

Electrónica Industrial - Trabajo Práctico Teórico n° 3

Abel Corvalán - 41.220.050

1 Consignas

1. Realizar el análisis de un circuito rectificador trifásico de onda completa con carga resistiva y otro con carga inductiva. Colocar los resultados en función de I_o a las corrientes y en función de V_o a las tensiones. Dibujar circuito, formas de onda y calcular las corrientes y tensiones. Explique y dibuje cómo realizaría un montaje para una carga resistiva en una aplicación de potencia (transformador, diodos y disipadores y carga). Importante: sacar una conclusión del circuito con ambas cargas (No olvidar).

	Carga resistiva	Carga inductiva
$IF_{(AV)}$	$IF_{(av)} = K_1 \cdot I_o$	$IF_{(AV)} = K_2 \cdot I_o$
IF_{RMS}		
V_{RRM}	$V_{RRM} = K_3 \cdot V_o$	$V_{RRM} = K_4 \cdot V_o$
Potencia primario		
Potencia secundario		

Figure 1: Tabla

2. Utilizando cualquier simulador de electrónica del mercado, realice un análisis de una rectificación hexafásica de media onda con carga resistiva de 5Ω y $100A$. Graficar circuito, formas de onda y calcular las corrientes y tensiones. en: en la carga, en un solo rectificador, en el secundario y la V.P.I. en un diodo.

2 Desarrollo

1. Se presenta el circuito rectificador trifásico de onda completa con carga resistiva:

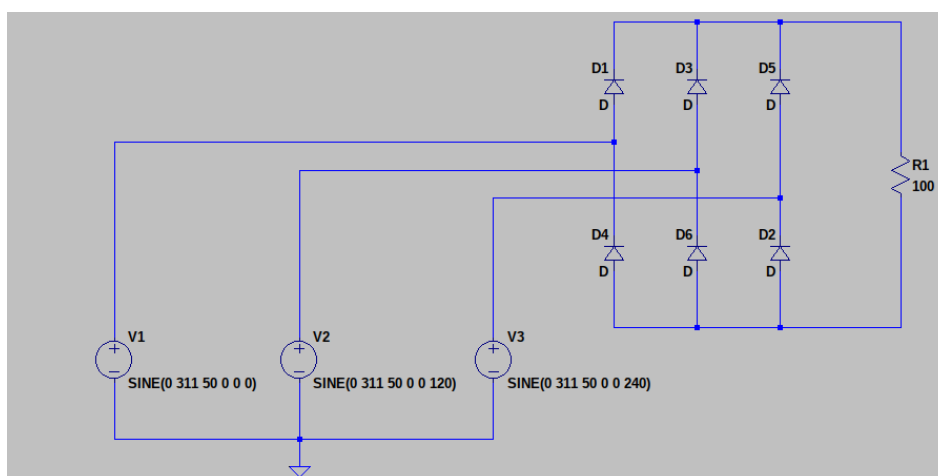


Figure 2: Circuito trifásico de onda completa con carga resistiva

Se muestra la forma de onda de las tensiones trifásicas para el circuito propuesto: Tenemos que el desfase entre cada una de las tensiones se encuentra mediante el siguiente cálculo:

