

Instituto Tecnológico de Buenos Aires

22.14 - ELECTRÓNICA IV

Trabajo práctico N°2

Grupo 1

MECHOULAM, Alan	58438
LAMBERTUCCI, Guido Enrique	58009
LONDERO BONAPARTE, Tomás Guillermo	58150

Profesores

AGUIRRE, Miguel Pablo
COSSUTTA, Pablo Martín
WEILL, María Alejandra
SALVATI, Matías Damián

Presentado: XX/06/21

Índice

1. Parte I	2
1.1. SG3525A	2
1.1.1. Debajo de la tensión de operación	2
1.1.2. Señal a la salida	2
1.1.3. Soft-Start	2
1.1.4. Shutdown	2
2. Parte II	2
2.1. Diseño del sistema	2
2.2. Simulaciones	3
2.3. Snubber	5
2.4. Potencias	6
2.5. Eficiencia	7
3. Parte III	7
3.1. Matrices de estado	7
3.2. Compensador	7
4. Parte IV	10
4.1. Diseño de placa	10
4.2. Mediciones	10
5. Conclusiones	10

1. Parte I

1.1. SG3525A

1.1.1. Debajo de la tensión de operación

Este dispositivo cuenta con un pin de control llamado "Shutdown". Este pin controla tanto el circuito de Soft-Start como las etapas de salida, proveyendo apagadas automáticas a través de pulsos de shutdown.

Al haber una tensión inferior al mínimo (8 V) en la entrada, este sistema de shutdown se activa, inhabilitando las salidas y los cambios en el capacitor de Soft-Start.

1.1.2. Señal a la salida

Para seleccionar la frecuencia de la señal a la salida del integrado, de deben conectar dos resistencias y un capacitor en los pines C_T y R_T . El criterio de selección viene dado por las siguientes limitaciones:

$$f_s = \frac{1}{C_T (0.7R_T + 3R_D)} \quad (1)$$

$$2.0 \text{ k}\Omega \leq R_T \leq 150 \text{ k}\Omega$$

$$0 \text{ }\Omega \leq R_D \leq 550 \text{ }\Omega$$

$$1 \text{ nf} \leq C_T \leq 200 \text{ nf}$$

Para conseguir una frecuencia de 100 kHz (a la salida, ~200KHz en el oscilador) basta con tomar:

$$R_T = 2.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_D = 0 \text{ }\Omega$$

$$C_T = 3.3 \text{ nf}$$

(2)

Para conseguir un Duty deseado, lo que se debe hacer es colocar la salida del amplificador de error a 0 (pin no inversor a masa y pin inversor a V_{ref}), luego aplicando una tensión en el pin de compensación (9) podemos manejar el duty de salida.

1.1.3. Soft-Start

El pin de Soft-Start cumple con la función de limitar el Duty cicle al principio, hasta que el capacitor de SS esté cargado.

Cuando se está empleando una fuente realimentada, si al principio la salida de dicho circuito es nula, se busca que este no produzca un Duty tal para llegue a la tensión deseada. De esta forma se evita que se sobredimensione y se pase del valor que se necesita, disminuyendo así las oscilaciones iniciales.

1.1.4. Shutdown

Es posible implementar un circuito limitador de corriente utilizando el pin de Shutdown con una resistencia de shunt y un BJT. Se mide la corriente hasta que esta sea mayor a la deseada. Cuando esto se de, el BJT activa el pin apagando la salida del circuito.

2. Parte II

2.1. Diseño del sistema

Para el sistema que se busca desarrollar, se emplean los siguientes valores:

- $D = 0.3$
- $L_1 = 40 \text{ }\mu H$
- $R_1 = R_3 = 10 \text{ }\Omega$
- $C_1 = C_3 = 47 \text{ }\mu f$
- $C_2 = C_4 = 1 \text{ }\mu f$
- $N_1 = 3 \text{ }\mu H$
- $N_2 = N_3 = 1 \text{ }\mu H$

Para el circuito del SG3525 se adoptaron los siguientes valores

- $R_T = 2.2 \text{ K}\Omega$
- $C_T = 3.3 \text{ nF}$
- $R_D = 0 \Omega$
- $C_{ss} = 1 \mu\text{F}$

La combinación de valores de R_T y C_T fueron elegidas para mantener la frecuencia de switching elegida, la R_D para que se descargue lo más rápido posible, la C_{ss} para que tenga un comienzo suave.

