

## Máster en Transformación Energética Power Electronics

# Máquinas eléctricas y sistemas de alta tensión en convertidores

### Práctica: Generación Alta Tensión

José Giménez Llanos  
Álvaro Navarro Jorquera



# Índice

1. Desarrollo de la propuesta	2
-------------------------------	---

## Índice de figuras

1. Esquema con los multiplicadores necesarios . . . . .	2
---	---

## 1. Desarrollo de la propuesta

Como ya se ha mencionado vamos a diseñar un circuito basado en multiplicadores de tensión o duplicadores de Greinacher para conseguir a la salida los 3kV especificados.

En primer lugar, vamos a calcular cuántas celdas duplicadoras son necesarias en el diseño para obtener los 3kV a la salida. Para ello hay que tener en cuenta que el condensador de salida de cada celda duplicadora se carga a una tensión igual al doble de la tensión de pico de la fuente, por lo que al poner varias celdas en serie, la tensión entre el terminal positivo del último condensador y la referencia (terminal negativo de la fuente) se irá duplicando. Por tanto, el cálculo queda de la siguiente forma:

$$n^{\circ} \text{ duplicadores} = \frac{3000 V}{220 \cdot \sqrt{2} \cdot 2} = 4,821 \quad (1)$$

Por tanto, con cinco duplicadores de tensión podemos obtener los 3kV de continua a partir de la fuente de  $220 V_{rms}$ .

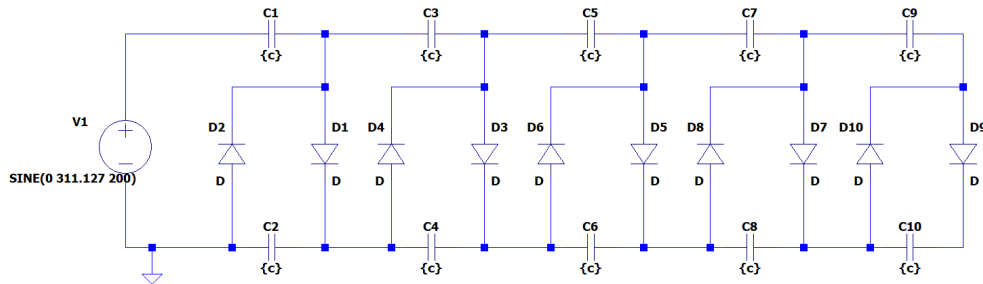


Figura 1: Esquema con los multiplicadores necesarios

Por otro lado, la corriente de salida del circuito multiplicador tiene que se aproximadamente de 5 mA. Para conseguir esta corriente de salida tenemos que calcular una carga que se conecte a la salida del multiplicador y que consuma esa corriente, ya que el multiplicador aislado, una vez se han cargado todos los condensadores no consume ninguna corriente. La carga se puede calcular fácilmente mediante la Ley de Ohm:

$$V = R \cdot I \rightarrow R = \frac{V}{I} = \frac{5 \cdot 2 \cdot 220 \cdot \sqrt{2}}{0,005} = 622254 \Omega \quad (2)$$

Este consumo de corriente provoca que los condensadores se descarguen más rápidamente, aumentando el rizado y provocando una caída de tensión final, por

lo que hay que emplear unos condensadores con una capacidad lo suficientemente elevada para minimizar el rizado y la caída de tensión.

Como hemos mencionado en las especificaciones, el rizado máximo debe ser de un  $\pm 20\%$ . En este caso realizaremos el diseño para tener un rizado de pico a pico de aproximadamente 10V, que sería un rizado de aproximadamente  $\pm 8\%$ . Para el cálculo del rizado vamos a comenzar calculándolo en el supuesto de que solo tuviésemos una celda duplicadora. Si llamamos  $t_1$  al tiempo en el que conduce el diodo que carga el condensador y  $t_2$  al tiempo en el que no conduce el diodo y, por tanto, el condensador se descarga durante un ciclo, podemos expresar la corriente que el condensador aporta a la carga R de la siguiente forma (llamamos q a la carga transferida en cada ciclo):

$$I = \frac{dq}{dt} \approx \frac{q}{t_2} \quad (3)$$

Como pasado el transitorio el tiempo  $t_1$  es mucho menor que  $t_2$  podemos aproximar  $t_2$  de la siguiente forma:

$$t_2 \approx \frac{1}{f} \quad (4)$$

Por otro lado, sabemos que el rizado de tensión en un condensador en función de la carga transferida en un ciclo es el siguiente:

$$\delta V = \frac{q}{C_2} \quad (5)$$

Por tanto, combinando las tres ecuaciones anteriores obtenemos la siguiente ecuación:

$$\delta V = \frac{I}{f \cdot C_2} \quad (6)$$

No obstante, en una celda duplicadora, la carga primero se transfiere del condensador  $C_1$  al condensador  $C_2$ , por lo que el rizado de pico a pico total a la salida de una sola celda duplicadora será el siguiente:

$$\delta V = \frac{I}{fC_1} + \frac{2I}{fC_2} = \frac{I}{f} \left[ \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right] \quad (7)$$

Extrapolando este resultado a nuestro ejercicio y considerando todos los condensadores iguales con una capacidad C, el rizado de pico a pico queda de la siguiente forma:

$$\delta V = \frac{I}{fC} [1 + 2 + 3 + 4 + 5] = \frac{I}{fC} \cdot 15 \quad (8)$$

Por tanto, para obtener un rizado pico a pico de 10V, la capacidad de los condensadores debe ser la siguiente:

$$C = \frac{I}{\delta V \cdot f} \cdot 15 = \frac{0,005}{10 \cdot 50} \cdot 15 = 150 \mu F \quad (9)$$

El cálculo anterior se ha realizado para una frecuencia de 50 Hz porque es más restrictivo, ya que a menor frecuencia mayor rizado. Podemos comprobar el rizado de pico a pico que se obtendrá con ese condensador a 200 Hz:

$$\delta V = \frac{I}{fC} \cdot 15 = \frac{0,005}{200 \cdot 150 \mu F} \cdot 15 = 2,5 V \quad (10)$$

Por otro lado, podemos calcular la caída de tensión que va a provocar una carga con ese consumo de corriente. A partir de la expresión obtenida en la referencia —**CITAR REFERENCIA**—:

$$V_{\text{drop}} = \frac{I}{fC} \left( \frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6} \right) \quad (11)$$

En la ecuación anterior, n es el número de celdas duplicadoras por lo que sustituyendo datos a 50 Hz la caída del voltaje final es la siguiente:

$$V_{\text{drop}} = \frac{0,005}{50 \cdot 150 \mu F} \left( \frac{2 \cdot 5^3}{3} + \frac{5^2}{2} - \frac{5}{6} \right) = 63,33 V \quad (12)$$

Por tanto, el voltaje medio de salida que obtendremos con esa carga a 50 Hz será el siguiente:

$$V = 5 \cdot 2 \cdot 220 \cdot \sqrt{2} - V_{\text{drop}} = 3047,93 V \quad (13)$$

Por otro lado, a 200 Hz la tensión final será la siguiente:

$$V_{\text{drop}} = \frac{0,005}{200 \cdot 150 \mu F} \left( \frac{2 \cdot 5^3}{3} + \frac{5^2}{2} - \frac{5}{6} \right) = 15,83 V \quad (14)$$

$$V = 5 \cdot 2 \cdot 220 \cdot \sqrt{2} - 15,83 = 3095,44 V \quad (15)$$