

Universidad Carlos III de Madrid

INFORME DEL TRABAJO DE EVALUACIÓN DEL BLOQUE 1

Diseño de circuitos electrónicos para comunicaciones

Autores:

Markel Serrano y Daniel Theran

11 de Octubre del 2022

Índice

1. Apartado 1	2
2. Apartado 2	2
3. Apartado 3	3
4. Apartado 4	4
5. Apartado 5	5
5.1. Función de transferencia de la etapa 2.	5
5.2. Función de transferencia de la etapa 3 o etapa integradora.	6
6. Apartado 6	7
7. Apartado 7	8
8. Apartado 8	8
9. Apartado 9	8

1. Apartado 1

En este apartado se pedía diseñar un filtro paso bajo en **Matlab** de forma que contase con un polo en la frecuencia de 30KHz. Para ello, es necesario utilizar la función "tf", que calcula la función de transferencia en tiempo continuo ($H(s)$). Después, transformamos esta función en $H(z)$ mediante el uso del comando "c2d", que nos calcula la transformada Z de la función anterior. De esta forma, el código para generar las anteriores funciones, así como las variables necesarias y su correspondiente salida:

```
f0 = 30e3;  
w0 = 2* pi*f0;  
Q = 5;  
  
hs = tf([0, 0, w0^2],[1, w0/Q, w0^2])
```

```
hs =  
  
      3.553e10  
-----  
s^2 + 3.77e04 s + 3.553e10  
Continuous-time transfer function.
```

```
Ts = 1/1e6;  
hz = c2d(hs, Ts, 'impulse')
```

```
hz =  
  
      0.03466 z  
-----  
z^2 - 1.928 z + 0.963  
Sample time: 1e-06 seconds  
Discrete-time transfer function.
```

Figura 1: Entrada y salida del apartado 1 en Matlab

2. Apartado 2

En el segundo apartado se pide representar gráficamente ambas funciones. Para conseguir este objetivo se emplea la función "bode". De esta forma, la representación de la función de transferencia, tanto en tiempo continuo como en discreto, queda de la siguiente manera:

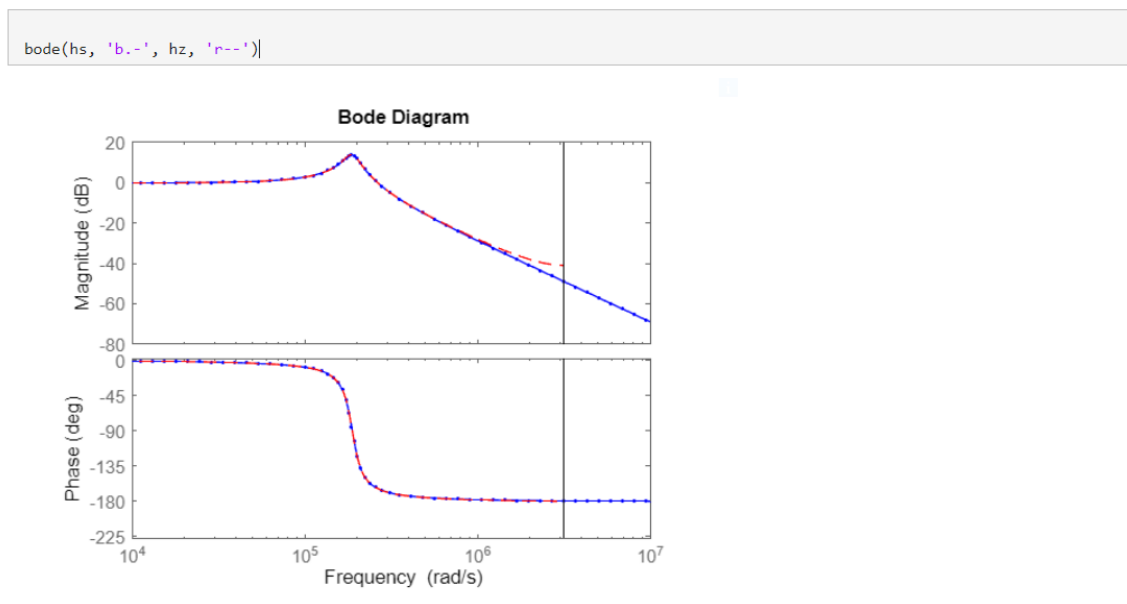


Figura 2: $H(s)$ y $H(z)$ representados en Matlab

En la figura 1 podemos ver el módulo y fase del filtro completo. En la imagen de abajo (fase) se ve como al llegar los 45° en el módulo (imagen de arriba) tenemos un pico. Ésto corresponde a uno de los polos de funcionamiento del filtro paso bajo de segundo orden, es decir, a los 30 kHz que hemos puesto como polo en los datos del filtro.