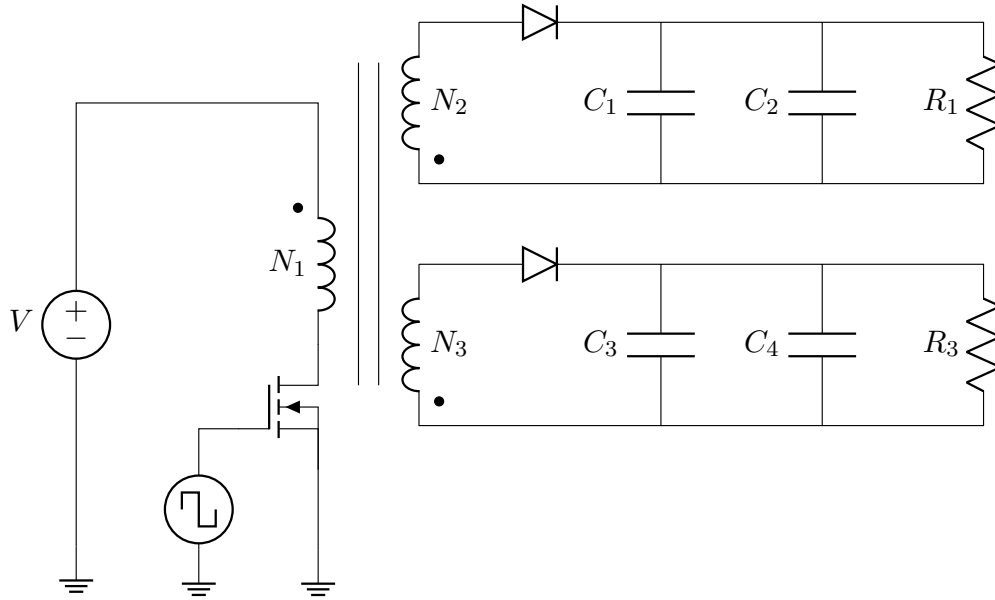


Figura 1: Circuito del snubber empleado.

2.2. Simulaciones

Se simuló el circuito a lazo abierto. De esta forma se obtuvieron las siguientes curvas.

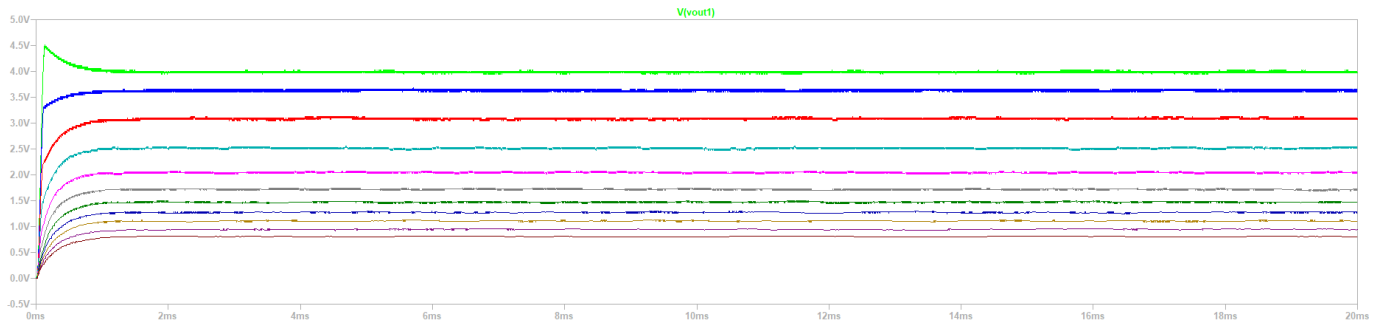


Figura 2: Variaciones en la V_{out} al cambiar la V_{comp} .

Para la tensión que provoca la máxima corriente de salida se obtuvieron los siguientes gráficos:

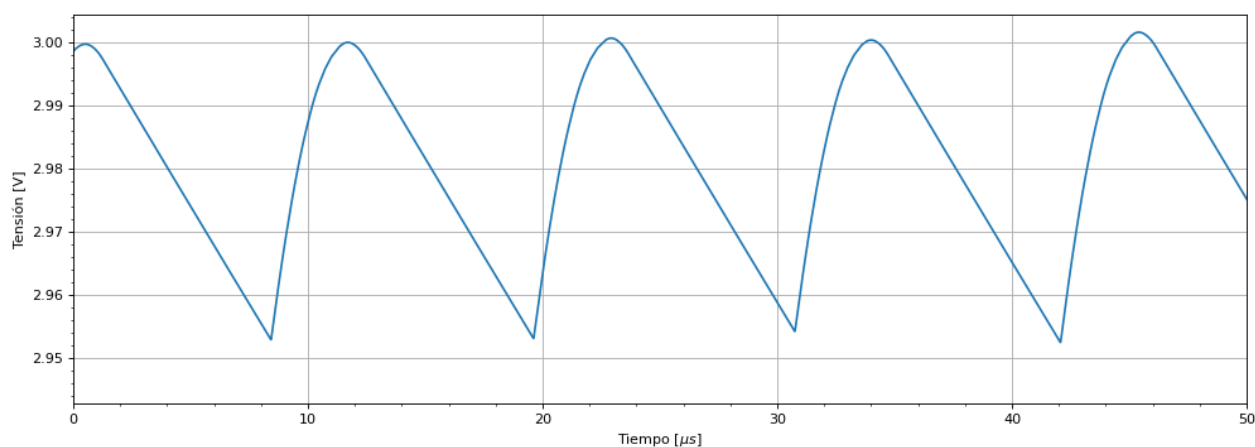


Figura 3: Tensión de salida.

