

Filtros Típicos para Rectificadores

ING. JUAN PABLO VIZCARDO ZUNIGA, DOCENTE, EDISON ABADO ANCCO, ALUMNO

Resumen—La función básica de un rectificador de media u onda completa es llevar una fuente alterna para un uso en DC. La salida rizada debe tener un rizo mínimo y estable sin picos pronunciados al inicio, y usando componentes pasivos R y L mesurados, los cuales lleven valores comerciales accesibles.

Términos Clave— rectificador, rizo

I. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO

I-A. Obtenga las siguientes relaciones teóricas para el rectificador de media onda con filtro de condensador

I-A1. Voltaje de rizado V_r : El voltaje de rizado es la tensión pico a pico en la salida filtrada. Ver figura (1) que es la salida de un filtrado con condensador. Matemáticamente se puede expresar como:

$$V_r = \frac{V_m}{fR_L C} \quad (1)$$

Dado que el circuito rectificador es uno donde el capacitor está en paralelo a la carga R_L , entonces el voltaje de rizado también se puede expresar como:

$$V_r = \frac{I_{dc}}{fC} \quad (2)$$

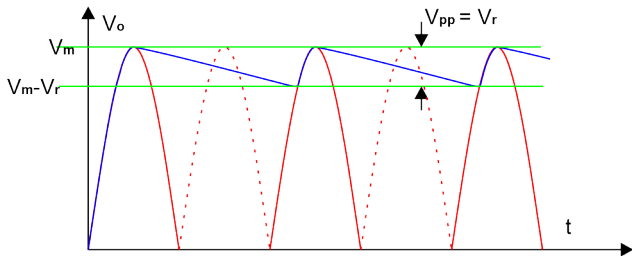


Figura 1. Voltaje de rizado para media onda.

I-A2. Factor de rizado r : Para poder definir matemáticamente el factor de rizado, usamos a la tensión de salida $V_{o,rms}$:

$$V_{o,rms} = \frac{V_r}{2\sqrt{3}} = \frac{I_{dc}}{2\sqrt{3}fC} \quad (3)$$

Por lo tanto el factor de rizado queda como:

$$r = \frac{V_{o,rms}}{V_{cd}} = \frac{I_{dc}/2\sqrt{3}fC}{I_{dc}R_L} = \frac{1}{2\sqrt{3}fCR_L} \quad (4)$$

I-B. Obtenga las siguientes relaciones teóricas para el rectificador de onda completa con filtro de condensador

I-B1. Voltaje de rizado V_r : El voltaje de rizado es la tensión pico a pico en la salida filtrada. Ver figura (2) que es

la salida de un filtrado con condensador. Matemáticamente se puede expresar como:

$$V_r = \frac{V_m}{2fR_L C} \quad (5)$$

Dado que el circuito rectificador es uno donde el capacitor está en paralelo a la carga R_L , entonces el voltaje de rizado también se puede expresar como:

$$V_r = \frac{I_{dc}}{2fC} \quad (6)$$

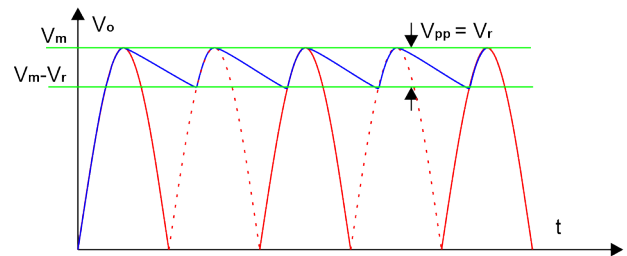


Figura 2. Voltaje de rizado para onda completa.

I-B2. Factor de rizado r : Para poder definir matemáticamente el factor de rizado, usamos a la tensión de salida $V_{o,rms}$:

$$V_{o,rms} = \frac{V_r}{2\sqrt{3}} = \frac{I_{dc}}{4\sqrt{3}fC} \quad (7)$$

Por lo tanto el factor de rizado queda como:

$$r = \frac{V_{o,rms}}{V_{cd}} = \frac{I_{dc}/4\sqrt{3}fC}{I_{dc}R_L} = \frac{1}{4\sqrt{3}fCR_L} \quad (8)$$

I-C. ¿Por qué es recomendable contar con una resistencia de purga?

