

# 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
3.3. Simulaciones	9
4. Parte IV	12
4.1. Diseño de placa	12
4.2. Mediciones	12
5. Conclusiones	15

## 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, apagando la salida automáticamente 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.

Esto protege al circuito conectado a la salida de la flyback, asumiendo que es mejor cortar la alimentación que proveer un valor indeterminado de tensión.

#### 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 ( $\sim 200$  kHz 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 V (pin no inversor a masa y pin inversor a  $V_{ref}$ ), luego aplicando una tensión en el pin de compensación (9), es posible manejar el duty de salida.

#### 1.1.3. Soft-Start

El pin de Soft-Start cumple con la función de limitar el duty cycle en el arranque, hasta que el capacitor de SS esté cargado.

Cuando se está empleando una fuente realimentada se busca que en el arranque no se produzca un duty cycle tal que se llegue a la tensión deseada, sino a una menor hasta que se cargue el capacitor SS. 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 coloca la resistencia de shunt en el camino de la corriente a sensar y en paralelo a la juntura base emisor del bipolar, y se calcula la resistencia de manera tal que cuando haya una corriente mayor a la permitida, la caída de potencial en la resistencia sea mayor que la tensión necesaria para polarizar la juntura del transistor, el cual en consecuencia coloca una señal alta en el pin de shutdown.

## 2. Parte II

### 2.1. Diseño del sistema

En el sistema que se busca desarrollar, se emplean los siguientes valores para la fuente Flyback:

$$\blacksquare D = 0.3$$

$$\blacksquare L_1 = 40 \text{ }\mu H$$

$$\blacksquare R_1 = R_3 = 10 \text{ }\Omega$$

$$\blacksquare C_1 = C_3 = 47 \text{ }\mu F$$

$$\blacksquare C_2 = C_4 = 1 \text{ }\mu F$$

$$\blacksquare N_1 = 3 \text{ }\mu H$$

$$\blacksquare N_2 = N_3 = 1 \text{ }\mu H$$

Para el circuito del SG3525 se adoptaron los siguientes valores

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

calculando el ripple a la salida se obtiene

$$0.05 = \frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT_s}{R_o C} \tag{3}$$

$$C = \frac{DT_s V_o}{R_o C \Delta V_o} = 80\mu\text{F} \tag{4}$$

por lo que se seleccionó una combinación de capacitores con una capacitancia total de

PONER QUE USAMOS ACA Y CAMBIARLO ARRIBA

La combinación de valores de  $R_T$  y  $C_T$  fueron elegidas para mantener la frecuencia de switching elegida. La resistencia  $R_D$  es nula para que se descargue lo mas rápido posible. Por último, el capacitor  $C_{ss}$  es para que tenga un comienzo suave.

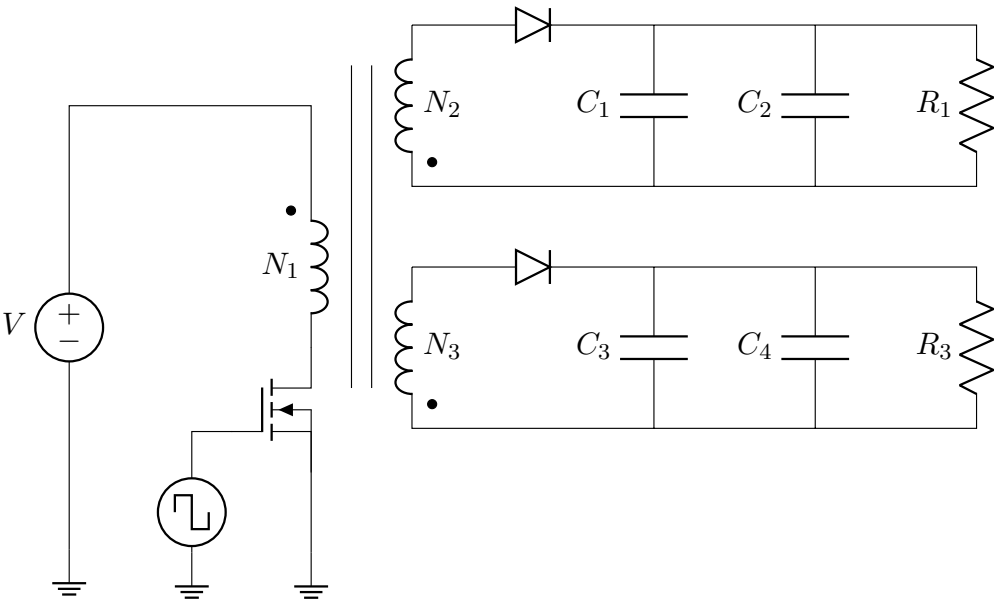


Figura 1: Circuito del snubber empleado.

2.2. Simulaciones

EXPLICAR OBSERVACIONES

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

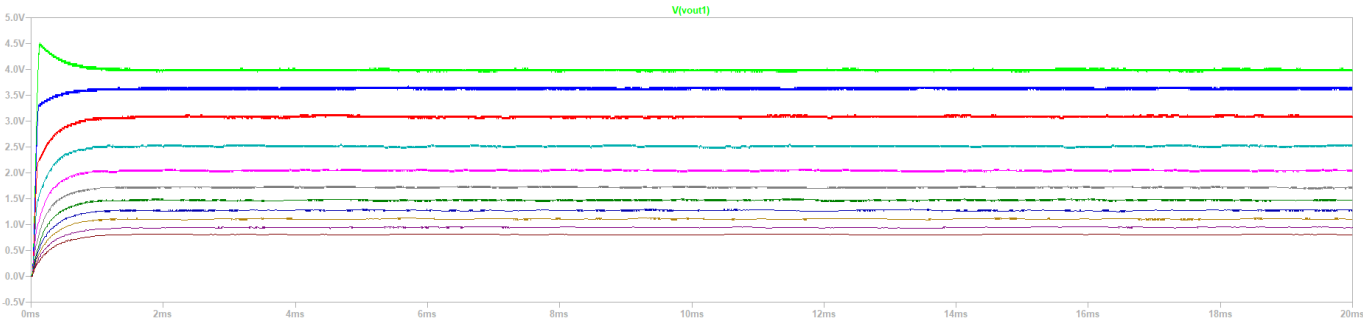


Figura 2: Variaciones en la  $V_{out}$  al cambiar la  $V_{comp}$ .

