Proyecto Final:Síndrome de Insuficiencia Respiratoria Aguda "SIRA"

Bejarano Lozada Elias;Cruz Preciado Brissa Celeste; Vazquez Aldeco Kennia Michelle
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tijuana

December 16, 2024

Palabras clave: Controlador PID, Tratamiento

Correo:(**elias.Bejarano201@tectijuana.edu.mx, L21212149@tectijuana.edu.mx**

Carrera: **Ingeniería Biomédica**

Asignatura: **Modelado de Sistemas Fisiológicos**

Profesor: **Dr. Paul Antonio Valle Trujillo** (paul.valle@tectijuana.edu.mx)

1 Función de transferencia

Para nuestra función de transferencia, asignamos distintas variables para simplificar nuestra ecuación:

$a = LC_1C_2R_2$

$b = C_1C_2R_1R_2 + LC_1 + LC_2$

$c = C_1R_1 + C_2R_1 + C_2R_2$

$d = 1$

$$\begin{aligned}
\frac{P_p(s)}{P_{ao}(s)} &= \frac{\left(\frac{1}{C_2 s}\right) I_2(s)}{\left(\frac{as^3+bs^2+cs+d}{sC_2}\right) I_2(s)} \\
\frac{P_p(s)}{P_{ao}(s)} &= \frac{\frac{1}{C_2 s}}{\frac{as^3+bs^2+cs+d}{sC_2}} \\
\frac{P_p(s)}{P_{ao}(s)} &= \frac{(1)(sC_2)}{(as^3+bs^2+cs+d)(C_2 s)} \\
\frac{P_p(s)}{P_{ao}(s)} &= \frac{1}{as^3+bs^2+cs+d}
\end{aligned}$$

1.1 Ecuaciones principales

Dentro de este apartado, encontramos 3 ecuaciones, las cuales son: Ecuación de voltaje de entrada, igualdad de voltaje y voltaje de saida.

$$\begin{aligned} P_{ao}(t) &= L\frac{di_1(t)}{dt} + R_1 i_1(t) + \frac{1}{C_1}\int [i_1(t) - i_2(t)]\,dt \\ \frac{1}{C_1}\int [i_1(t) - i_2(t)]\,dt &= R_2 i_2(t) + \frac{1}{C_2}\int i_2(t)\,dt \\ P_p(t) &= \frac{1}{C_2}\int i_2(t)\,dt \end{aligned}$$

1.2 Ecuaciones integrodiferenciales

Despejamos i_1

$$\begin{aligned} P_{ao}(t) &= L\frac{di_1(t)}{dt} + R_1 i_1(t) + \frac{1}{C_1}\int [i_1(t) - i_2(t)]\,dt \\ R_1 i_1(t) &= V_e(t) - L\frac{di_1(t)}{dt} - \frac{1}{C_1}\int [i_1(t) - i_2(t)]\,dt \\ i_1(t) &= \left[P_{ao}(t) - L\frac{di_1(t)}{dt} - \frac{1}{C_1}\int [i_1(t) - i_2(t)]\,dt\right]\frac{1}{R_1} \end{aligned}$$

Despejamos i_2

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_1}\int [i_1(t) - i_2(t)]\,dt &= R_2 i_2(t) + \frac{1}{C_2}\int i_2(t)\,dt \\ R_2 i_2(t) &= \frac{1}{C_1}\int [i_1(t) - i_2(t)]\,dt - \frac{1}{C_2}\int i_2(t)\,dt \\ i_2(t) &= \left[\frac{1}{C_1}\int [i_1(t) - i_2(t)]\,dt - \frac{1}{C_2}\int i_2(t)\,dt\right]\frac{1}{R_2} \end{aligned}$$

$$P_p(t) = \frac{1}{C_2}\int i_2(t)\,dt$$

1.3 Transformada de Laplace

$$\begin{aligned} P_{ao}(s) &= LsI_1(s) + R_1 I_1(s) + \frac{I_1(s) - I_2(s)}{C_1 s} \\ \frac{1}{C_1 s}[I_1(s) - I_2(s)] &= \left(R_2 + \frac{1}{C_2 s}\right) I_2(s) \\ P_p(s) &= \frac{I_2(s)}{C_2 s} \end{aligned}$$

1.4 Procedimiento algebraico

$$\begin{aligned}
\frac{1}{C_1 s}\left[I_1(s) - I_2(s)\right] &= \left(R_2 + \frac{1}{C_2 s}\right) I_2(s) \\
\frac{I_1(s)}{C_1 s} - \frac{I_2(s)}{C_1 s} &= \left(R_2 + \frac{1}{C_2 s}\right) I_2(s) \\
\frac{I_1(s)}{C_1 s} &= \left(R_2 + \frac{1}{C_2 s}\right) I_2(s) + \frac{I_2(s)}{C_1 s} \\
\frac{1}{C_1 s} I_1(s) &= \left(R_2 + \frac{1}{C_2 s} + \frac{1}{C_1 s}\right) I_2(s) \\
I_1(s) &= \frac{\left(R_2 + \frac{1}{C_2 s} + \frac{1}{C_1 s}\right) I_2(s)}{\frac{1}{C_1 s}} \\
I_1(s) &= \left(\frac{R_2 + \frac{1}{C_2 s} + \frac{1}{C_1 s}}{\frac{1}{C_1 s}}\right) I_2(s) \\
I_1(s) &= \left[\frac{\frac{1}{sC_1C_2}\left(C_1 + C_2 + R_2 s C_1 C_2\right)}{\frac{1}{C_1 s}}\right] I_2(s) \\
I_1(s) &= \frac{C_1 + C_2 + R_2 s C_1 C_2}{C_2} I_2(s)
\end{aligned}$$

