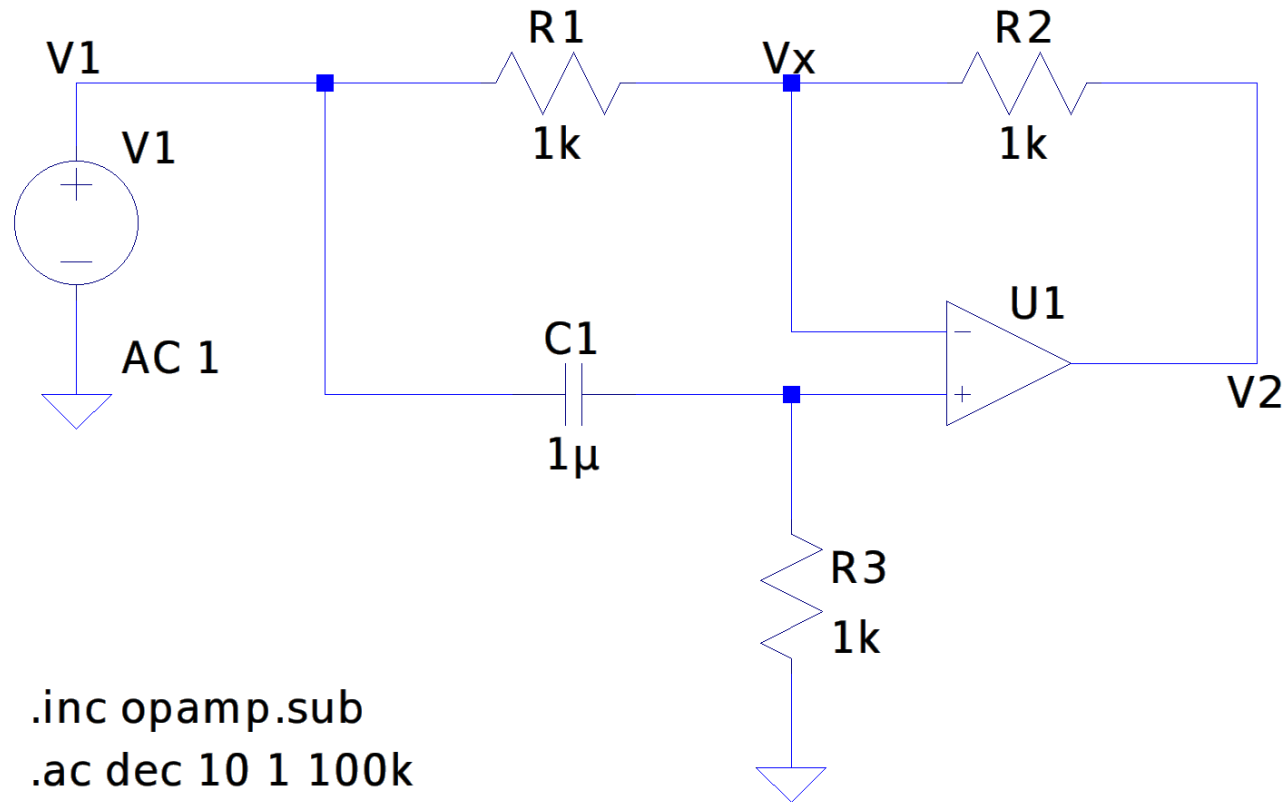


Teoría de Circuitos II - Filtro Pasa Todo

Tomamos el siguiente circuito, con el objetivo de analizar y simular su transferencia.



Si se usa el modelo OpAmp ideal : $V^+ = V^- = V_x$, $Z_{in} \rightarrow \infty$ se encuentra la siguiente ecuación matricial aplicando ley de nodos a V^+ y V^- :

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & \frac{-1}{R_2} \\ \frac{1}{R_1} + j\omega C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} \\ j\omega C \end{bmatrix} V_1$$

La transferencia $H(j\omega) = \frac{V_2}{V_1}$ se puede obtener despejando la ecuación y resolviendo para V_2 .