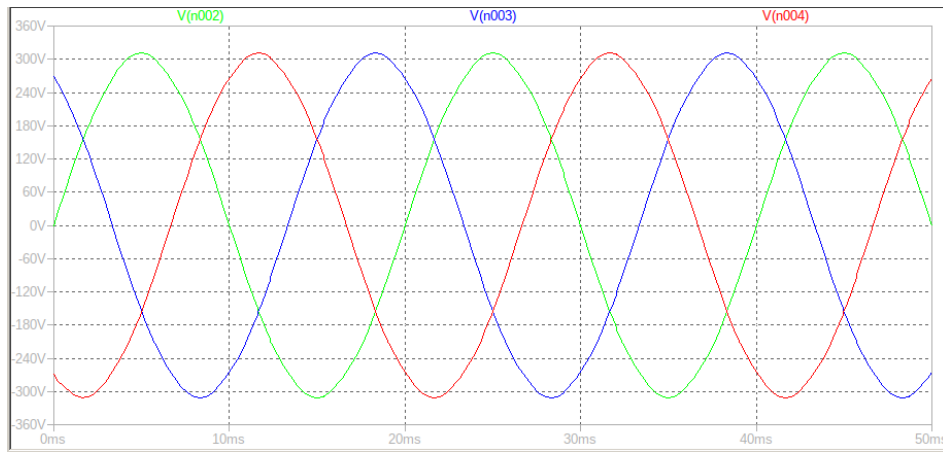


Figure 3: Tension trifásica circuito R

$$\theta_c = \frac{2\pi}{3} \rightarrow \theta_c = 120$$

Se calcula el tensión media en la carga $V_{L(AV)}$.