Por que puede suceder que la carga se desconecte en algún momento, y esta situación dejaría al capacitor totalmente cargado por tiempo indefinido. Para ello es necesario integrar una resistencia alta (denominada resistencia de purga de alrededor de $1M\Omega$ a $10M\Omega$) para que cuando la carga esté desconectada, el capacitor no represente riesgo alguno.

I-D. En un rectificador LC, ¿Cuál es el valor de la inductancia crítica LC?

Dado que la tensión media de la bobina en regimen permanente (ver figura (3)) es cero, el voltaje medio de salida es:

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi} \quad (9)$$

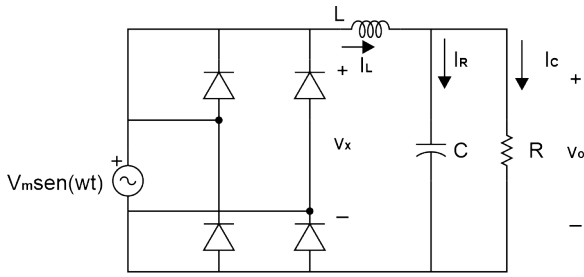


Figura 3. Voltaje de rizado para onda completa.

La corriente media de la bobina es igual a la de la resistencia, porque la corriente media del capacitor es cero.

$$I_L = I_R = \frac{V_o}{R} = \frac{2V_m}{\pi R} \quad (10)$$

Podemos estimar la variación de corriente en la bobina del primer término en alterna de la serie de Fourier.

$$v_o(\omega t) = V_o + \sum_{n=2,4,6,\dots}^{\infty} V_n \cos(n\omega t + \pi) \quad (11)$$

donde $V_o = \frac{2V_n}{\pi}$ y $V_n = \frac{2V_m}{\pi} \left(\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n+1} \right)$; para $n = 2$, y suponiendo que el capacitor es un cortocircuito en alterna, tendremos un armónico v_2 en la bobina. La amplitud de la corriente de la bobina para $n = 2$:

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_2} \simeq \frac{V_2}{2\omega L} = \frac{4V_m/3\pi}{2\omega L} = \frac{2V_m}{3\pi\omega L} \quad (12)$$

Para que la corriente sea siempre positiva, la amplitud del término en alterna deberá ser menor que la del término en continua (valor medio).

$$I_2 < I_L \quad (13)$$

Reemplazando $\frac{2V_m}{3\pi\omega L} < \frac{2V_m}{\pi R}$, por lo que:

$$L < \frac{R}{3\omega} \quad (14)$$

Por lo que podemos decir que nuestra inductancia crítica L_c estará dada por la ecuación anterior. Valores por debajo de esta variable serán adecuadas.

I-E. Graficar formas de onda para el circuito rectificador de media onda.

Dado el circuito de la imagen (4), graficar las formas de onda para $C = 10\mu F$. Estas curvas se muestran en la figura (5)

El voltaje de rizado usando las directivas .MEAS MAX MIN es de $V = 11,8136V$ (ver figura (6)), el cual es un valor muy alto. Para un mejor desempeño tendremos que variar la capacitancia.

Variando el Valor de C para obtener un voltaje de rizado de $1V_{pp}$, y usando las directivas .step y .meas tendremos el resultado que muestra la imagen (7). En el podemos ver que $V_r = 1,009V$ para $C = 240\mu F$. Este resultado es un resultado aproximado, y es aceptable, hay un margen de error pequeño.

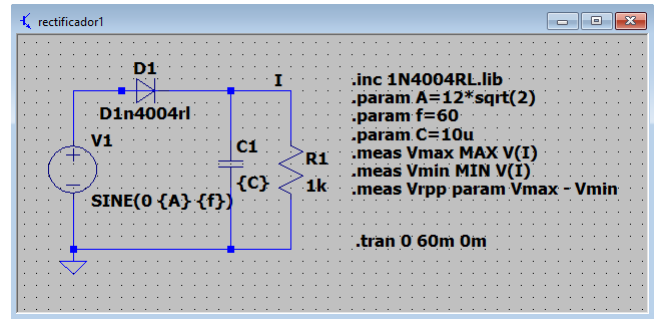


Figura 4. Circuito Rectificador de Media Onda.

