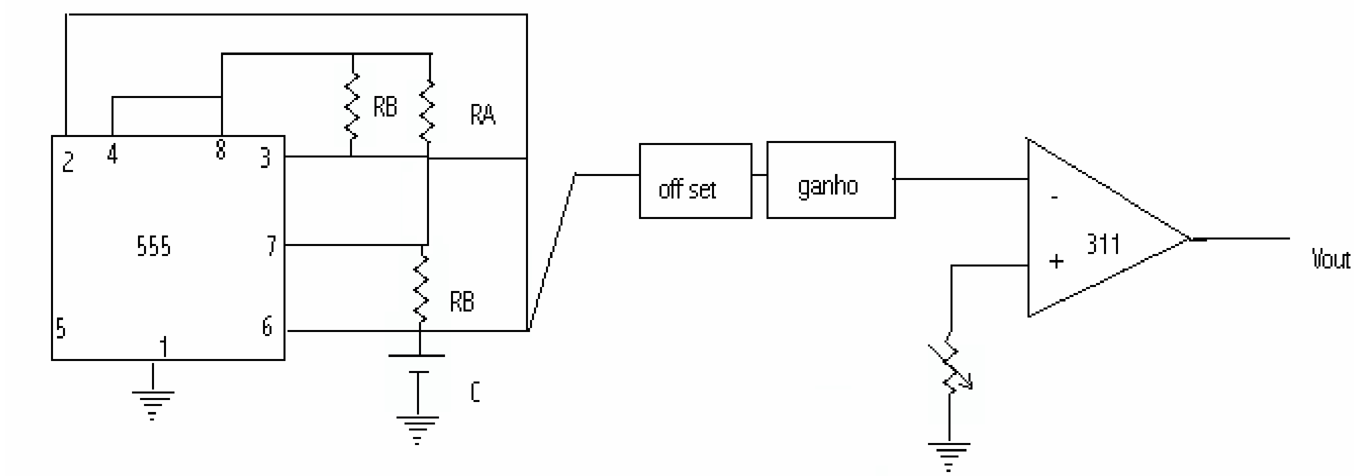


Figura 11- PWM

6. Os SCRs

O PWM descrito acima é ligado num TCA que controla o ângulo de disparo de dois SCRs em anti- paralelo. Ou :

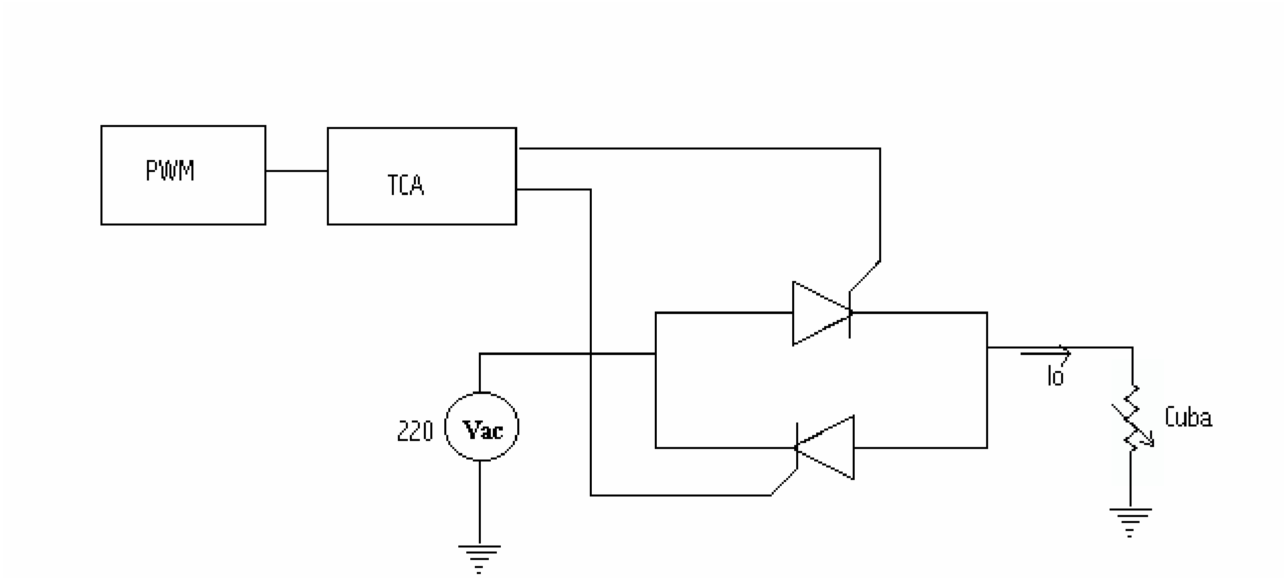


Figura 12- Controle dos SCRs em anti paralelo

Com Vac= 220 V , e ângulo de disparo igual a zero (carga resistiva) e ângulo de fase igual a zero, entramos nas curvas de IN e IRN para obter as correntes média e rms na carga para o conjunto mostrado acima.

Assim, obtemos Irms= e Io=

Analisando os diversos manuais de SCRs disponíveis escolhemos o SCR TIC126 D.
Cujas especificações são condizentes com o desejado no nosso projeto.

7. Simulação em malha aberta.

Simulamos o sistema em malha aberta utilizando os parâmetros calculados até o momento.
Considere o diagrama em blocos abaixo.

Figura13 - Diagrama em blocos do sistema em malha aberta.

Figura 14- Resposta a entrada do sistema de malha aberta.

8 .Simulação em malha fechada do sistema sem o compensador PID.

Fechando a malha de controle com o sensor (NTC) , temos os seguinte diagrama em blocos.

Figura 15- Diagrama em blocos do sistema de malha fechada sem o compensador PID.

Figura 16- Resposta a entrada para o sistema de malha fechada sem compensador PID.

9. Compensador PID

Através da resposta temporal do sistema de malha fechada, podemos obter graficamente os valores do compensador PID necessário:
Ou seja, devemos adicionar um bloco extra com função de transferência igual a :

K= (Kp+KI/s+KD.s)

Graficamente obtemos os valores de Kp= KI= e KD= .
Através de diversas simulações, obtemos os seguinte valores de Kp, KI e KD.
Kp= Ki= Kd=
Estes valores apresentam melhores resultados. Pois a saída, mostra um comportamento mais próximo da entrada.

Figura 17- Diagrama em blocos do sistema de malha fechada com compensador PID

Figura 18- Resposta a entrada para o sistema de malha fechada com compensador PID.