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

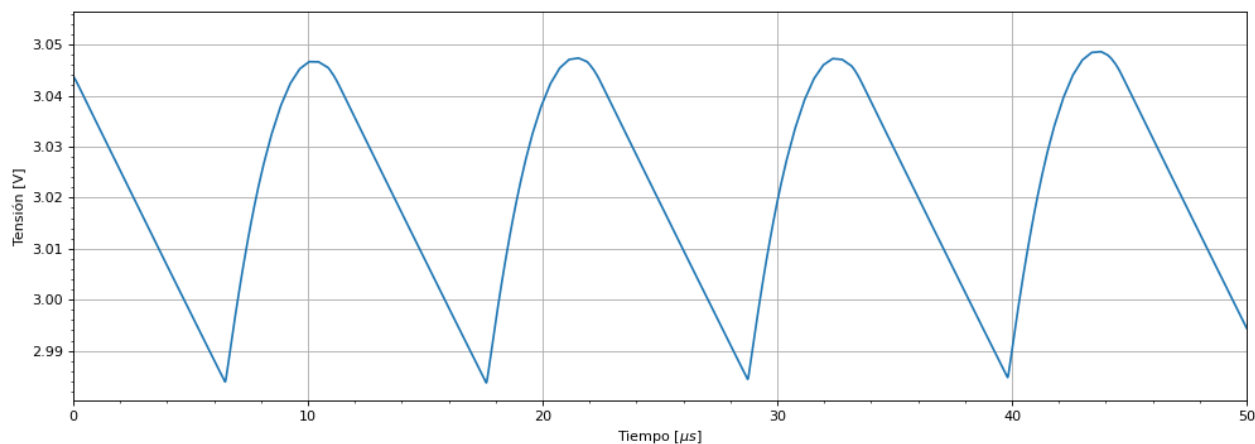


Figura 3: Tensión de salida.

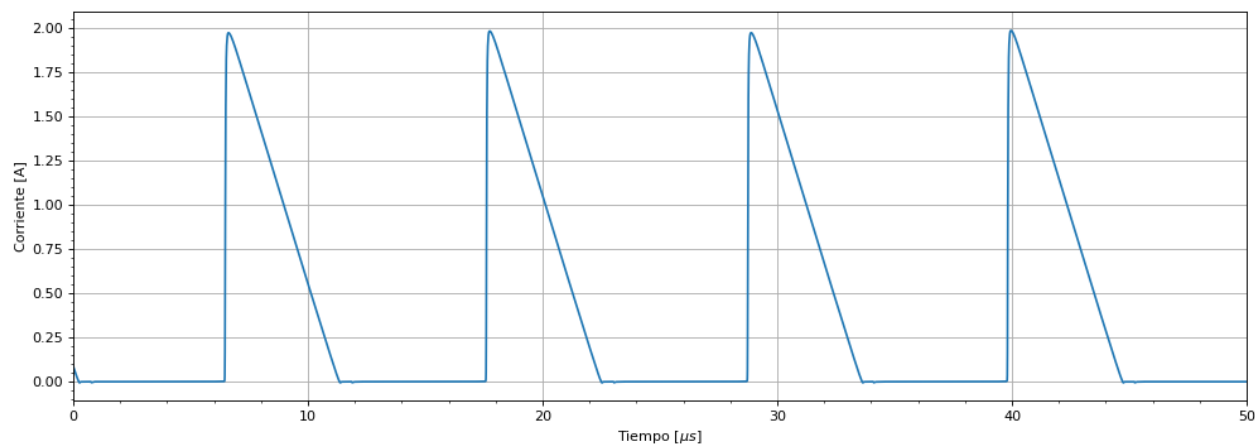


Figura 4: Corriente del diodo.

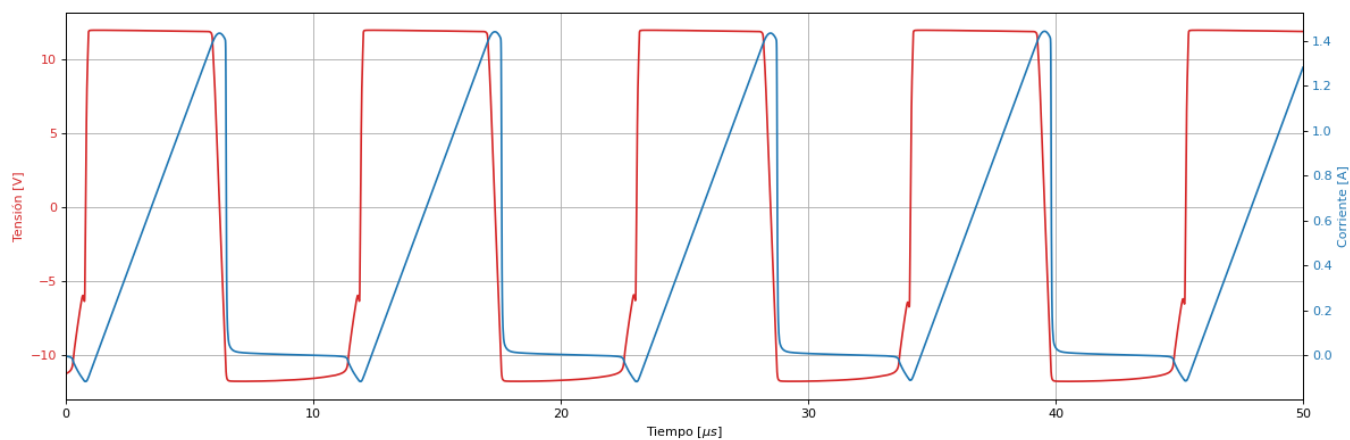


Figura 5: Tensión y corriente del primario.

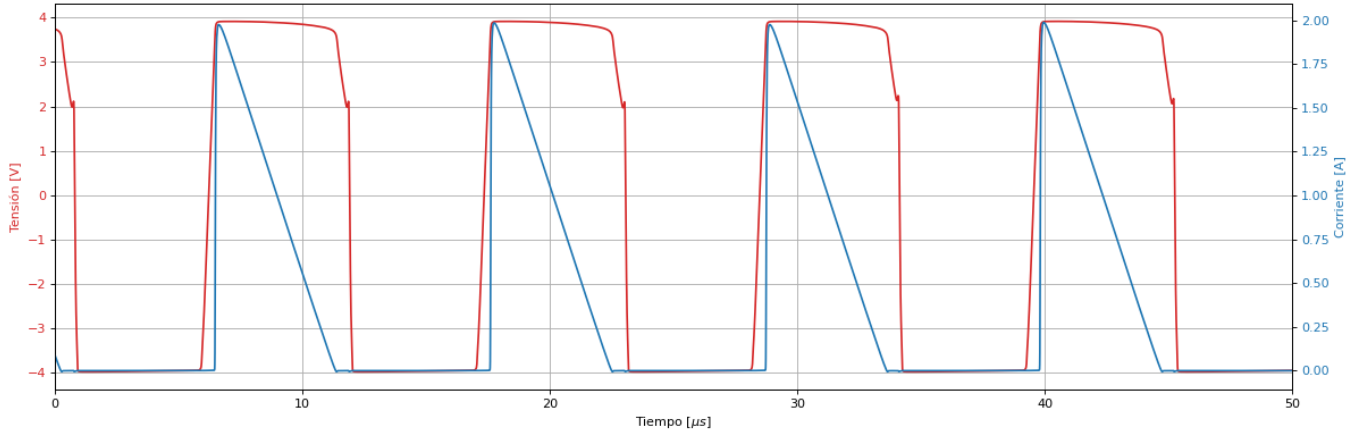


Figura 6: Tensión y corriente del secundario.