$$V_{L(AV)} = R_L I_{L(AV)}$$

$$V_{L(AV)} = 5A * 100\Omega$$

$$V_{L(AV)} = 500V$$

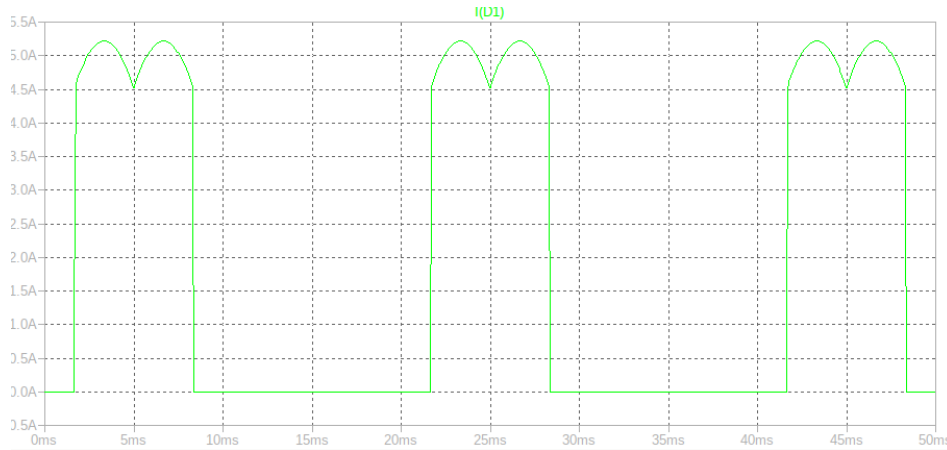


Figure 4: Corriente en el diodo circuito R

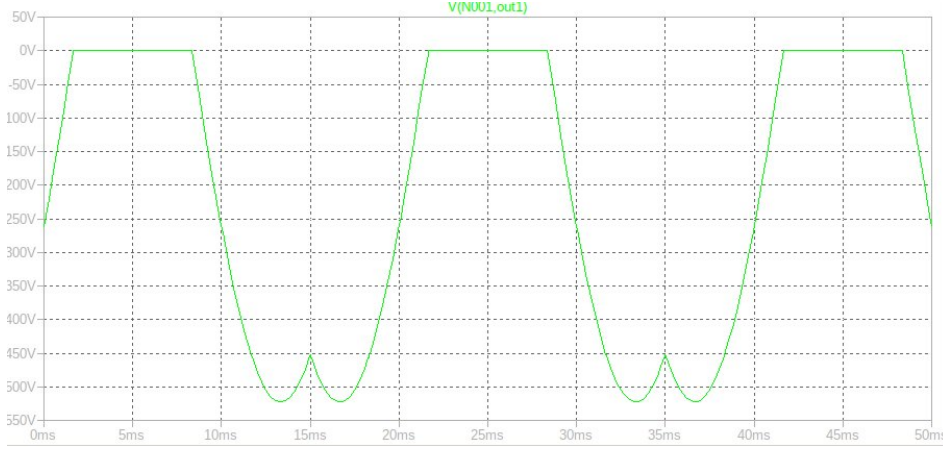


Figure 5: Voltaje pico inverso circuito R

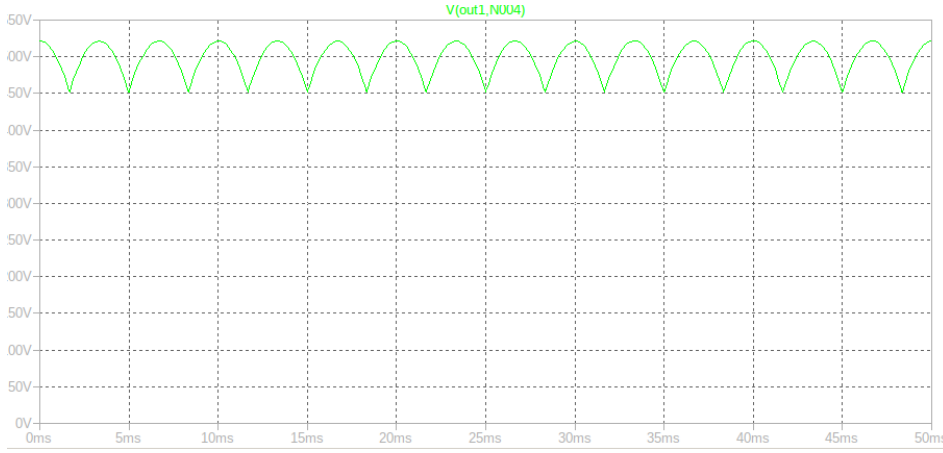


Figure 6: Tensión en la carga circuito R

Se calcula la tensión eficaz $V_{s(RMS)}$ por fase secundaria a partir de la tensión media sobre la carga.

$$V_{RMS} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

Se tiene que la tensión de fase se encuentra dada por la siguiente expresión:

$$V(t) = \sqrt{3}V_{s(máx)} \cos(\omega t)$$

Se aplica la fórmula para el caso propuesto.

$$V_{L(AV)} = \frac{1}{\left(\frac{2\pi}{6}\right)} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{3}V_{s(máx)} \cos(\theta) d\theta$$

Por ser senoidal la forma de onda de la tensión secundaria se cumple lo siguiente:

$$V_{s(RMS)} = \frac{V_{s(máx)}}{\sqrt{2}}$$

$$V_{L(AV)} = V_{s(RMS)} \frac{(3\sqrt{6})}{\pi} = 2.34V_{s(RMS)}$$

$$V_{s(RMS)} = 0.4275V_{L(AV)}$$

Se tiene como dato $V_{L(AV)} = 500V$

$$V_{s(RMS)} = 0.4275500V = 213.75V$$

$$\boxed{V_{s(RMS)} = 213.75V}$$

Despejando $V_{s(max)}$ se tiene lo siguiente:

$$V_{s(max)} = V_{s(RMS)}\sqrt{2}$$

$$V_{s(max)} = 213.75V\sqrt{2} = 302.28V \approx 302.3V$$

$$\boxed{V_{s(max)} = 302.3V}$$

Se calcula la corriente media $I_{F(AV)}$ en el diodo. Para esto se analiza la tensión en el diodo y se aplica la siguiente fórmula:

$$I_{F(AV)} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} \hat{I}_s \cos(\omega t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} \hat{I}_s \cos(\theta) d\theta$$

$$I_{F(AV)} = \frac{\hat{I}_s}{\pi} \left(\sin\left(\frac{\pi}{3}\right) - \sin(0) \right) = \frac{\hat{I}_s}{\pi} \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$I_{F(AV)} = \frac{5.29A}{\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} = 1.46A$$

Se calcula la relación entre I_o e $I_{F(AV)}$.

$$I_o = \frac{1}{\frac{2\pi}{3}} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} \hat{I}_s \cos(\theta) d\theta = \frac{3}{2\pi} \hat{I}_s \sqrt{3} = 3I_{F(AV)}$$

$$I_o = 3 * 1.46A = 4.38A$$

$$I_{F(AV)} = \frac{I_o}{3}$$

Se calcula la corriente eficaz $I_{F(RMS)}$.