3. Apartado 3

En esta sección se analiza tanto analíticamente como gráficamente, a través del software de simulación de circuitos **LTSpice**, una de las etapas del circuito completo dado en el ejercicio.

El fichero de simulación que se nos facilita corresponde a una de las etapas del circuito completo. Concretamente sería la etapa cuya salida corresponde a un filtro paso bajo (*Vlp*). Sin embargo, cuando se analiza por separado dicha etapa, se puede observar que tanto su función de transferencia como su análisis en **LTSpice**, corresponden con un filtro paso bajo.

La función de transferencia de ésta primera etapa del filtro, a la que se ha llamado $H_1(Z)$, es la siguiente:

$$H_1(Z) = \frac{C_1}{C_2 + C_7} \cdot \frac{Z^{-1}}{1 - \frac{C_2}{C_2 + C_7} \cdot Z^{-1}}$$

Figura 3: Función de transferencia de la primera etapa del circuito completo

Como se puede observar, da como resultante un filtro no inversor y con retardo, el cual nos afectará más adelante en la función de transferencia del circuito completo. El desarrollo de función de transferencia (3), se encuentra disponible en el Anexo I.

4. Apartado 4

Para encontrar la frecuencia de corte de la primera etapa, podemos optar por dos opciones: (1) mirar la entrada y la salida del filtro para diferentes frecuencias, y ver en cual de ellas estas dos señales están desfasadas 45° , pues ésto indica que para dicha frecuencia existiría un polo y por lo tanto también coincidiría con la frecuencia de corte dado que se trata de un filtro de primer orden; o (2) podemos utilizar los valores de los condensadores que vienen en el filtro y sustituirlos en la función de transferencia H_1 (3) y buscar el polo correspondiente igualando a cero el denominador.

Se ha optado por calcular de forma analítica la frecuencia de corte (opción 2) y, posteriormente, comprobar el valor obtenido de forma gráfica.

Al sustituir los condensadores C_2 y C_7 por sus valores en el filtro (20pF y 1pF respectivamente) e igualar el denominador a 0, obtenemos el siguiente valor:

$$1 - \frac{20pF}{20pF + 1pF} \cdot Z^{-1} = 0$$

$$Z = \frac{20pF}{1pF} \rightarrow Z = e^w$$

$$\ln(e^w) = \ln\left(\frac{20}{1}\right) \rightarrow w = 2\pi \cdot \frac{f_c}{f_s}$$

$$f_c = \frac{f_s}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{20}{1}\right)$$

$$f_c \approx 7,765kHz$$

Figura 4: Calculo de la frecuencia de corte de la primera etapa del filtro completo

Si cogemos dicha frecuencia resultante y la usamos para simular el comportamiento en la primera etapa, vemos entonces la siguiente salida:

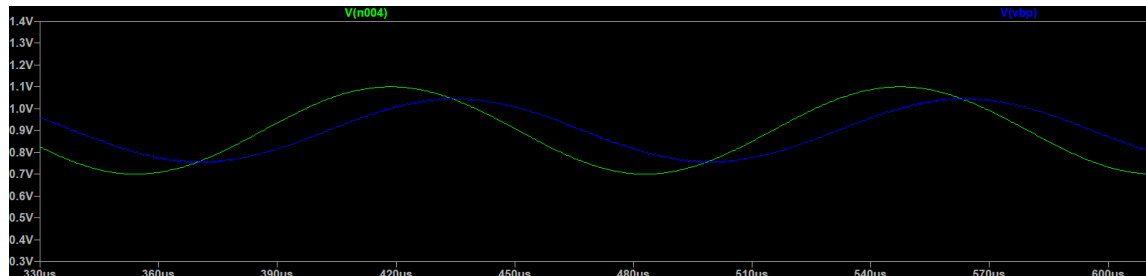


Figura 5: Desfase de 45° entre la señal de entrada y salida

Podemos observar entonces, que las señales de entrada y salida están desfasadas aproximadamente 45° entre sí.