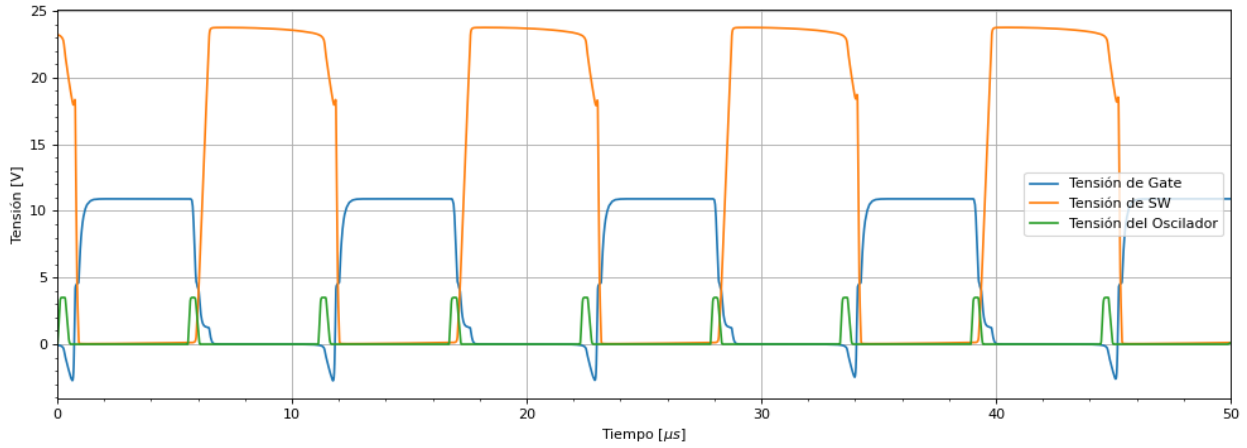


Figura 7: Tensión de Gate y del Switch.

### 2.3. Snubber

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

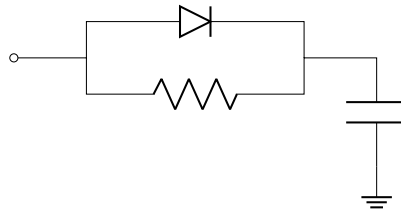


Figura 8: Circuito del snubber empleado.

Se calcula el valor máximo del capacitor, planteando que la energía entregada por la inductancia de dispersión debe ser absorbida completamente por el capacitor del snubber. De esta forma, se llega a la expresión:

$$C > L_d \frac{I_{L1}^2}{V_C^2 - \left(V_{CC} - V_o \frac{N_1}{N_2}\right)^2} = 1 \mu H \cdot \frac{15 A^2}{100 V^2 - (12 V - 3 \cdot 0.8 V)^2} = 23 nF \quad (5)$$

De esta forma, se selecciona  $C = 35 nF$ . Planteando que tres veces el tiempo característico del sistema RC debe ser menor al tiempo en que el transistor se encuentra encendido, para así descargar completamente al capacitor, se obtiene una restricción

similar para la resistencia. Operando, se llega a:

$$R < \left. \frac{DT_s}{3C} \right|_{C=10 \text{ nF}} = \frac{0.5}{100 \text{ kHz}} \cdot \frac{1}{3 \cdot 35 \text{ nF}} = 71 \Omega \quad (6)$$

Finalmente se selecciona  $R = 47 \Omega$ .

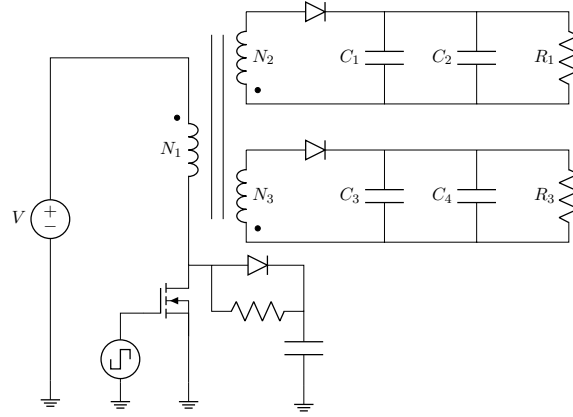


Figura 9: Circuito Flyback con snubber.

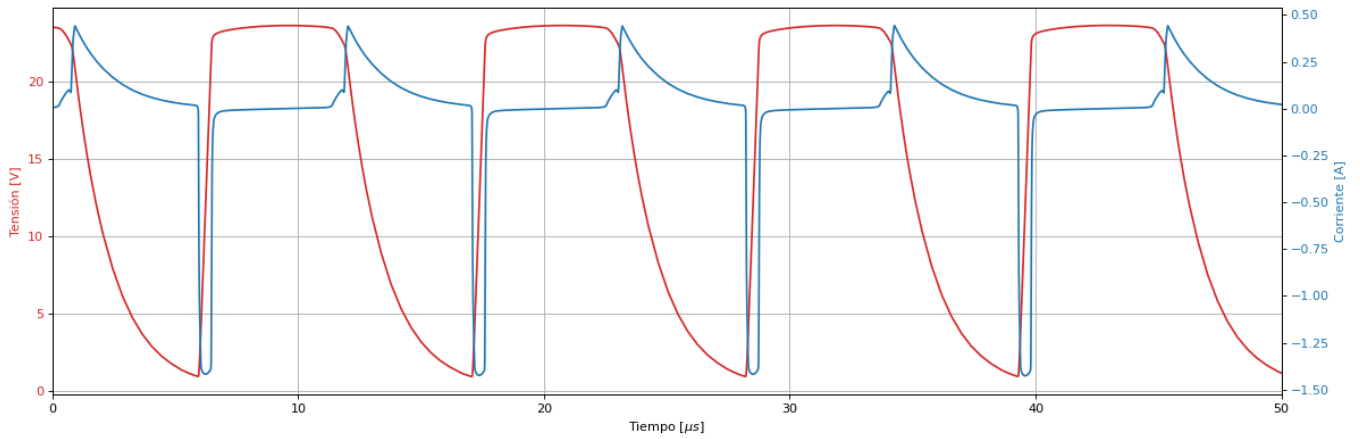


Figura 10: Tensión y corriente en el capacitor de snubber.

## 2.4. Potencias

Las potencias teóricas calculadas son:

- $P_{MOS} = \frac{f_{sw}}{2} \cdot V_{sw} I_{N1-min} t_{sw2} = \frac{88K}{2} \cdot 21400m300n = 110 \text{ mW}$
- $P_{RSnubber} = \frac{CV_C^2 F_{sw}}{2} = 679 \text{ mW}$
- $P_{diodo} = (I_o R_d^2 + I_o V_D) DT_s F_{sw} + potirr = \text{saludos}$

Las medidas en la simulación son:

- $P_{MOS} = 45 \text{ mW}$
- $P_{RSnubber} = 388.6 \text{ mW}$
- $P_{diodo} = \text{saludosmW}$

## 2.5. Eficiencia

Se calculó la eficiencia del circuito de la siguiente manera:

**PONER EN FUNCION DE LA CARGA Y DESDE LAMINIMA  
POTENCIA A LA SALIDA A LAMAXIMA**

$$\eta = \frac{P_{Load}}{P_d} = 77\% \quad (7)$$

mientras que la simulada corresponde a:

$$\eta = 87\% \quad (8)$$

## 3. Parte III

### 3.1. Matrices de estado

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

$$\mathbb{A} = \begin{pmatrix} -\frac{DR_1}{L_1} + \frac{(1-D)n^2 R_C R}{(R-R_C)L_1} & \frac{(1-D)nR}{(R-R_C)L_1} \\ -\frac{(1-D)nR}{(R-R_C)C} & -\frac{D}{(R-R_C)C} - \frac{(1-D)}{(R-R_C)C} \end{pmatrix} \quad (9)$$

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

$$\mathbb{C} = \begin{pmatrix} -\frac{(1-D)nRR_C}{R-R_C} & \frac{DR}{R+R_C} + \frac{(1-D)R}{R-R_C} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\mathbb{D} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Se toman los valores seleccionados en la Sección (2). 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:

$$G(s) = \mathbb{C} (s\mathbb{I} - \mathbb{A})^{-1} \mathbb{B} = \frac{-15.75s + 3.351 \cdot 10^8}{s^2 + 3002s + 2.346 \cdot 10^9} \quad (13)$$

### 3.2. Compensador

Se utiliza el siguiente circuito como compensador:

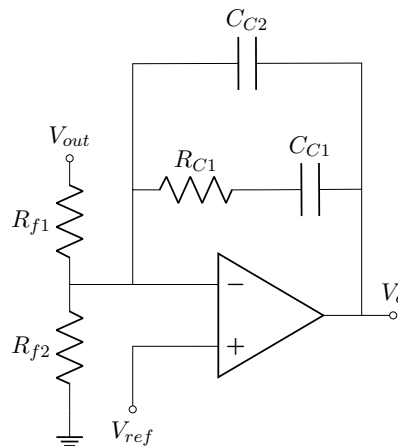


Figura 11: Circuito compensador del sistema.



La transferencia de este sistema es la siguiente:

$$H(s) = \frac{1}{R_{f1}C_{C2}} \cdot \frac{s + \frac{1}{R_{C1}C_{C1}}}{s \left( s + \frac{R_{C1}+R_{C2}}{R_{C1}C_{C1}C_{C2}} \right)} \quad (14)$$

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:

$$H(s) = \frac{0.0001s + 1}{1 \cdot 10^{-7}s^2 + 0.00101s} \quad (15)$$

De esta forma, la ganancia de lazo queda de la forma:

$$T(s) = G(s) \cdot H(s) = \frac{-0.001575s^2 + 3.35 \cdot 10^4s + 3.351 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^{-7}s^4 + 0.00131s^3 + 237.6s^2 + 2.369 \cdot 10^6s} \quad (16)$$

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.

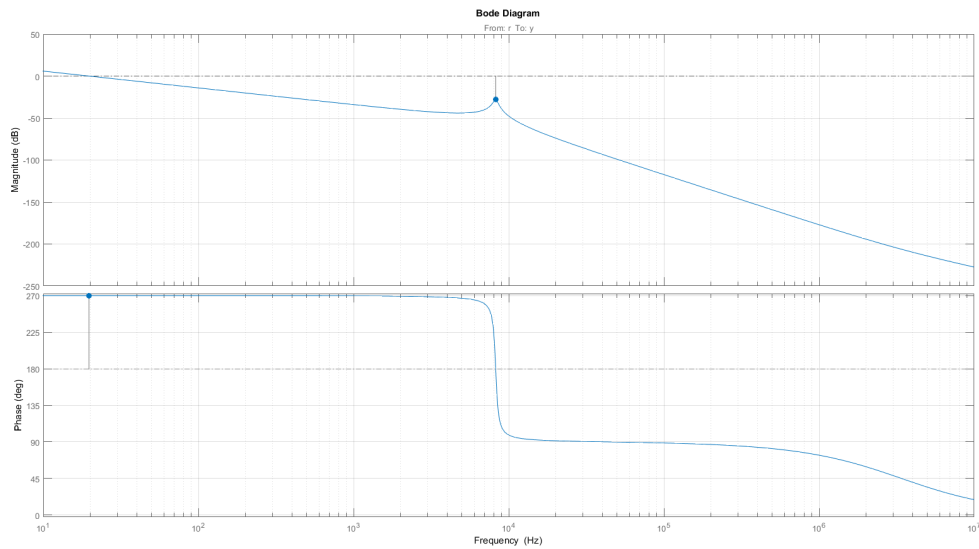


Figura 12: Diagrama de Bode transferencia.

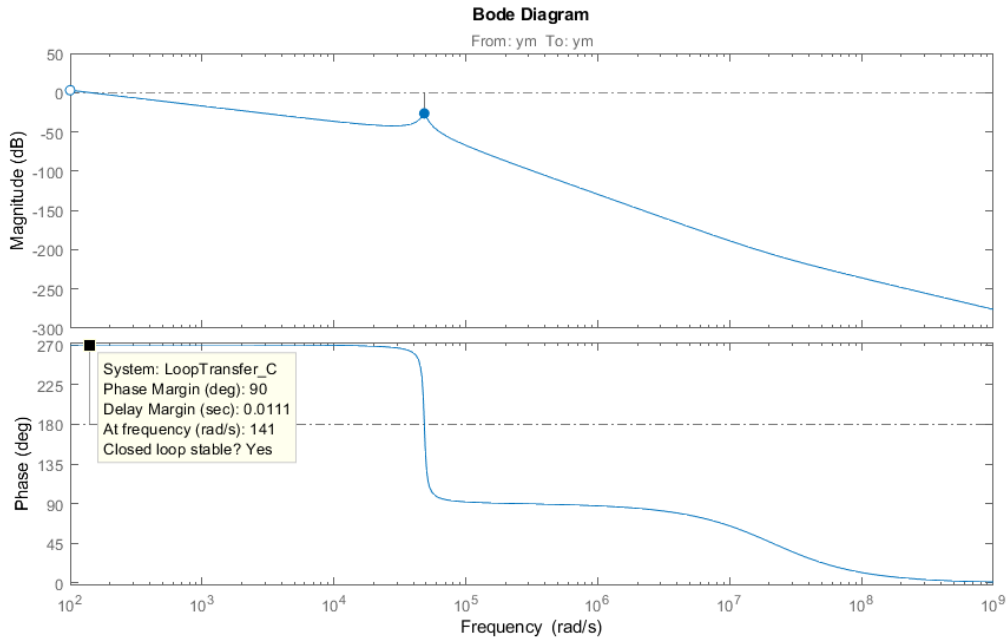


Figura 13: Diagrama de Bode ganancia de lazo.