$$I_{F(RMS)} = \sqrt{\left(\frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} \hat{I}_s^2 \cos^2(\theta) d\theta \right)}$$

$$I_{F(RMS)} = \frac{I_o}{\sqrt{3}}$$

$$I_{F(RMS)} = \frac{5.36A}{\sqrt{3}} = 3.09A$$

La tensión pico inversa V_{RRM} se relaciona con la tensión en la carga V_o por medio de la siguiente expresión:

$$V_{RRM} = \sqrt{3}\hat{V}_f$$

Debido a que se tiene una tensión máxima de fase \hat{V}_f .

$$\hat{V}_f = \sqrt{2}V_f$$

Se reemplaza \hat{V}_f en la fórmula anterior y se obtiene lo siguiente:

$$V_{RRM} = \sqrt{3}\sqrt{2}V_f$$

$$V_f = V_s = 0.855V_o$$

Se reemplaza en la expresión de la tensión pico inversa V_{RRM} .

$$V_{RRM} = \sqrt{60.855}V_o$$

$$V_{RRM} = 2.09V_o$$

Se presenta el circuito rectificador trifásico de onda completa con carga resistiva e inductiva:

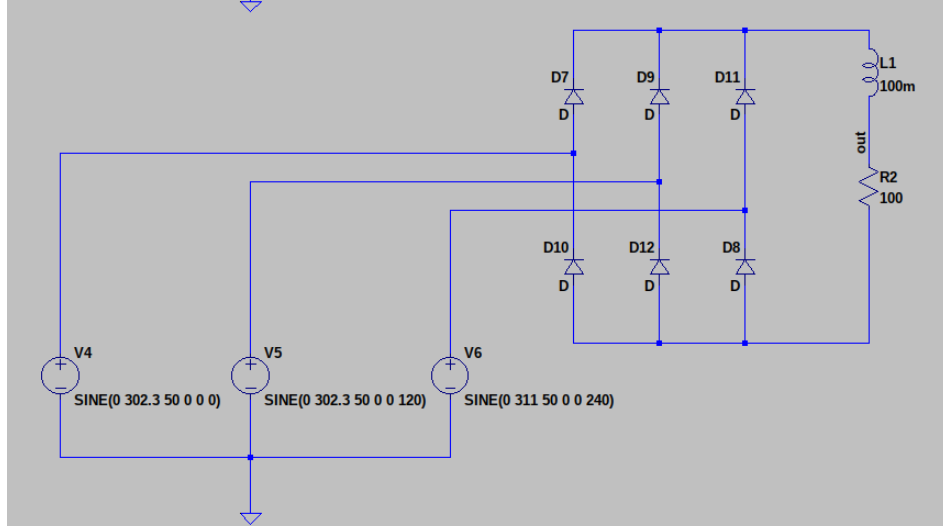


Figure 7: Tension trifásica circuito RL

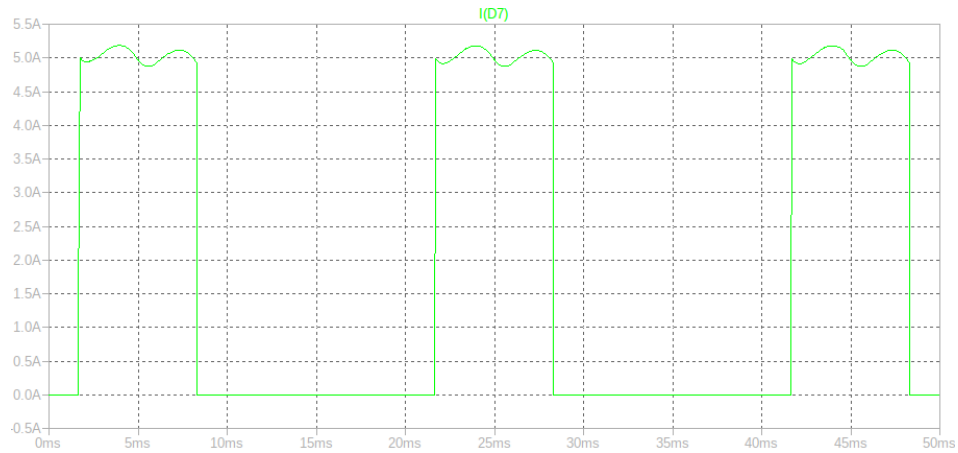


Figure 8: Corriente en el diodo circuito RL

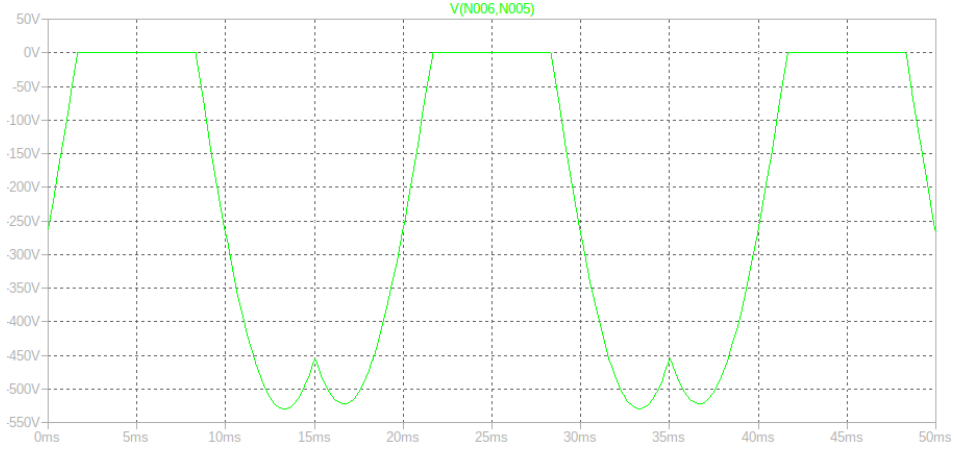


Figure 9: Tensión pico inversa en el diodo RL