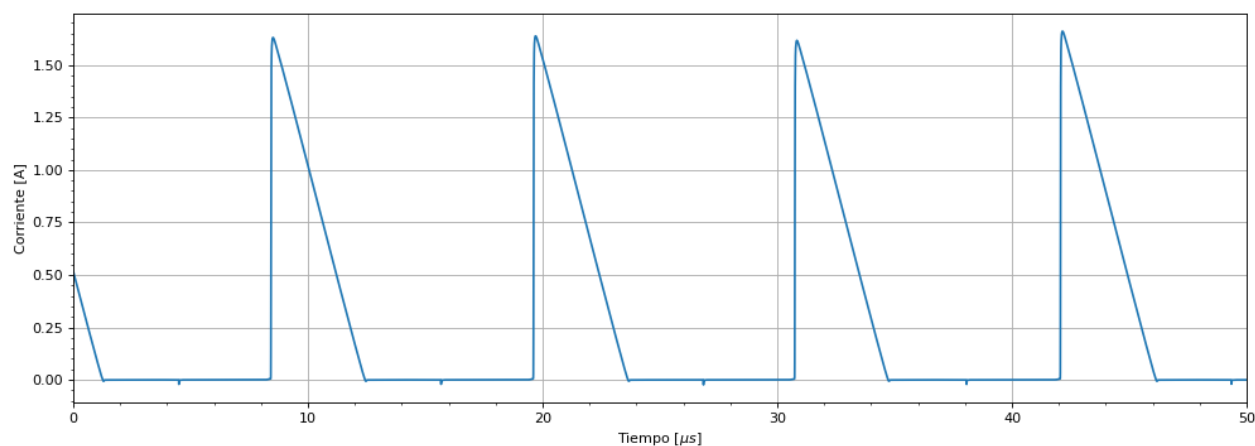


Figura 4: Corriente del diodo.

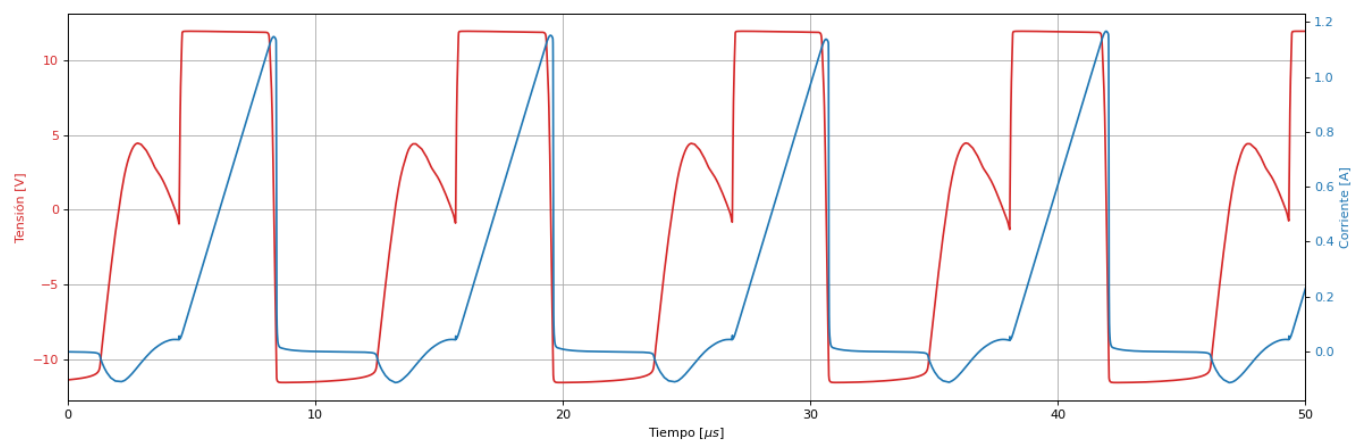


Figura 5: Tensión y corriente del primario.