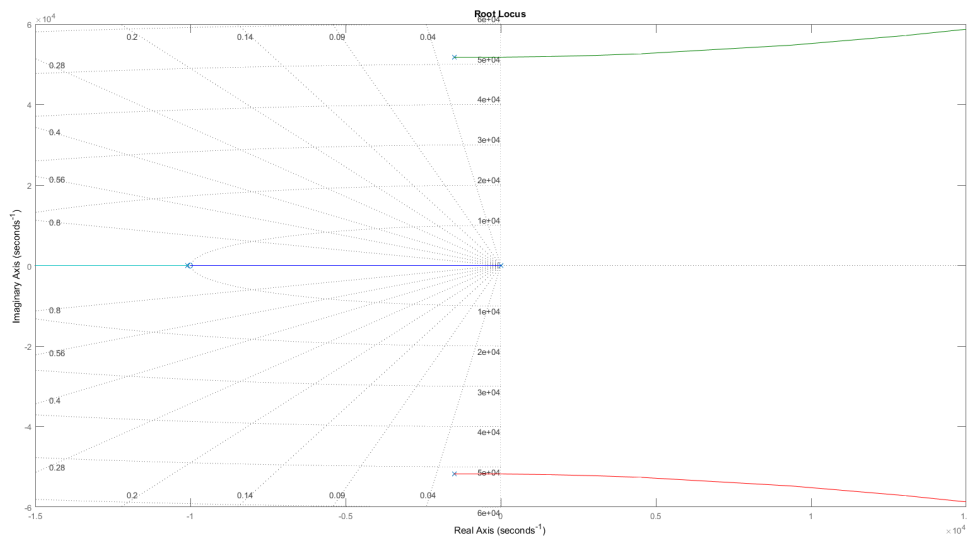


Figura 14: Plano S, diagrama de polos y ceros.

En líneas generales, si

$$|T| \gg 1 \Rightarrow \frac{V_o}{V_{ref}} \approx \frac{1}{\beta} = 0.5 \Rightarrow V_o \approx 0.5 \cdot V_{ref} \quad (17)$$

En el diseño del realimentador se tuvieron en cuenta diversos lugares para colocar una resistencia variable. Esta podría ser en  $R_{f1}$ ,  $R_{f2}$  o simplemente 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, siendo preferible que sea lineal. Es por ello que esta opción quedó descartada. Finalmente se optó por variar únicamente la tensión de  $V_{ref}$ .

Debido a que los potenciómetros cuentan con una inductancia parásita considerable y, dado que este es el realimentador, se podrían introducir polos ó ceros indeseados al sistema empleando dicho componente.

### 3.3. Simulaciones

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

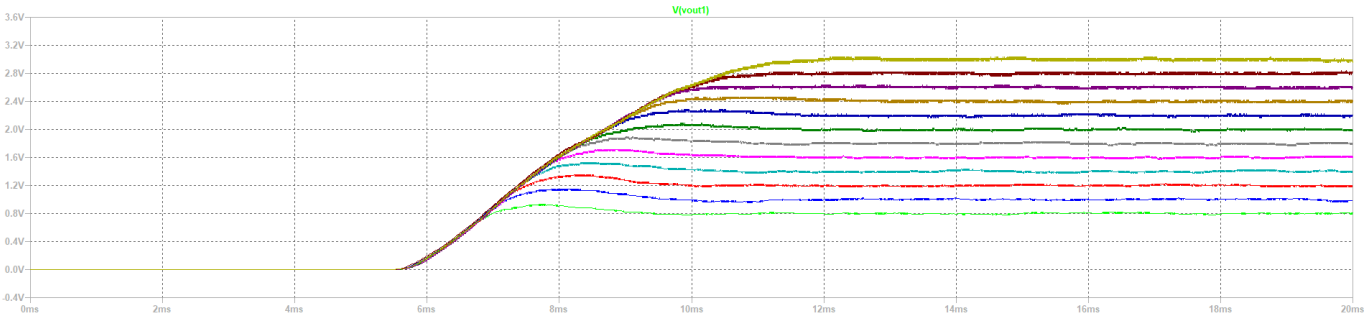


Figura 15: Variación de tensión de salida.

Al igual se midieron todas las tensiones relevantes del sistema:

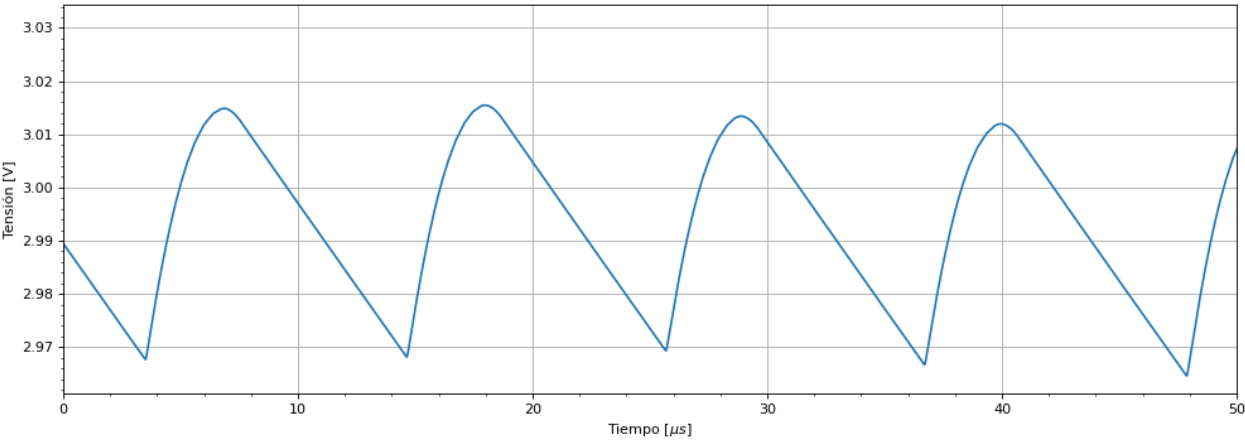


Figura 16: Tensión de salida.

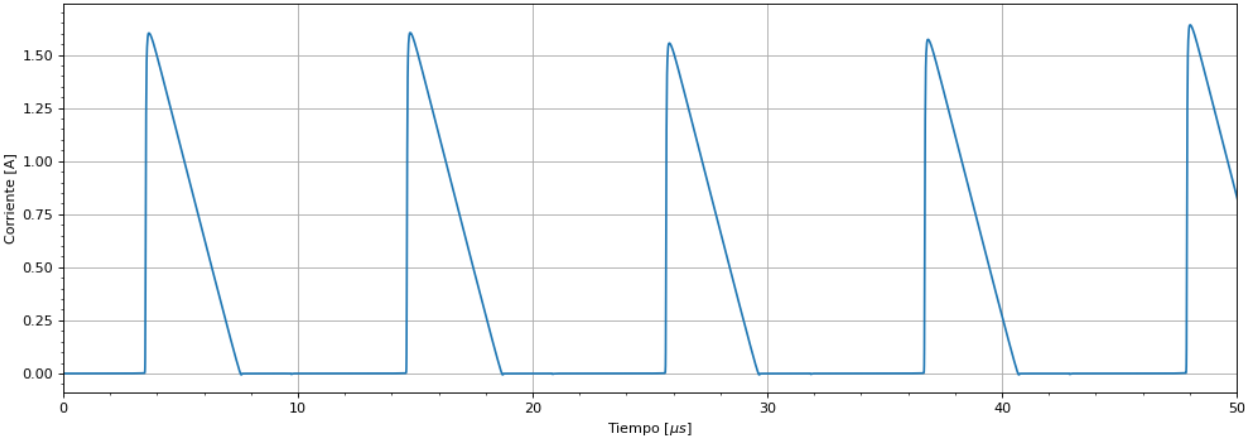


Figura 17: Corriente del diodo.