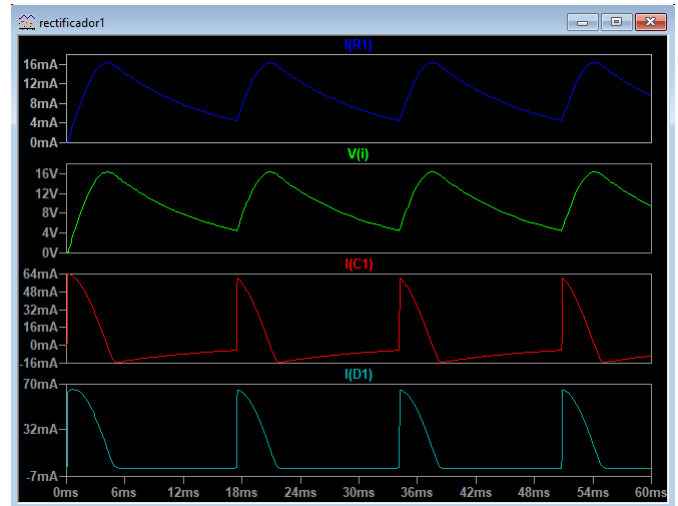


Figura 5. Forma de onda de la tensión de carga, corriente de carga, corriente que pasa por C1 y corriente que pasa por D1.

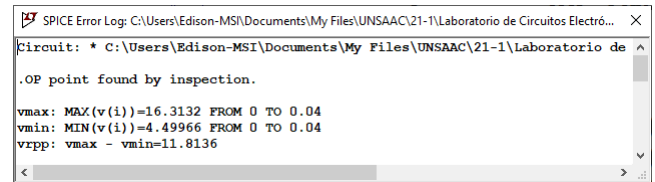


Figura 6. Ventana de Error log Para ver el voltaje de rizado usando las directivas .meas.

Ahora graficamos y generamos las curvas correspondientes a $C = 240\mu F$, como se muestra en la figura (8).

I-F. Graficar formas de onda para el circuito rectificador de onda completa.

Se tiene el circuito de la figura (9). Para el cual se debe elegir un C adecuado que genere un $V_r = 0,2V_{pp}$.

Para ello usamos las directivas .step y .meas que generarán los datos de la figura (10), según el cual, podemos aproximar un $C = 550\mu F$ para obtener $V_r = 0,201742V \simeq 0,2V_{pp}$

Seguidamente graficamos las curvas correspondientes para $C = 550\mu F$, ver figura (11).

Ahora, si variamos el valor de la Carga a $R_L = 100\Omega$, tengamos las curvas que se muestran en la figura (12).

Hallamos el V_r usando las directivas .meas MAX MIN (ver figura (13)), el cual muestra que $V_r = 1,75222V$.

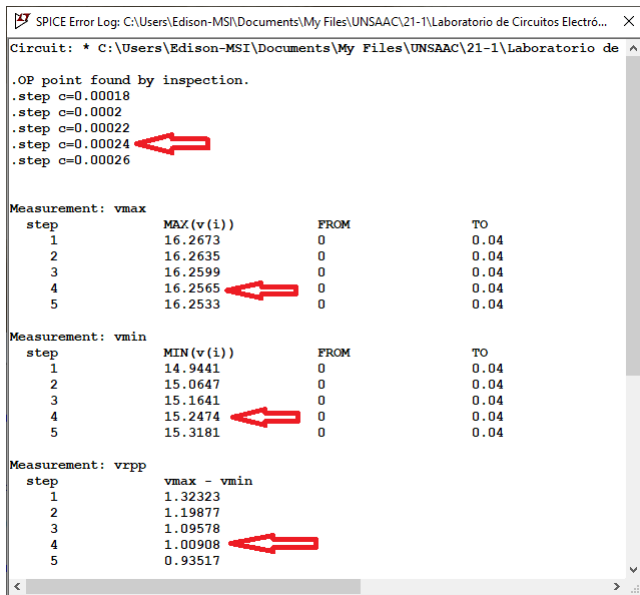


Figura 7. Ventana de Error log Para ver el voltaje de rizado usando las directivas .meas y .step para hallar un C adecuado que pueda generar un $V_r \approx 1,0V$