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & \frac{-1}{R_2} \\ \frac{1}{R_1} + j\omega C & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} \\ j\omega C \end{bmatrix} V_1$$

\vdots

Contemplando $R_1 = R_2$:

$$H(j\omega) = \frac{j\omega C - \frac{1}{R_3}}{j\omega C + \frac{1}{R_3}}$$

La simulación numérica la vamos a realizar en el lenguaje Julia, usando el módulo ControlSystems.jl

Una vez definidas las variables R1, R2, C, R3, definimos los coeficientes del numerador y denominador.

```
num = [1.0e-9, -1.0e-6]
```

```
den = [1.0e-9, 1.0e-6]
```

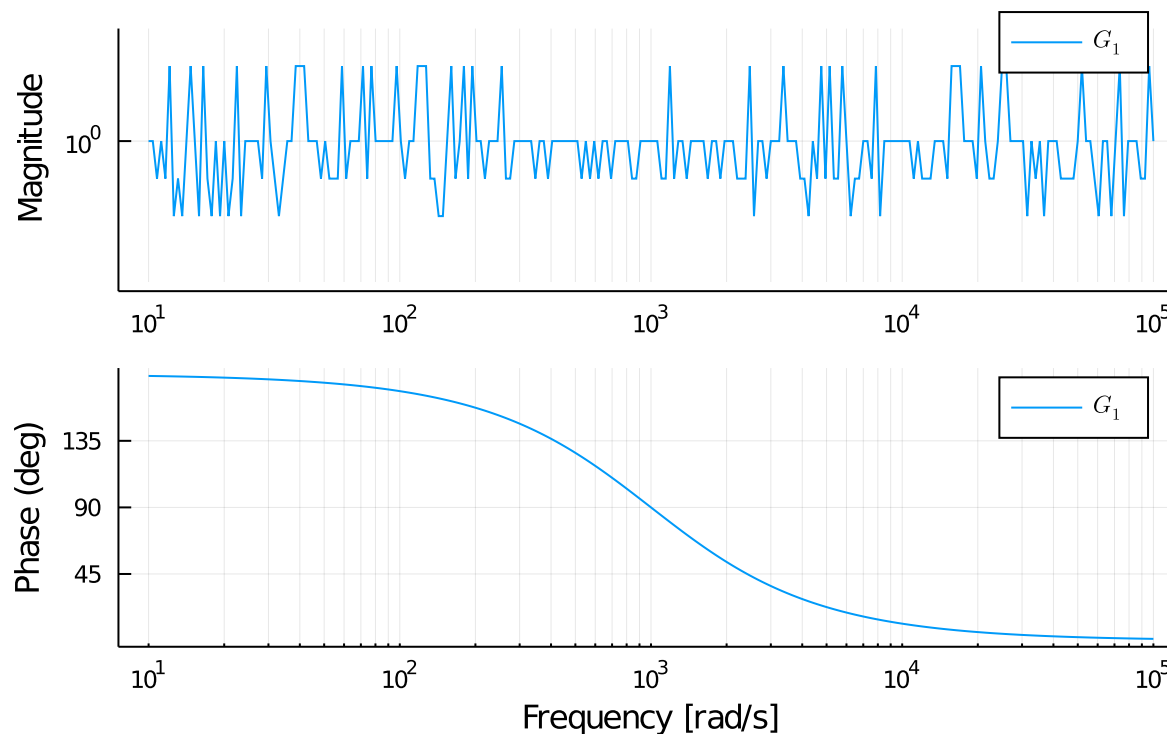
ControlSystems.tf retorna H como un objeto TransferFunction:

```
H = TransferFunction{Continuous, ControlSystems.SisoRational{Float64}}
  9.999999999999999e-10s - 1.0e-6
  -----
  9.999999999999999e-10s + 1.0e-6
```