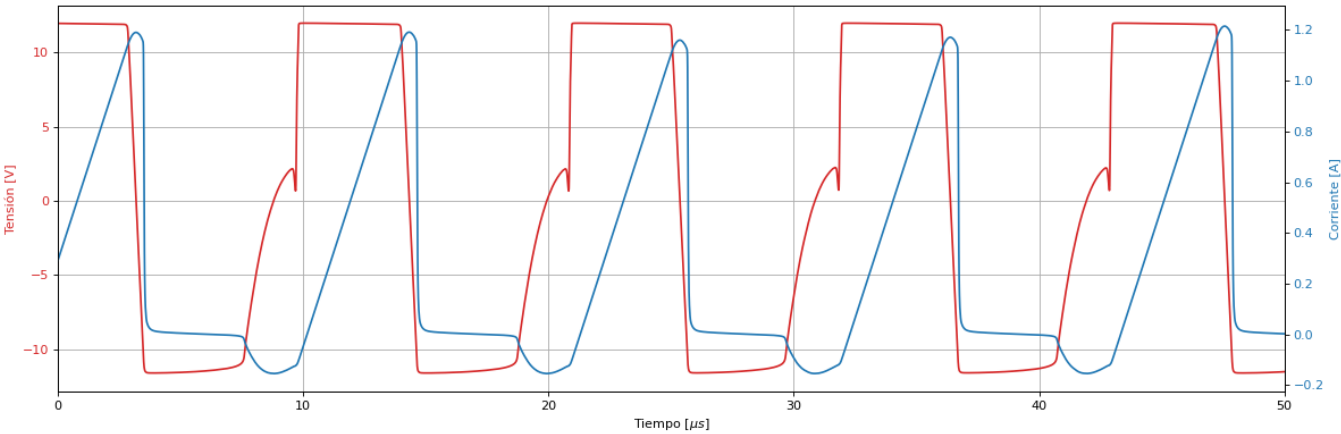


Figura 18: Tensión y corriente del primario.

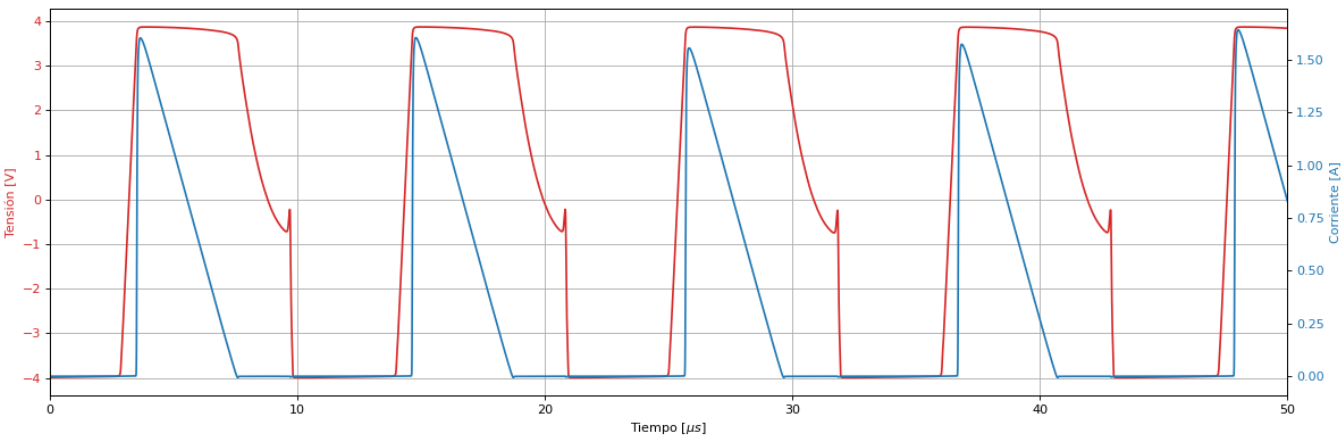


Figura 19: Tensión y corriente del secundario.

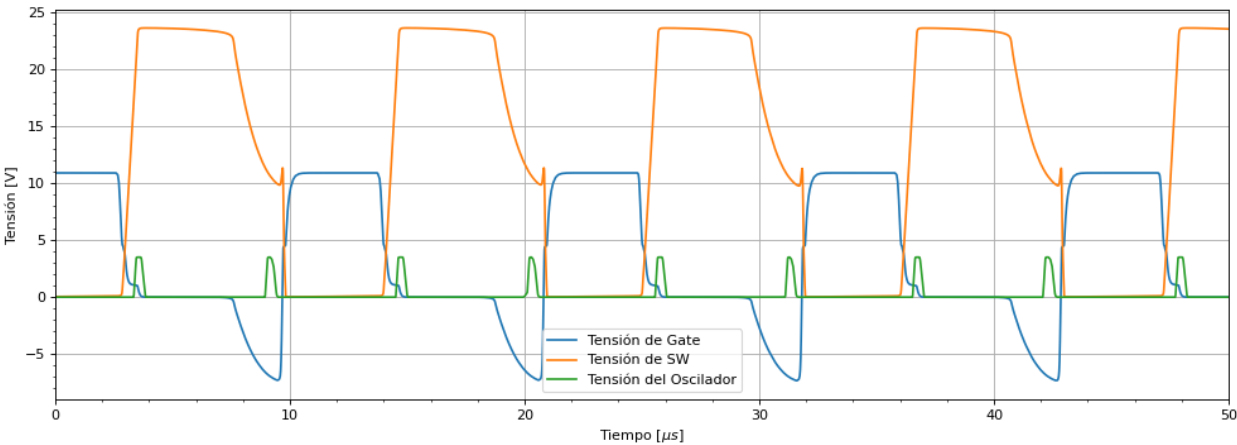


Figura 20: Tensión de Gate y del Switch.

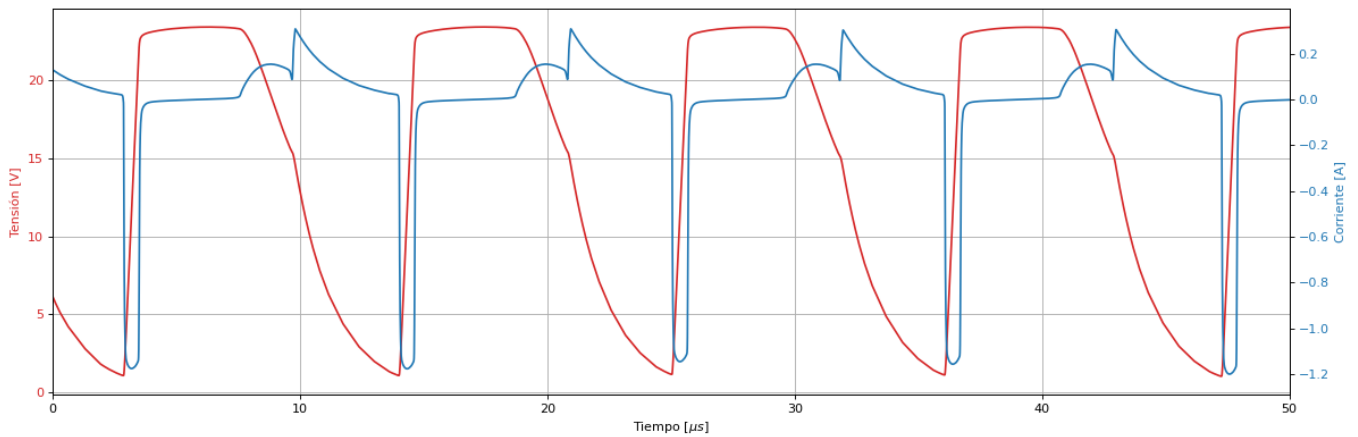


Figura 21: Tensión y corriente en el capacitor de snubber.