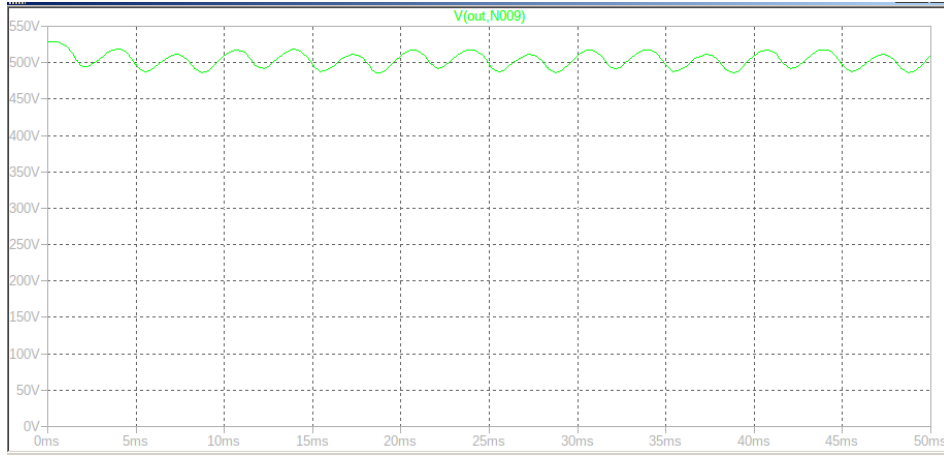


Figure 10: Tensión en la carga circuito RL

Al agregar la carga inductiva se filtra la corriente alterna de la carga. La corriente media en el diodo $I_{F(AV)}$ en el diodo se calcula por medio de la siguiente integral.

$$I_{F(AV)} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} \hat{I}_s d\theta$$

$$I_{F(AV)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} \hat{I}_s d\theta$$

$$I_{F(AV)} = \frac{\hat{I}_s}{\pi} \left(\frac{\pi}{3} - 0 \right) = \frac{\hat{I}_s}{3}$$

$$I_{F(AV)} = 0.4 I_o$$

Se calcula la corriente $I_{F(RMS)}$.

$$I_{F(RMS)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} \hat{I}_s^2 d\theta}$$

$$I_{F(RMS)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} \hat{I}_s^2 d\theta} = \sqrt{\frac{1}{3} \hat{I}_s^2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \hat{I}_s$$

$$I_{F(RMS)} = \frac{1}{\sqrt{3}} \hat{I}_s = I_o \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.69I_o$$

$$I_{F(RMS)} = 0.69I_o$$

Se obtienen los siguientes resultados en la tabla.