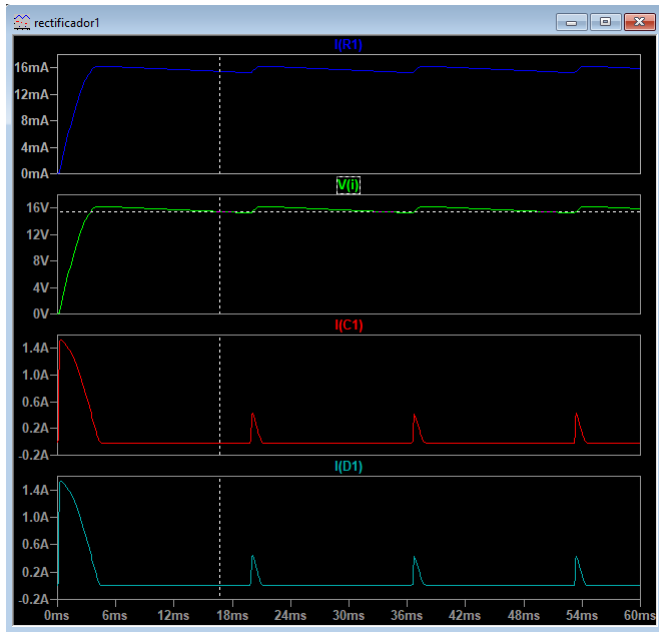


Figura 8. Forma de onda de la tensión de carga, corriente de carga, corriente que pasa por C1 y corriente que pasa por D1.

I-G. ¿El valor del voltaje de rizado depende de resistencia de carga? (sustentar)

De manera experimental podemos ver que V_r si depende de la carga, cuando no variamos los parámetros de C , y aumentamos el valor por encima de $1k\Omega$ por ejemplo, V_r disminuye, y si disminuimos el valor de R_L , V_r aumenta. Matemáticamente podemos ver, de acuerdo a las ecuaciones (8) y (4), que señalan los factores de rizado de media y onda completa, muestran una relación inversa entre el factor de rizado con la carga R_L , por lo que es lógico el comportamiento

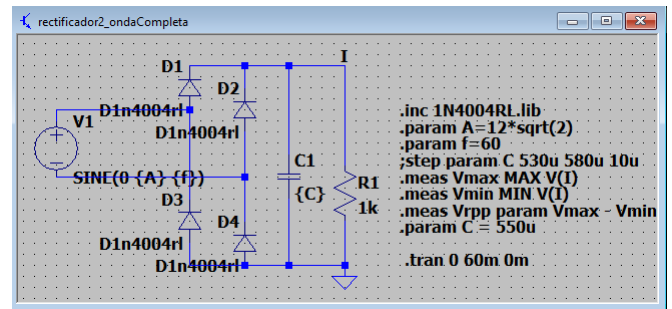


Figura 9. Circuito rectificador de Onda completa.

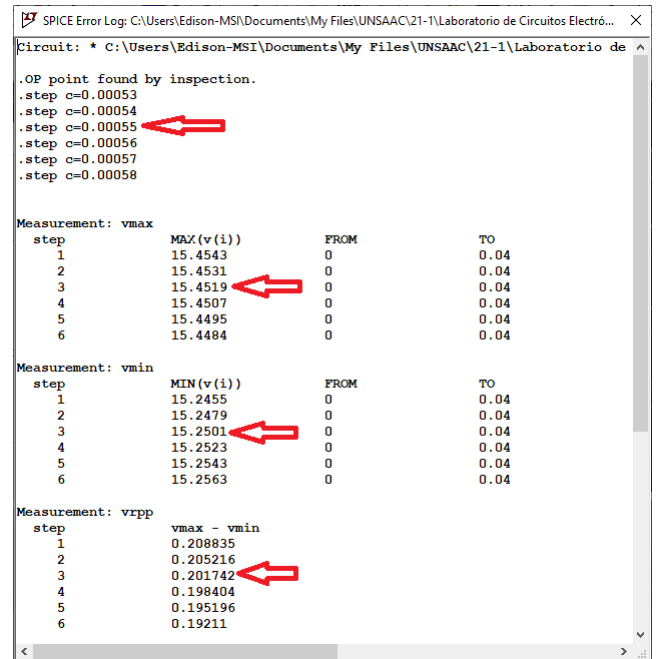


Figura 10. Ventana de Error log Para ver el voltaje de rizado usando las directivas .meas y .step.