## 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, drain, gate, primario, secundario y en el pin no inversor. También es posible cambiar la carga del circuito, y la tensión de salida.

Se colocaron a la salida varios capacitores en paralelo, teniendo distintas tecnologías (electrolíticos, multicapa, mica) para bajar la ESR, al igual que para subir la capacidad de salida.

El sistema, si bien fue diseñado en modo continuo, trabaja en modo discontinuo debido a la baja corriente de salida que es pedida por la carga. Aún 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

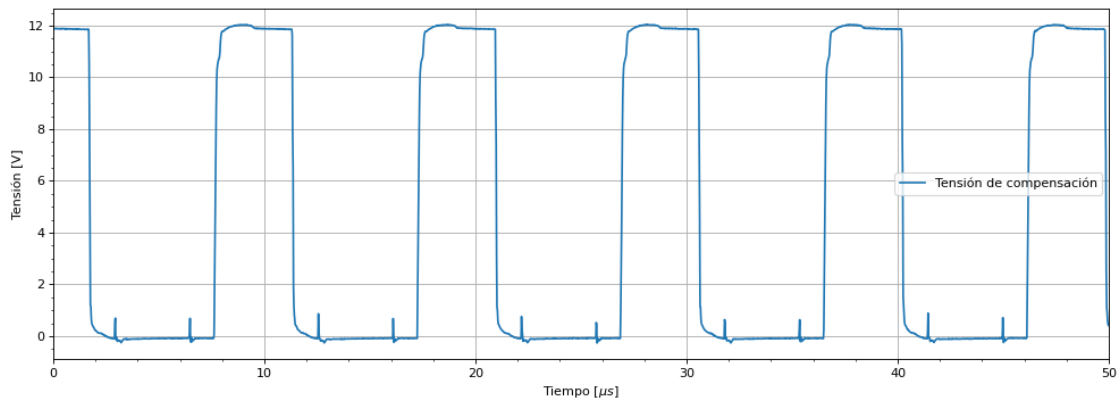


Figura 22: Tensión de compensación.

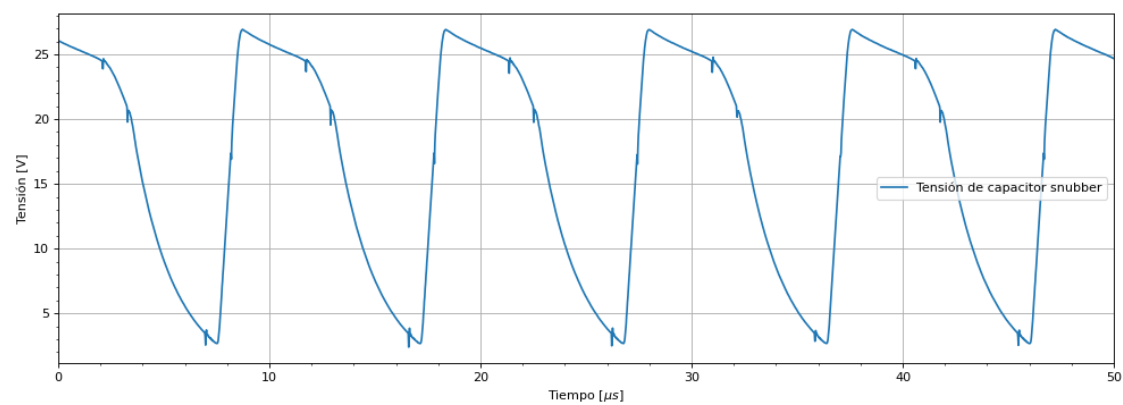


Figura 23: Tensión de capacitor de snubber.

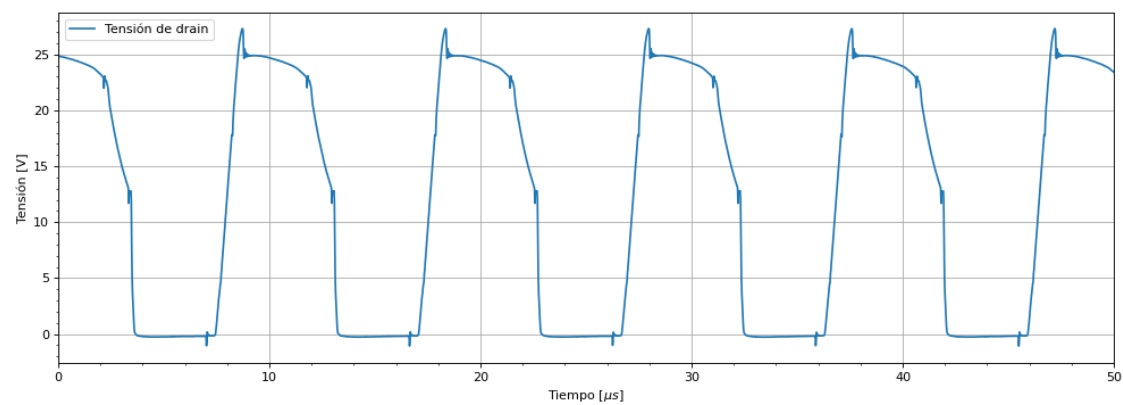


Figura 24: Tensión de drain.

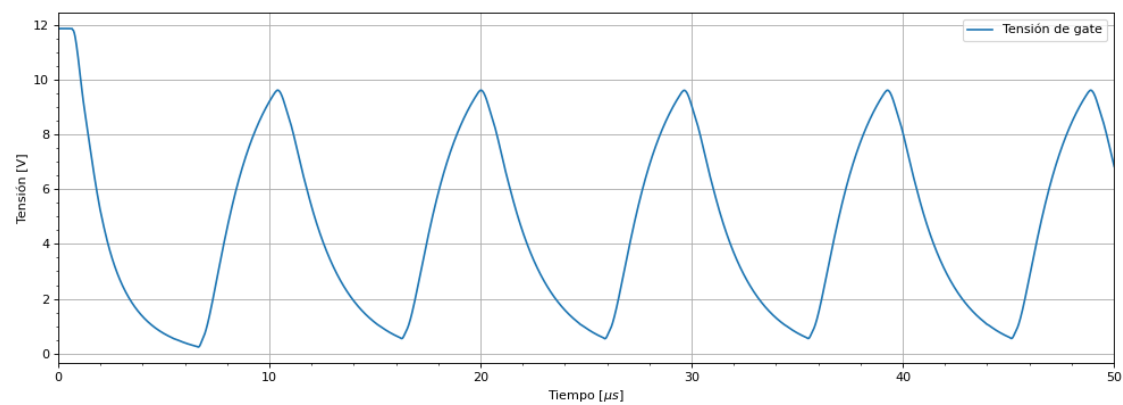


Figura 25: Tensión de gate.