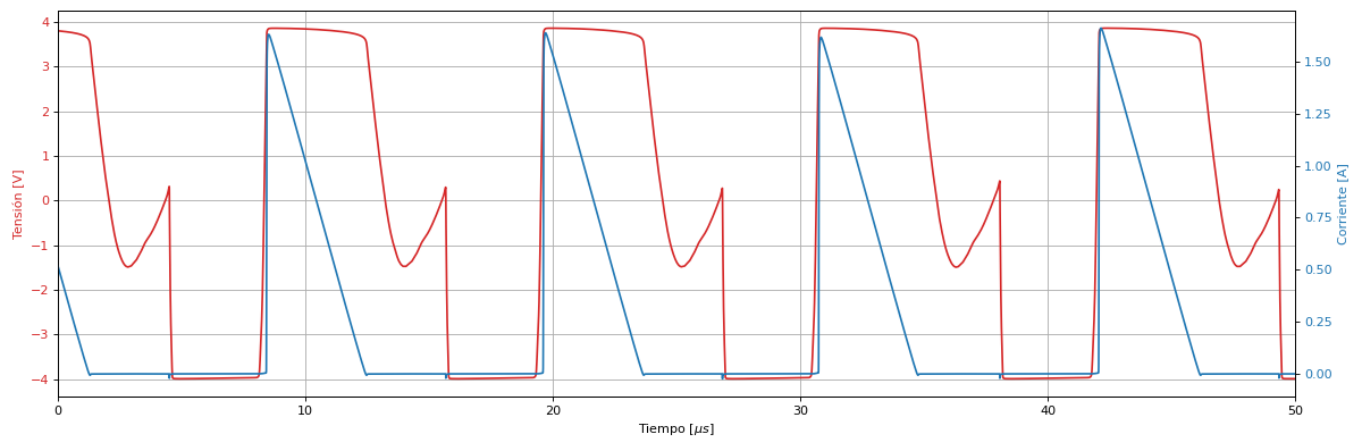


Figura 6: Tensión y corriente del secundario.

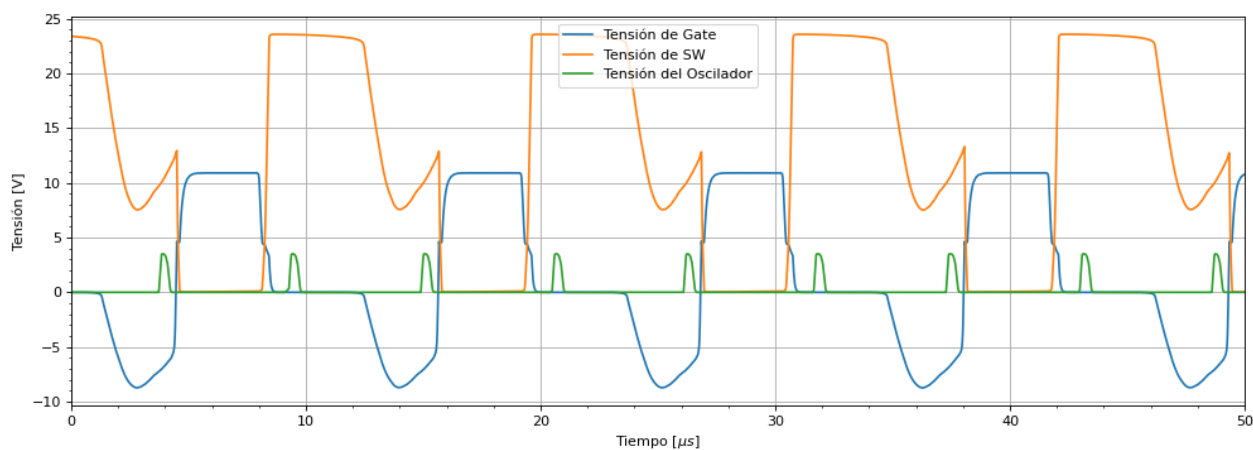


Figura 7: Tensión de Gate y del Switch.

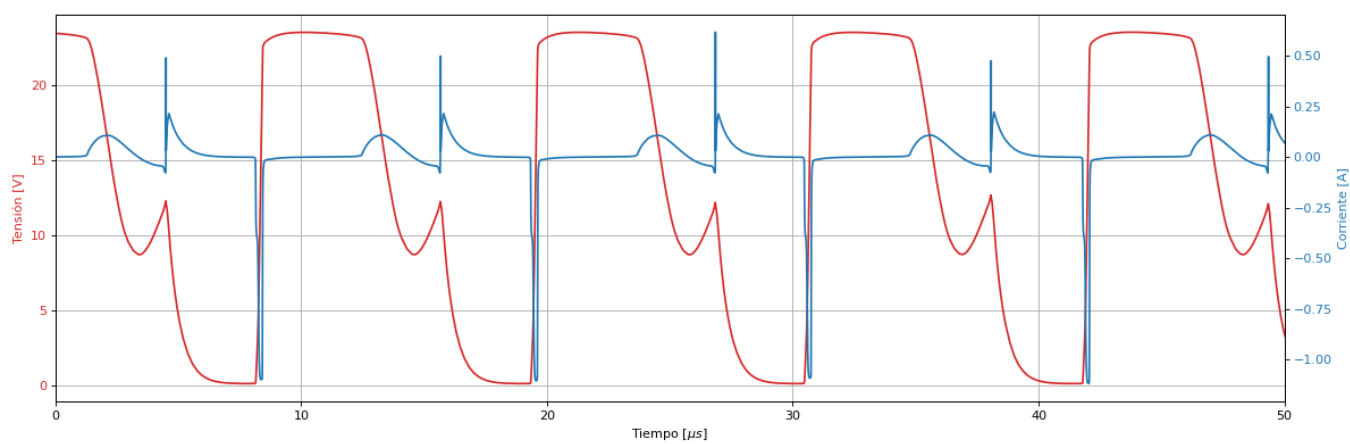


Figura 8: Tensión y corriente en el capacitor de snubber.