$$P_p(s) = \frac{I_2(s)}{C_2 s}$$

Sustituir $I_1(s)$ **en** $P_{ao}(s)$:

$$\begin{aligned}
P_{ao}(s) &= LsI_1(s) + R_1 I_1(s) + \frac{I_1(s) - I_2(s)}{C_1 s} \\
P_{ao}(s) &= LsI_1(s) + R_1 I_1(s) + \frac{I_1(s)}{C_1 s} - \frac{I_2(s)}{C_1 s} \\
P_{ao}(s) &= \left(Ls + R_1 + \frac{1}{C_1 s}\right) I_1(s) - \frac{I_2(s)}{C_1 s} \\
P_{ao}(s) &= \left(Ls + R_1 + \frac{1}{C_1 s}\right)\left(\frac{C_1 + C_2 + R_2 s C_1 C_2}{C_2} I_2(s)\right) - \frac{I_2(s)}{C_1 s} \\
P_{ao}(s) &= \left[\left(Ls + R_1 + \frac{1}{C_1 s}\right)\left(\frac{C_1 + C_2 + R_2 s C_1 C_2}{C_2}\right) - \frac{1}{C_1 s}\right] I_2(s) \\
P_{ao}(s) &= \left[\frac{s^3 L C_1 C_2 R_2 + \left(C_1 C_2 R_1 R_2 + LC_1 + LC_2\right) s^2 + \left(C_1 R_1 + C_2 R_1 + C_2 R_2\right) s + 1}{sC_2}\right] I_2(s)
\end{aligned}$$

$a = LC_1C_2R_2$

$b = C_1C_2R_1R_2 + LC_1 + LC_2$

$c = C_1R_1 + C_2R_1 + C_2R_2$

$d = 1$

$$P_{ao}\left(s\right) = \left(\frac{as^3 + bs^2 + cs + d}{sC_2}\right) I_2\left(s\right)$$

1.4.1 Estabilidad del sistema en lazo abierto

$$as^3 + as^2 + as + 1 = 0$$

Estabilidad para el control (paciente saludable)

$(LC_1C_2R_2)s^3 + (C_1C_2R_1R_2 + LC_1 + LC_2)s^2 + (C_1R_1 + C_2R_1 + C_2R_2)s + 1 = 0$

$$\begin{aligned} L &= 1E-6 \\ R_1 &= 0.3 \\ R_2 &= 0.3 \\ C_1 &= 1 \\ C_2 &= 1.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -299996.67 \\ \lambda_2 &= -8.3334 \\ \lambda_3 &= -1.11 \end{aligned}$$

Se observa que las tres raices son reales y negativas, por lo tanto, se concluye que el sistema del control es estable.

Estabilidad para el caso (paciente SIRA):

$$\begin{aligned} L &= 2E-6 \\ R1 &= 0.6 \\ R2 &= 0.5 \\ C1 &= 0.3 \\ C2 &= 0.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -299994.44 \\ \lambda_2 &= -15.4211 \\ \lambda_3 &= -1.8013 \end{aligned}$$

Se observa que las tres raices son reales y negativas, por lo tanto, se concluye que el sistema del control es estable.

2 Error en estado estacionario-

$$
\begin{aligned}
e(t) &= \lim_{s\to 0}\left(\frac{1}{s}\right)\left(1-\frac{P_p(s)}{P_{ao}(s)}\right) \\
e(t) &= \lim_{s\to 0}\left(\frac{1}{s}\right)\left(1-\frac{1}{as^3+bs^2+cs+d}\right)=1-1=0
\end{aligned}
$$

3 Cálculo de componentes para el controlador PID

Con base en las ganancias sincronizadas con Simulink, las cuales estan dadas por lo siguiente:

$$
\begin{aligned}
k_P &= 7504.31283990786 \\
k_I &= 40028.7836532803 \\
k_D &= 312.586659285931
\end{aligned}
$$

Entonces, para realizar el cálculo de los valores de los componentes, se propone un valor de capacitancia para C_r, con el cual se cálcula un valor para la resistencia R_e, ahora, siguiendo el mismo procedimiento se calcula el valor de la resistencia R_r.

:

$$
\begin{aligned}
C_r &= 1\times 10^{-6} \\
R_e &= \frac{1}{k_I C_r}=\frac{1}{(40028.7836532803)\left(1\times 10^{-6}\right)}=24.982\Omega \\
R_r &= k_P R_e=(7504.31283990786)(24.982)=1.8747\times 10^{5}\Omega \\
C_e &= \frac{k_D}{R_r}=\frac{312.586659285931}{1.8747\times 10^{5}}=1.6674\times 10^{-3}F
\end{aligned}
$$