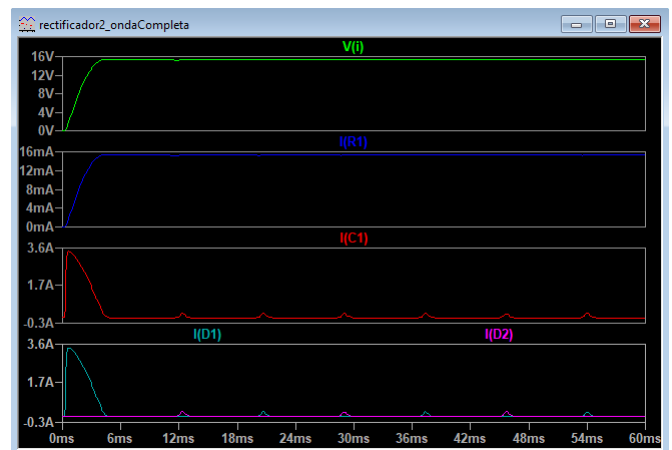


Figura 11. Forma de onda de la tensión de carga, corriente de carga, corriente que pasa por C1, corrientes que pasan por D1 y D2 con $C = 550\mu F$ y $R_L = 1k\Omega$.

de V_r en el análisis experimental.

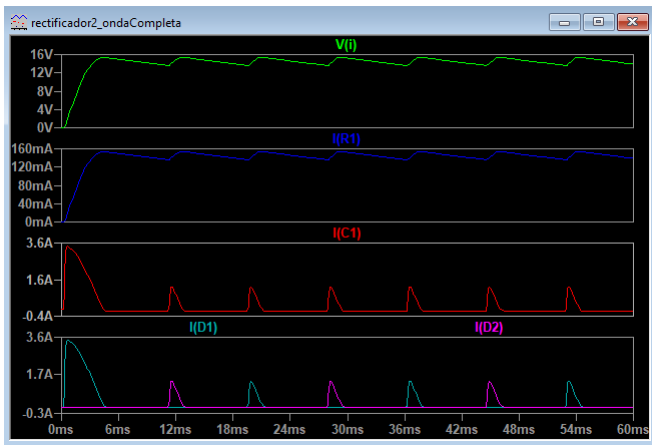


Figura 12. Forma de onda de la tensión de carga, corriente de carga, corriente que pasa por C1, corrientes que pasan por D1 y D2 Para $C = 550\mu F$ y una carga variada a $R_L = 100\Omega$.

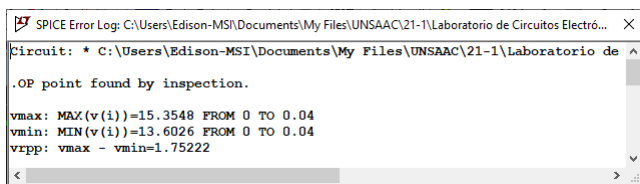


Figura 13. V_r para $C = 550\mu F$, $R_L = 100\Omega$.

I-H. Para el circuito de la figura (9) elegir L_c (inductancia crítica) y C para obtener el mismo rizado de $0.2V_{pp}$

De la ecuación (14) podemos calcular que $L_c = \frac{R_L}{3\omega}$. Tenemos que $R_L = 1k\Omega$, por lo que $L_c = 1\Omega / (3 * 2 * \pi * 60) \simeq 442mH$. Para hallar la C correcta para $V_r = 0,2V_{pp}$ usamos las directivas .meas y .step (Ver figura (14)), en donde encontramos que $C = 220\mu F$ para $V_r = 0,205976V_{pp}$.