2.3. Snubber

Para el circuito dado, se diseña un snubber empleando un diodo, una resistencia y un capacitor.

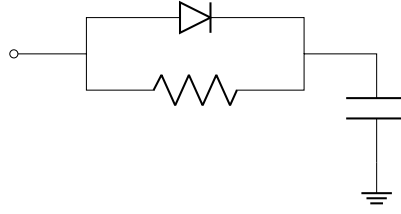


Figura 9: Circuito del snubber empleado.

Se calcula el valor máximo del capacitor, planteando que la energía de este debe ser mayor a la de la inductancia. De esta forma, se llega a la expresión:

$$C > L_d \left(\frac{I_{L1}}{V_C} \right)^2 = 1 \mu H \cdot \left(\frac{15 A}{100 V} \right)^2 = 33 nF \quad (3)$$

De esta forma, se selecciona $C = 33 nF$. Planteando que tres veces el tiempo característico del sistema RC debe ser menor al período de la fuente Flyback, se puede obtener una restricción similar para la resistencia. Operando, se llega a:

$$R < \frac{DT_S}{3C} \Big|_{C=10 nF} = \frac{0.5}{150 kHz} \cdot \frac{1}{3 \cdot 10 nF} = 111.11 \Omega \quad (4)$$

Finalmente se selecciona $R = 47 \Omega$.

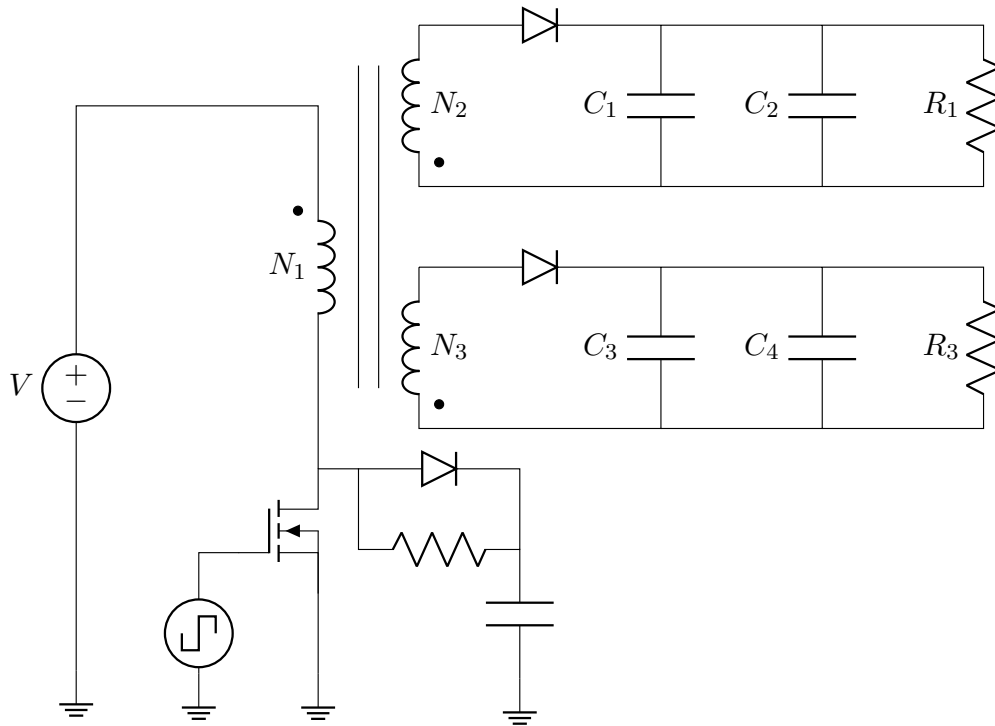


Figura 10: Circuito Flyback con snubber.

2.4. Potencias

Las potencias teóricas calculadas son:

- $P_{MOS} = \frac{f_{sw}}{2} \cdot V_{sw} I_{N1-min} t_{sw2} = \frac{88K}{2} \cdot 21400m300n = 110 mW$
- $R_{Snubber} = \frac{CV_C^2 F_{sw}}{2} = 679 mW$

Las medidas en la simulación son:

- $P_{MOS} = 45mW$
- $R_{Snubber} = 388.6 mWW$

2.5. Eficiencia

Se calculó la eficiencia del circuito de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{P_{Load}}{P_d} = 77\% \quad (5)$$

mientras que la simulada corresponde a:

$$\eta = 87\% \quad (6)$$

3. Parte III

3.1. Matrices de estado

Para obtener teóricamente la transferencia del circuito, se vale del método de variables de estado se llega a las siguientes matrices:

$$\mathbb{A} = \begin{pmatrix} -\frac{DR_1}{L_1} + \frac{(1-D)n^2 R_C R}{(R-R_C)L_1} & \frac{(1-D)nR}{(R-R_C)L_1} \\ -\frac{(1-D)nR}{(R-R_C)C} & -\frac{D}{(R-R_C)C} - \frac{(1-D)}{(R-R_C)C} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbb{C} = \left(-\frac{(1-D)nRR_C}{R-R_C} \quad \frac{DR}{R+R_C} + \frac{(1-D)R}{R-R_C} \right) \quad (9)$$

$$\mathbb{B} = \begin{pmatrix} -\frac{D}{L_1} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (8) \quad \mathbb{D} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Se toman los valores seleccionados en la Sección (??). Además se consideran las resistencias tanto de N_1 y de los capacitores de salida (para las cuentas se consideran los dos capacitores en paralelo como uno solo con una única ESR) siendo estos $R_L = 0.001 \Omega$ y $R_C = 0.001 \Omega$ respectivamente. De esta forma se obtiene la transferencia del sistema:

$$G(s) = \mathbb{C} (s\mathbb{I} - \mathbb{A})^{-1} \mathbb{B} = \frac{-15.75s + 3.351 \cdot 10^8}{s^2 + 3002s + 2.346 \cdot 10^9} \quad (11)$$

3.2. Compensador

Se utiliza el siguiente circuito como compensador:

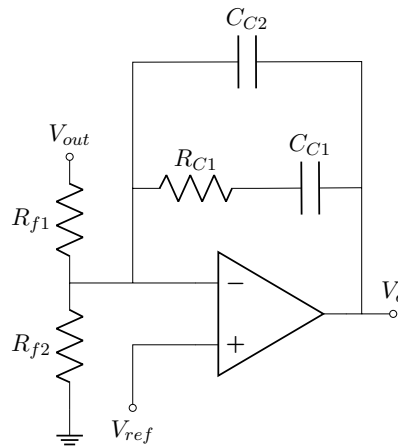


Figura 11: Circuito compensador del sistema.

La transferencia de este sistema es la siguiente:

$$H(s) = \frac{1}{R_{f1}C_{C2}} \cdot \frac{s + \frac{1}{R_{C1}C_{C1}}}{s \left(s + \frac{R_{C1} + R_{C2}}{R_{C1}C_{C1}C_{C2}} \right)} \quad (12)$$

Se emplean los siguientes valores:

- $R_{C1} = 10 \text{ k}\Omega$
- $R_{f1} = R_{f2} = 1 \text{ k}\Omega$
- $C_{C1} = 10 \text{ nf}$
- $C_{C2} = 1 \text{ }\mu\text{f}$
- $N_2 = 1 \text{ }\mu\text{H}$

Con esos valores, el compensador queda:

$$H(s) = \frac{0.0001s + 1}{1 \cdot 10^{-7}s^2 + 0.00101s} \quad (13)$$

Con el sistema realimentado, se grafican los diagramas de Bode para la transferencia y para la ganancia de lazo T, al igual que el diagrama de polos y ceros del sistema.

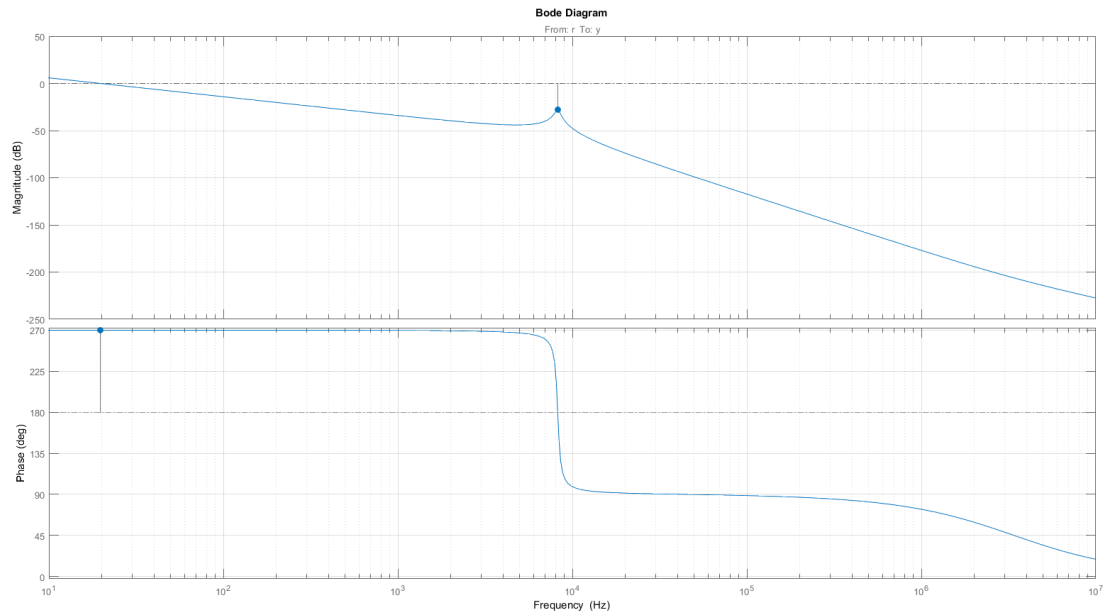


Figura 12: Diagrama de Bode transferencia.