5. Apartado 5

En esta sección se va a analizar de forma analítica la función de transferencia del circuito completo. Para ello primero tenemos que identificar qué otras etapas existen en el mismo y sacar sus correspondientes funciones de transferencia, de forma que finalmente, podamos analizar por bloques el funcionamiento completo del circuito y sacar la función de transferencia del mismo.

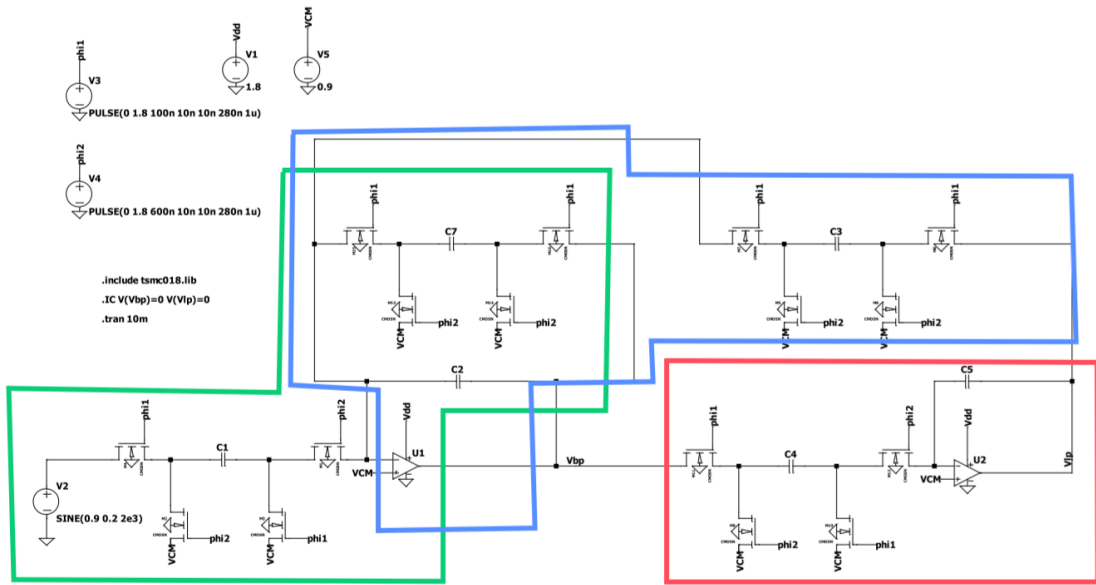


Figura 6: Etapas del circuito completo

En la figura 6 podemos diferenciar 3 etapas:

- **Integrador:** Enmarcada en rojo, es la correspondiente con la fase integradora del circuito
- **Filtro 1 (H_1):** Enmarcada en azul, es el correspondiente con la primera fase del filtro, el cual se ha analizado en el apartado 3.
- **Filtro 2 (H_2):** Enmarcada en verde, es otra etapa del circuito que, como veremos más adelante, corresponde con un filtro inversor sin retardo.

5.1. Función de transferencia de la etapa 2.

La función de transferencia de la etapa 2, a la que se ha llamado $H_2(Z)$, es la siguiente:

$$H_2(Z) = -\frac{C_3}{C_2+C_7} \cdot \frac{1}{1-\frac{C_2}{C_2+C_7} \cdot Z^{-1}}$$

Figura 7: Función de transferencia de la segunda etapa del circuito completo

Como se puede observar, da como resultante un filtro inversor y sin retardo. Esto hará posible que el funcionamiento del circuito completo tenga sentido y sea realizable. El desarrollo de función de transferencia (7), se encuentra disponible en el Anexo I.

5.2. Función de transferencia de la etapa 3 o etapa integradora.

La función de transferencia de la etapa 3, a la que se ha llamado $H_3(Z)$, es la siguiente:

$$H_3(Z) = \frac{C_4}{C_5} \cdot \frac{Z^{-1}}{1-Z^{-1}}$$

Figura 8: Función de transferencia de la tercera etapa del circuito completo

Se puede ver que se trata de un integrador ya que tiene un polo en 0 Hz (resolviendo el denominador) y aplica un retardo a la salida. Dicho retardo lo vamos a ver en la función de transferencia del circuito completo. El desarrollo de la función de transferencia de esta etapa (8), se encuentra disponible en el Anexo I.