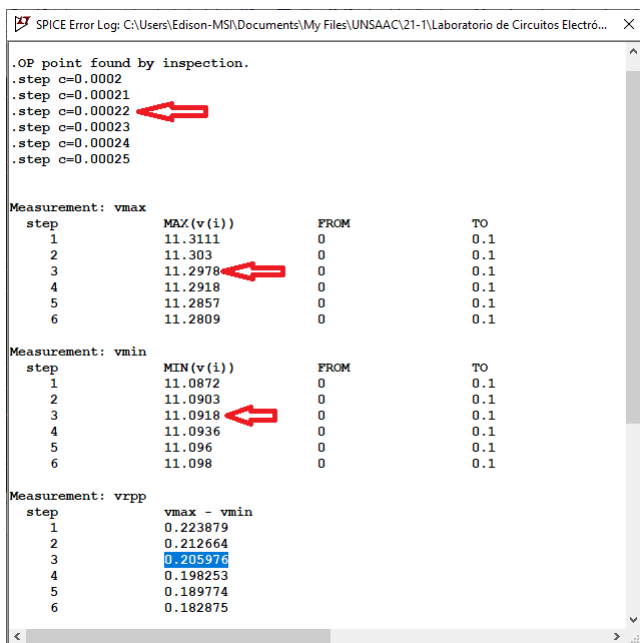


Figura 14. V_r para $L_c = 442mH$, $C = 220\mu F$, $R_L = 1k\Omega$.

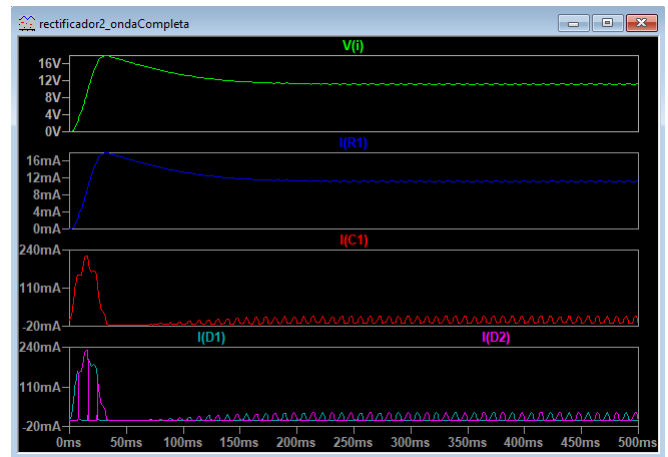


Figura 15. Forma de onda de la tensión de carga, corriente de carga, corriente que pasa por C1, corrientes que pasan por D1 y D2 para $L_c = 442mH$, $C = 220\mu F$, $R_L = 1k\Omega$.

Las corrientes pico en los diodos disminuye notablemente, esto debido al comportamiento fundamental del inductor, que almacena energía en forma de campo magnético generado por la corriente eléctrica que pasa por ella. El comportamiento más notable en el circuito de experimentación es que sin el inductor, la corriente pico llega a más de 3 Amperios, en cambio, con el inductor de valor L_c tan solo tiene una corriente pico de menos de 240mA. En contraparte, la corriente y tensión rectificadas (en R_L), esto se podría arreglar disminuyendo el valor de L , hasta tener un balance entre corrientes pico y niveles de tensión y corriente aceptables en R_L .

I-I. Para el circuito de la figura (9) diseñar un circuito CLC para obtener un rizado de $0.1V_{pp}$

Para este diseño vemos el circuito de la figura (16), en el que consideramos $L_c = 442mH$, y los capacitores del mismo valor.

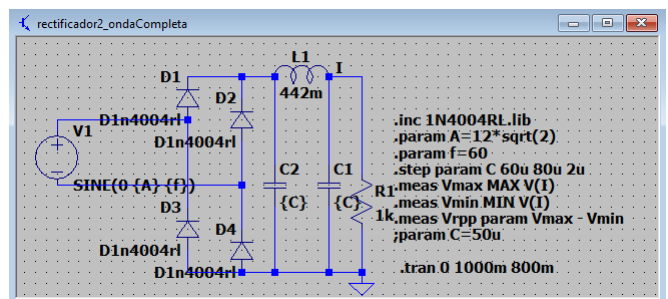


Figura 16. Circuito CLC Para obtener $V_r = 1V_{pp}$.