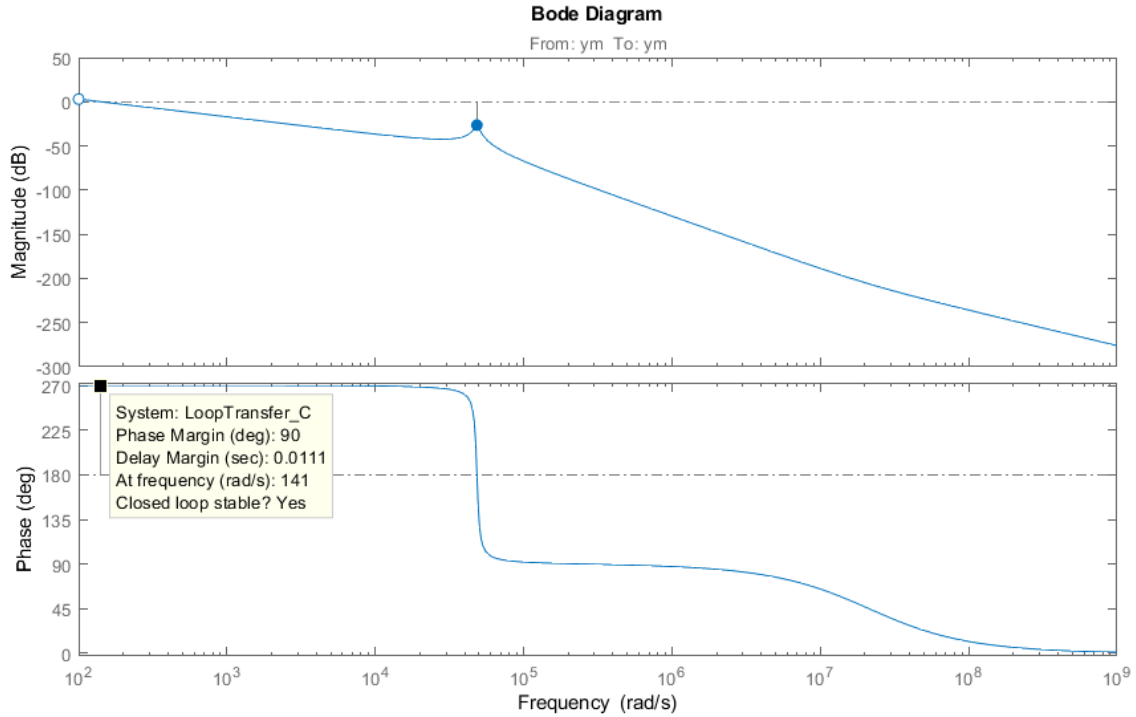


Figura 13: Diagrama de Bode ganancia de lazo.

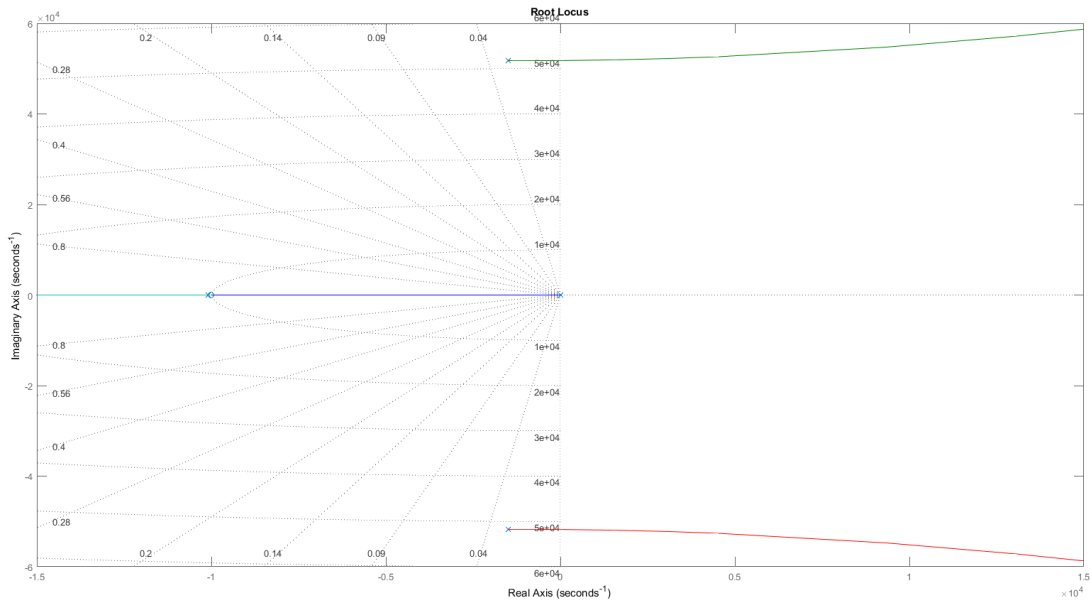


Figura 14: Plano S, diagrama de polos y ceros.