Una vez calculada las funciones de transferencia de las 3 etapas que se pueden diferenciar en el circuito, debemos ver como es el funcionamiento completo del circuito mediante un diagrama de bloques.

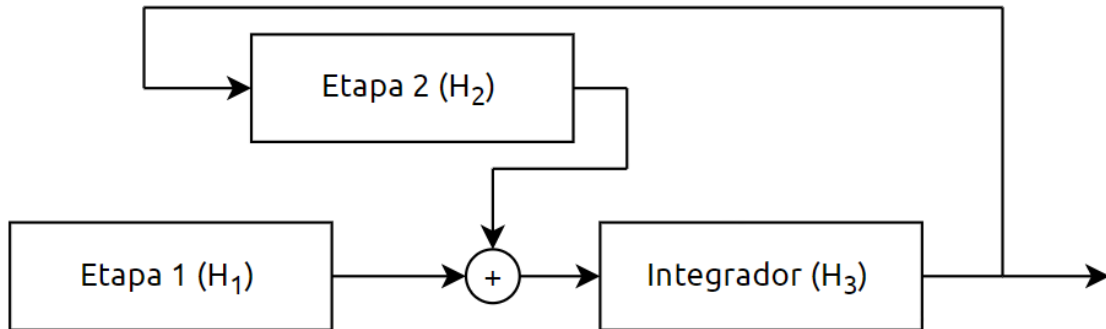


Figura 9: Bloques de funcionamiento del circuito

Si analizamos el funcionamiento interno entre estos bloques y vemos como interactúan las señales de entrada y salida de cada bloque, observamos que la función de transferencia completa del circuito es de la forma:

$$H(Z) = \frac{H_1 \cdot H_3}{1 - H_2 \cdot H_3}$$

Figura 10: Función de transferencia del circuito completo en bloques

Sustituyendo en los valores de H_1 , H_2 y H_3 en 10 y simplificando, obtenemos la siguiente función de transferencia:

$$H(Z) = \frac{C_1 C_4 \cdot Z^{-2}}{C_2 C_5 \cdot Z^{-2} + (C_4 C_3 - C_5 C_7 - 2C_5 C_2) \cdot Z^{-1} + C_5 (C_2 + C_7)}$$

Figura 11: Función de transferencia del circuito completo en Z inversa

Si resolvemos para tener términos en Z y no en Z inversa:

$$H(Z) = \frac{C_1 C_4}{C_5 (C_2 + C_7) \cdot Z^2 + (C_4 C_3 - C_5 C_7 - 2C_5 C_2) \cdot Z + C_2 C_5}$$

Figura 12: Función de transferencia del circuito completo

Donde los términos cuadráticos del denominador los llamamos **A**, los lineales **B** y el término independiente **C**. Ésto nos sirve para posterior mente fijar los valores de los condensadores de manera que obtengamos un filtro paso bajo con un comportamiento similar al filtro del apartado 1, es decir, con un polo de funcionamiento en 30 kHz.

La función de transferencia final queda entonces de la forma:

$$H(Z) = \frac{a_0}{A \cdot Z^2 + B \cdot Z + C}$$

Figura 13: Función de transferencia del circuito completo simplificada

Siendo las relaciones entre los coeficientes de la función y los condensadores, la siguiente:

- $a_0 \rightarrow C_1 C_4$
- $A \rightarrow C_5 (C_2 + C_7)$
- $B \rightarrow (C_4 C_3 - C_5 C_7 - 2C_5 C_2)$
- $C \rightarrow C_2 C_5$

En el apartado 7 veremos que para poder comparar los valores A, B y C de la función de transferencia total con el filtro obtenido en el apartado 1 (filtro de matlab), hay que normalizar los elementos de la función al término cuadrático del denominador.

6. Apartado 6

En este apartado se pedía separar la parte integradora y analizarla por separado, de forma que podamos analizar el error de carga que cae sobre el condensador de muestreo. Para ello además de adaptar el circuito, fijamos el valor del condensador de integración (C_5) a 20pF, aumentamos amplitud la señal de entrada a 1.7 V ya que tendremos mayor error en ese caso, y aumentamos también la frecuencia de entrada a 1.5 MHz.