De la figura (17) podemos ver que para $C = 70\mu F$ obtenemos $V_r = 0,102413V_{pp}$, el cual es un valor aceptable.

Graficamos las curvas correspondientes, en los que podemos ver que C_2 tiene picos marcados, pero no de gran magnitud, C_1 ya no tiene esos picos marcados, es mucho más estable. El comportamiento en los diodos tienen picos de menos de 500mA, el cual es un valor que los dispositivos (como el de la serie 1N404) pueden soportar. Lo que se observa claramente

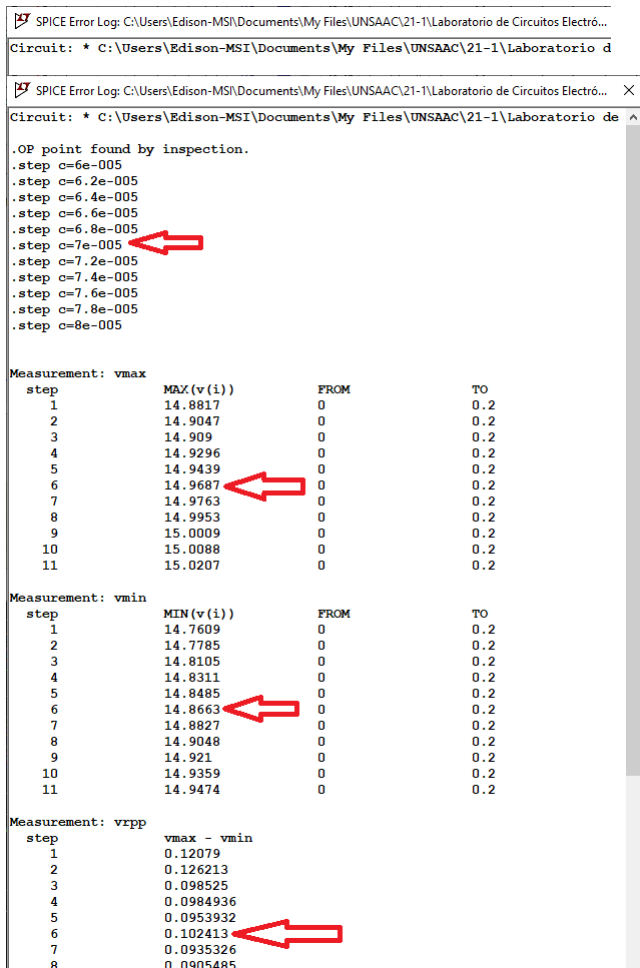


Figura 17. directivas .step y .meas para hallar un C adecuado para $V_r = 1V_{pp}$.

es un comportamiento oscilatorio hasta el los $100ms$, tiempo desde el cual las curvas muestran un comportamiento estable.

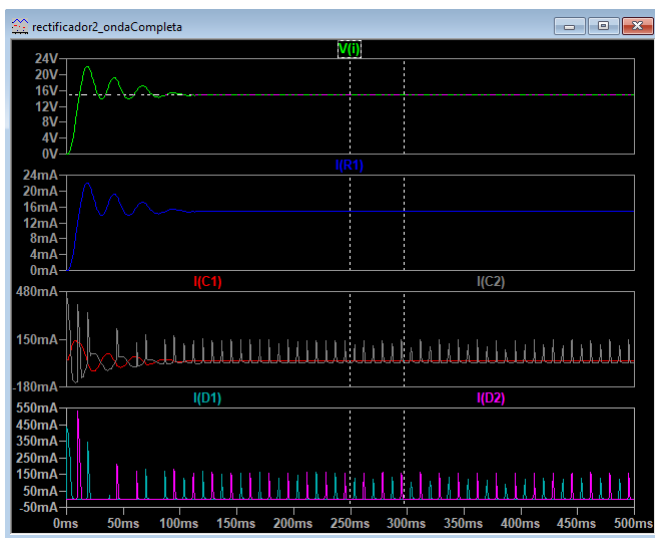


Figura 18. Forma de onda de la tensión de carga, corriente de carga, corriente que pasa por C1, C2, corrientes que pasan por D1 y D2 para $L_c = 442mH$, $C_{1,2} = 70\mu F$, $R_L = 1k\Omega$.