En líneas generales, si

$$|T| \gg 1 \Rightarrow \frac{V_o}{V_{ref}} \approx \frac{1}{\beta} = 0.5 \Rightarrow V_o \approx 0.5 \cdot V_{ref} \quad (14)$$

En el diseño del realimentador se tuvieron en cuenta diversos lugares para colocar una resistencia variable, podría ser en R_{f1} , R_{f2} ó se podría variar la V_{ref} . El problema que se encontró con poner la variable en R_{f2} es que la variación de salida con esta resistencia resulta homográfica, y sería preferible que sea lineal. Por lo que como opciones quedan R_{f1} finalmente se optó por únicamente variar la tensión de V_{ref} . Debido a que los potenciómetros cuentan con una inductancia parasita considerable y este es el realimentador que podría introducir polos ó ceros indeseados al sistema.

Finalmente se realizó la simulación a lazo cerrado y se obtuvieron las siguientes curvas:

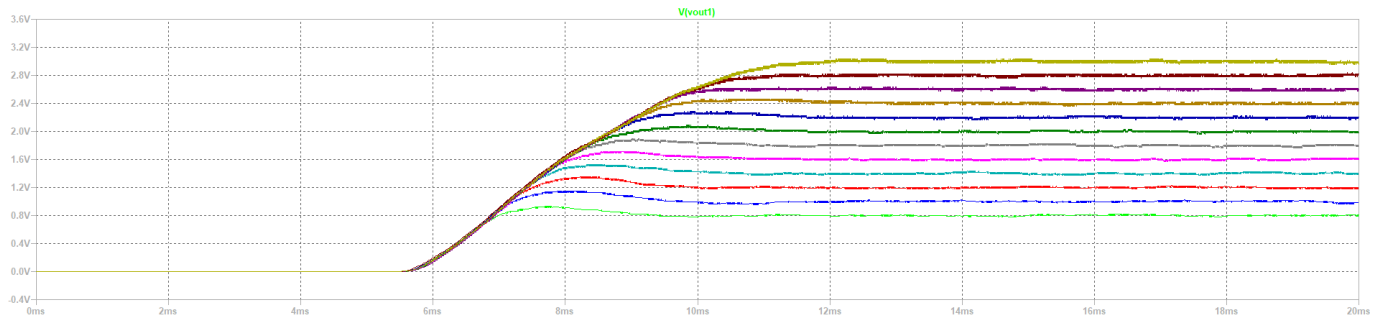


Figura 15: Variación de tensión de salida.

4. Parte IV

4.1. Diseño de placa

Se diseñó la placa en multiperforada, teniendo la posibilidad de medir la tensión en los pines de compensación, tensión de drain, gate, primario, secundario y en el pin no inverter. Teniendo la posibilidad de cambiar la carga del circuito, y la tensión de salida. Se colocaron como capacitor varios en paralelo teniendo distintas tecnologías (Electrolíticos, multicapa, mica) para bajar la ESR al igual que subir la capacidad de salida. Se tuvo en cuenta no unir islas con estaño sino siempre con cables. El sistema si bien fue diseñado en modo continuo, trabajará en modo discontinuo debido a la baja corriente de salida que es pedida por la carga, aun si se quisiese no podría trabajar en modo continuo debido a que la corriente necesaria para que este trabaje en modo continua resultaría en la saturación del transformador lo cual no es deseable.

4.2. Mediciones

5. Conclusiones

Se realizó el diseño de un convertidor DC-DC topología Flyback exitosamente, con 2 salidas simétricas y la posibilidad de variar la tensión entre un rango de $[0.8, 3]$ V.

Se obtuvo conocimiento del funcionamiento del IC SG3525, tanto teórico de su funcionamiento interno y sus funcionalidades. Al igual que práctico en el armado de un circuito que permite variar tanto la frecuencia como el duty del generador de pulsos. Se pudo simular en LTSpice el circuito y se calculó un snubber para el circuito, midiendo su eficiencia y comparando tanto teórico con simulado. También se modeló la función transferencia de la Flyback mediante el uso de la promediación de variable de estados. Al igual que el diseño de un compensador para ubicar los polos en un sector que asegure estabilidad del sistema. Finalmente se implementó en una placa multiperforada.