Con los valores anteriores y poniendo el con un valor de condensador de muestreo de 0.1pF, obtenemos el siguiente error:

7. Apartado 7

Para calcular valores de los condensadores tales que hagan al circuito diseñado comportarse como el circuito teórico del primer apartado, sus funciones de transferencia deben ser equivalentes. Para ello, se iguala término a término la función de transferencia teórica obtenida en el primer apartado con la función de transferencia calculada en el apartado 5 (13), una vez se ha normalizado el término cuadrático de ambas funciones. Además, debemos suponer que los valores de C_2 y C_5 son iguales, e iguales a 20pF, y C_1 y C_4 son a su vez iguales.

De esta forma, encontramos las siguientes equivalencias:

- $\frac{C_2}{C_2+C_7} = 0,963$
- $\frac{C_1 \cdot C_4}{C_5(C_2+C_7)} = 0,03466$
- $\frac{C_4 \cdot C_3 - C_5 \cdot C_7 - 2 \cdot C_5 \cdot C_2}{C_5(C_2+C_7)} = -1,928$

Despejando de las anteriores equivalencias, se obtienen los siguientes valores para los condensadores del circuito:

- $C_2 = C_5 = 20pF$
- $C_1 = C_4 = 3,79pF$
- $C_7 = 0,77pF$
- $C_3 = 3,82pF$

8. Apartado 8

9. Apartado 9

En este apartado se pide calcular todas las resistencias equivalentes de las redes de capacidad conmutada. Para realizar este cambio, se pueden sustituir los condensadores C_1 , C_7 , C_3 y C_4 , así como sus transistores correspondientes, por la resistencia equivalente en cada caso.

Para calcular el valor de la resistencia equivalente, hay que dividir el voltaje medio medido en cada condensador por la corriente media que atraviesa dicho elemento. No obstante, de manera analítica puede calcularse como $\frac{T_s}{C}$. Así, las resistencias equivalentes son las siguientes:

- $R_1 = R_4 = 263,85K\Omega$

- $R_7 = 1,3M\Omega$
- $R_3 = 261,78K\Omega$

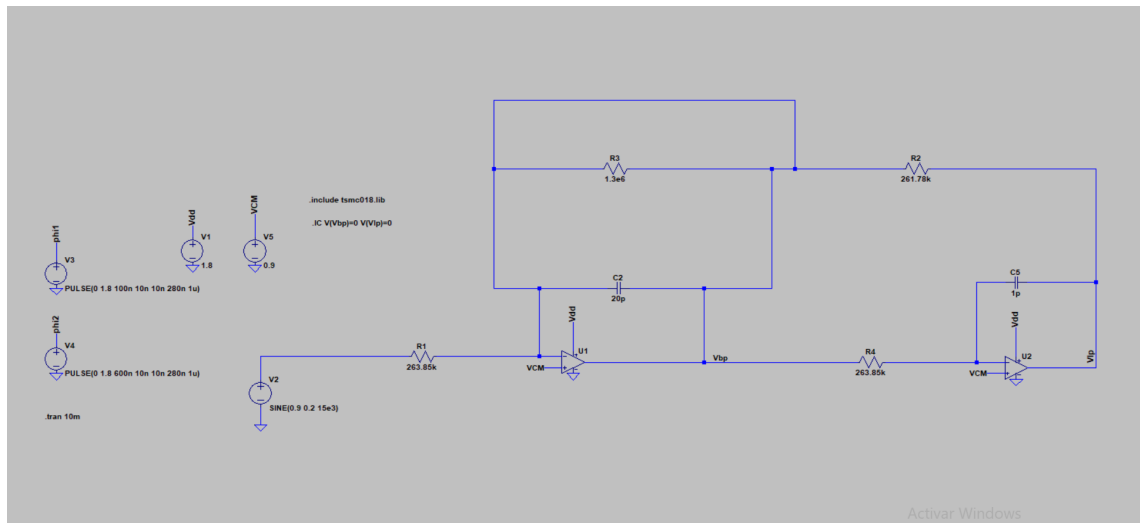


Figura 14: Circuito con resistencias equivalentes