Continuous-time transfer function model

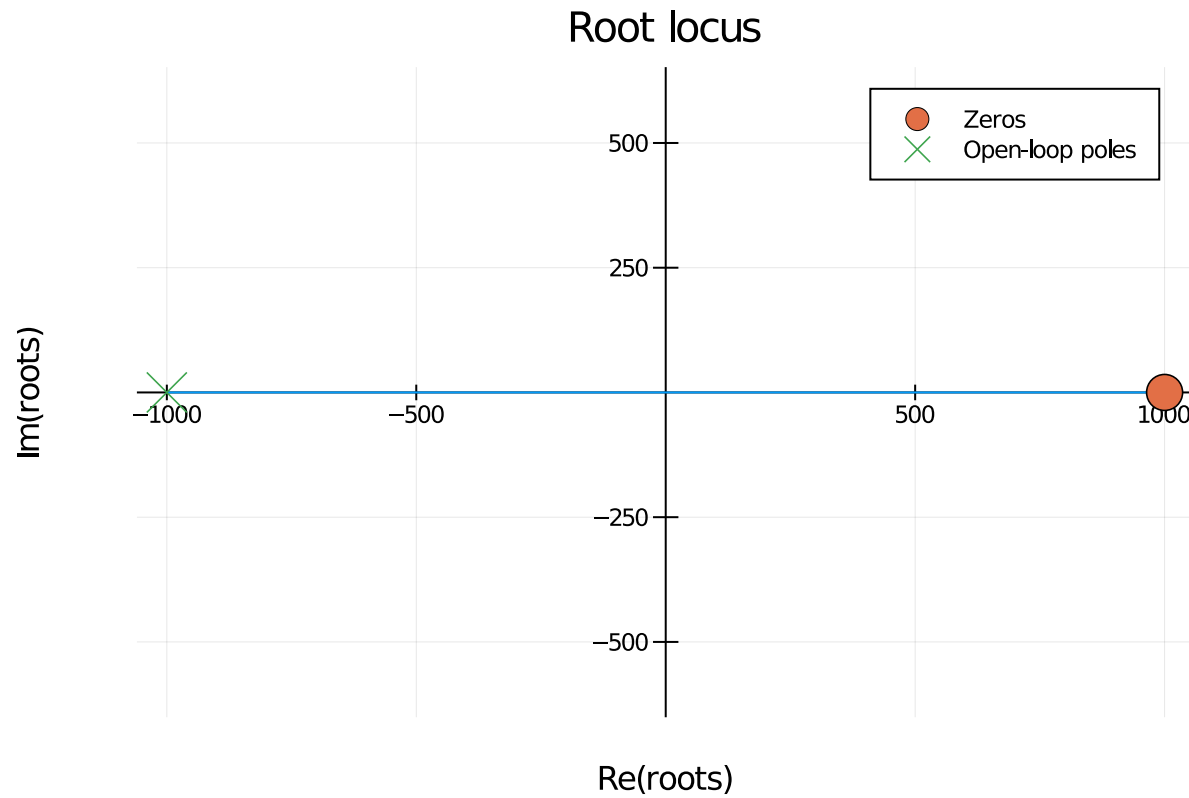
ControlSystems.bodeplot toma el objeto TransferFunction y obtiene la respuesta en frecuencia, que efectivamente corresponde a un filtro pasa todo.

Bode plot from: u(1)