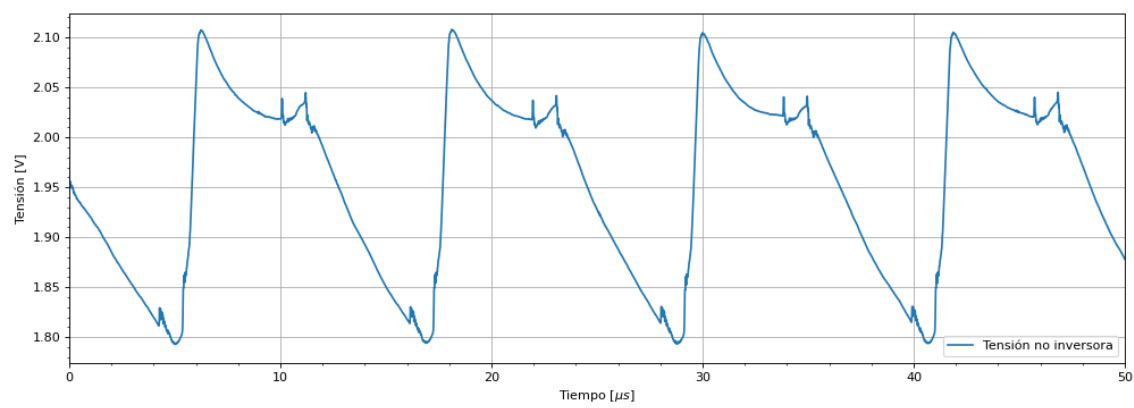


Figura 26: Tensión no inversora.

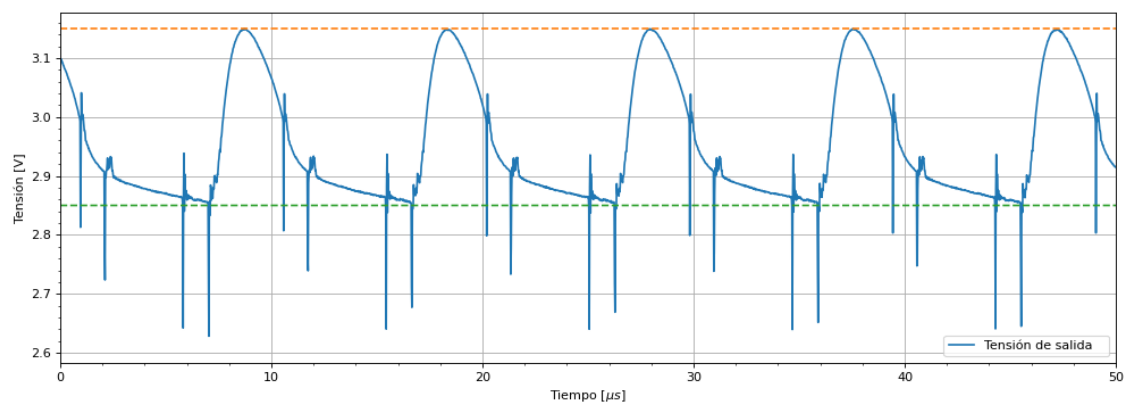


Figura 27: Tensión de salida.

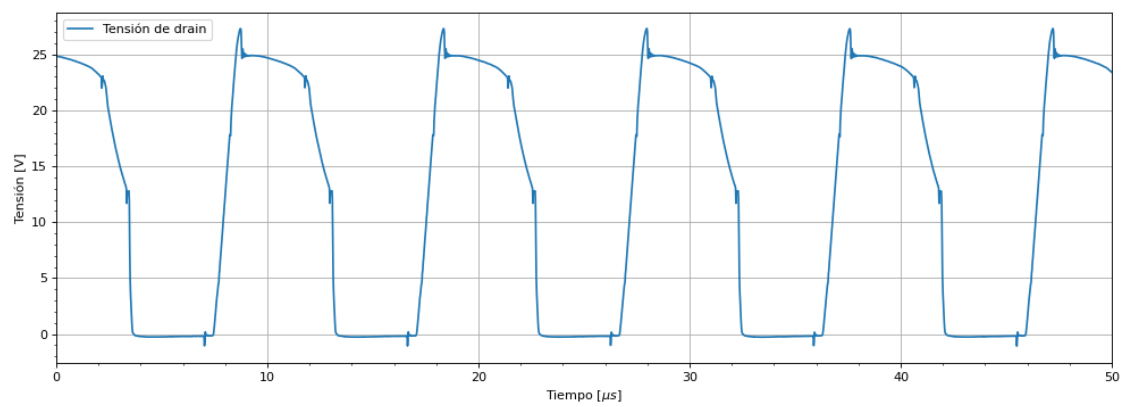


Figura 28: Tensión de drain.

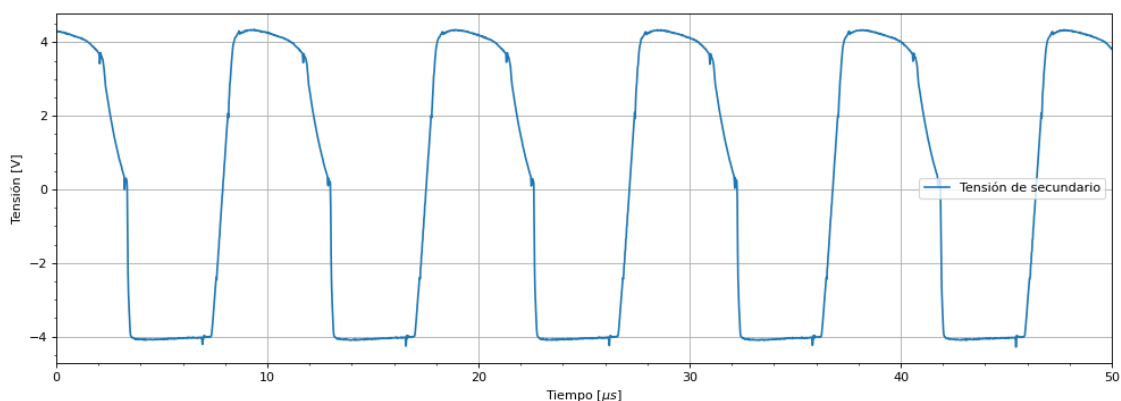


Figura 29: Tensión de secundario.

## 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  $0.8\text{ V}$  a  $3\text{ V}$ .

Se obtuvo conocimiento del funcionamiento del IC SG3525, tanto de su funcionamiento interno como de sus funcionalidades. Además, se obtuvieron conocimientos prácticos 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 este, midiendo su eficiencia y comparando tanto los valores teóricos con simulados. También se modeló la función transferencia de la fuente Flyback mediante el uso de la promediación de variable de estados. Luego, se diseñó un compensador para ubicar los polos en un sector que asegure estabilidad del sistema. Finalmente se implementó en una placa multiperforada.