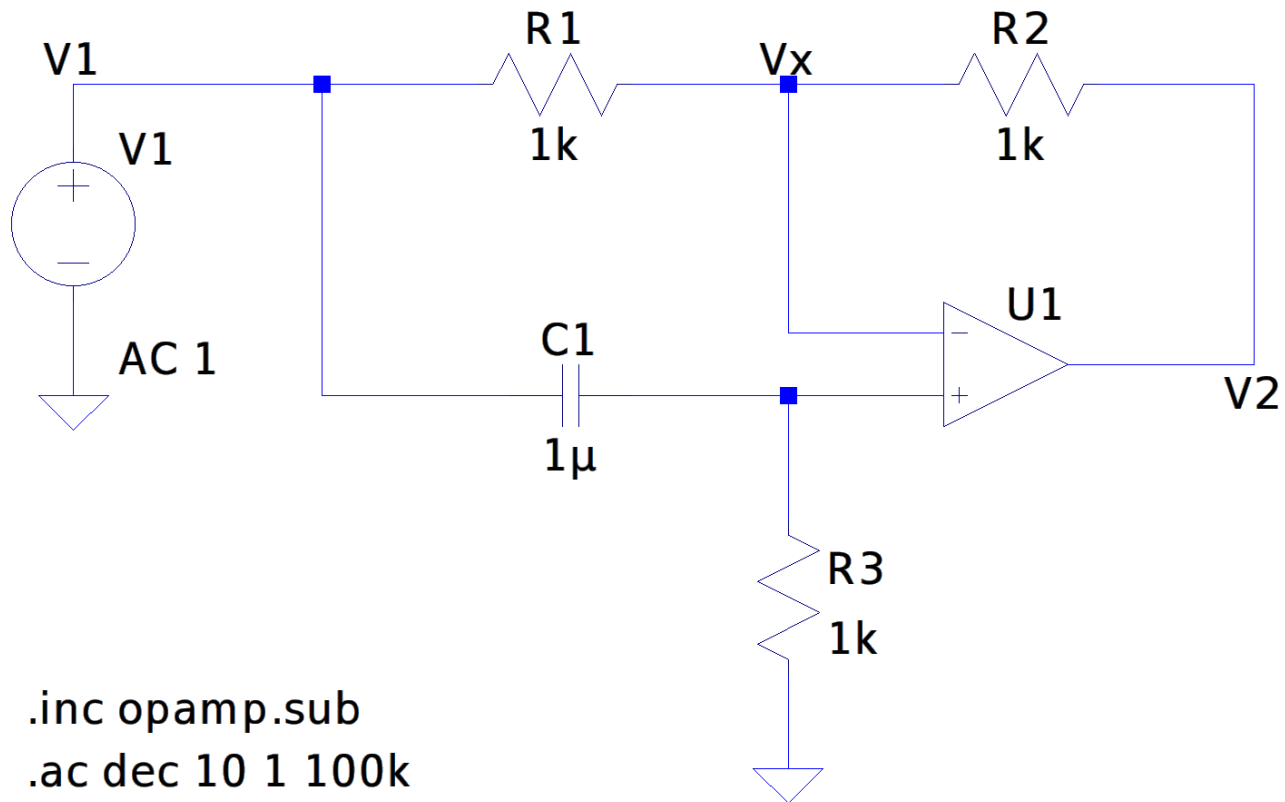


ControlSystems.rlocusplot toma el objeto TransferFunction y obtiene el diagrama de polos y ceros, que evidencia la estabilidad del sistema y hace visible la condición de filtro pasa todo: simetría de polos y

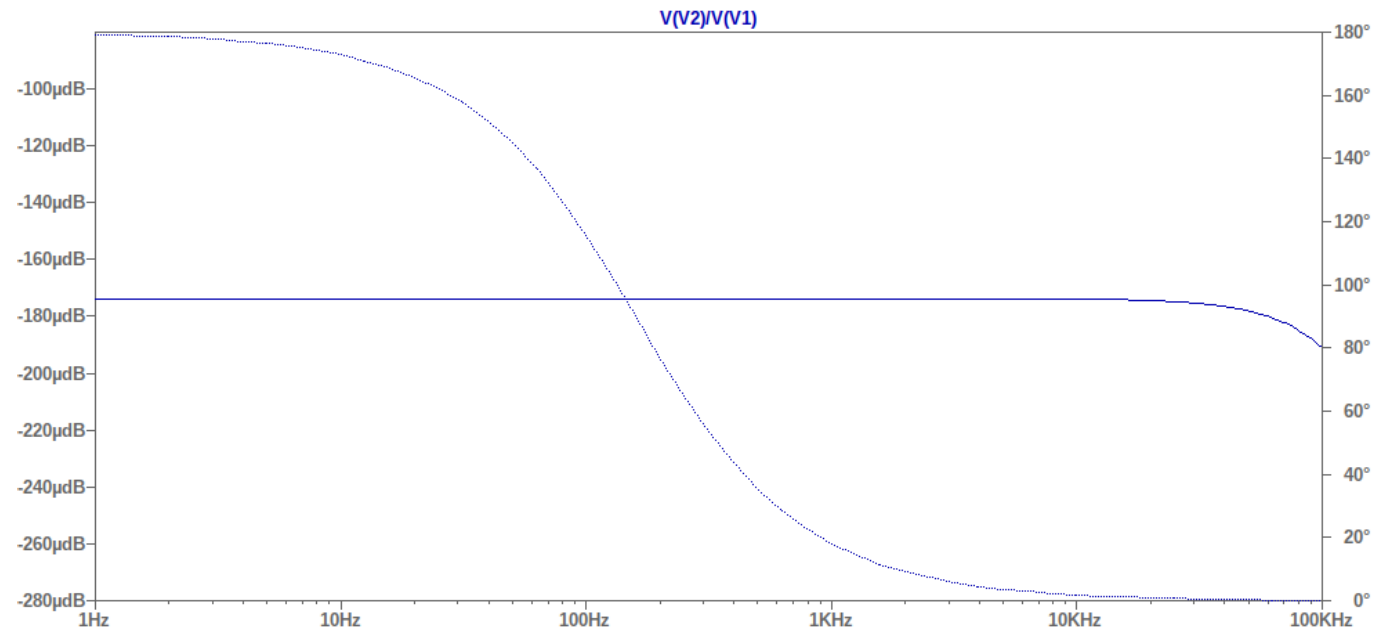
ceros respecto al eje $j\omega$.



Finalmente, volviendo al modelo en LTSpice comparamos los resultados de la simulación numérica con una simulación circuital



La simulación de LTSpice, a diferencia del modelo ideal, implementa el modelo integrador del amplificador operacional. El resultado es el siguiente:



Es un comportamiento equivalente a la simulación numérica a bajas frecuencias, filtro pasa todo, pero el comportamiento difiere a altas frecuencias donde el efecto del capacitor del modelo integrador es apreciable, y la transferencia real disminuye.