	Carga resistiva	Carga inductiva
$I_{F(AV)}$	$(1/3)*4.38A=1.46A$	$(0.4)*4.38A=1.75A$
$I_{F(RMS)}$	$(1/\sqrt{3})*4.38A=2.52A$	$(0.69)*4.38A= 3.02A$
V_{RRM}	$(2,09)*500V= 1KV$	$(2,09)*500V= 1KV$
Potencia primario	$1.41A*380V= 535.8W$	$1.69A*380V= 642.2W$
Potencia secundario	$2.52A*213.75V= 538.65W$	$3.02A*213.75V= 645.52W$

Figure 11: Tabla completa

Se concluye en el análisis de ambos circuitos que para la carga resistiva la señal que se integra se considera como una función consenoidal, mientras que en el caso de la carga inductiva se considera como una función escalón sin ripple debido a que la inductancia que se agrega atenúa la componente de alterna. Se tiene que para ambos circuitos (carga resistiva pura y resistiva-inductiva) el voltaje de pico inverso V_{RRM} en los diodos se encuentra dado por la misma expresión $V_{RRM} = 2V_o$.

Respecto al montaje de la carga se tiene que que determinar en primer término la corriente que entrega la fuente. Se debe hace foco en montar las resistencias de manera que se proporcione un flujo de aire adecuado para disipar el calor generado. A continuación se presenta una figura de un montaje típico de una carga resistiva.

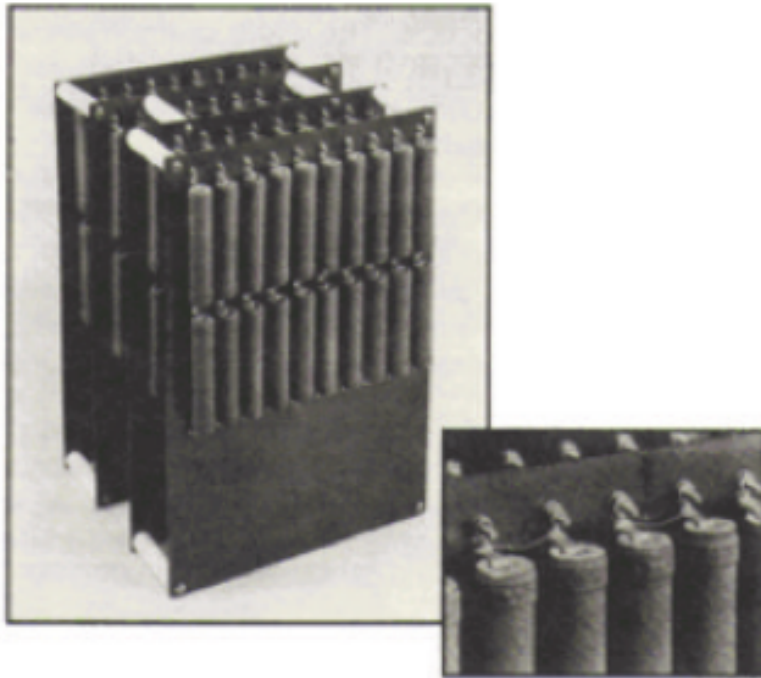


Figure 12: Montaje típico de una carga resistiva

Se tienen láminas de aislamiento fenólico separadas mediante Delrin (termoplástico capaz de funcionar a temperaturas superiores a los 90) perforado. Estas láminas se colocan hoja por hoja hasta que se instale la cantidad requerida de resisitencias.

También se puede implementar un ventilador independiente que generalmente se posiciona para aspirar aire a través de las láminas verticales para enfriar dicha carga.

Para la construcción de una carga resistiva diseñada para funcionar a una tensión superior a 10 kV , se debe abordar los problemas de disipación de calor y posibles rupturas de voltaje. Para ello se realiza una construcción del tipo helicoidal que resuelve ambos problemas. Cabe destacar que este no es el caso de estudio de los circuitos propuestos.

2. Se realiza la simulación del circuito de rectificación hexafásica de media onda. Se presenta la figura del anteriormente nombrado en la siguiente figura:

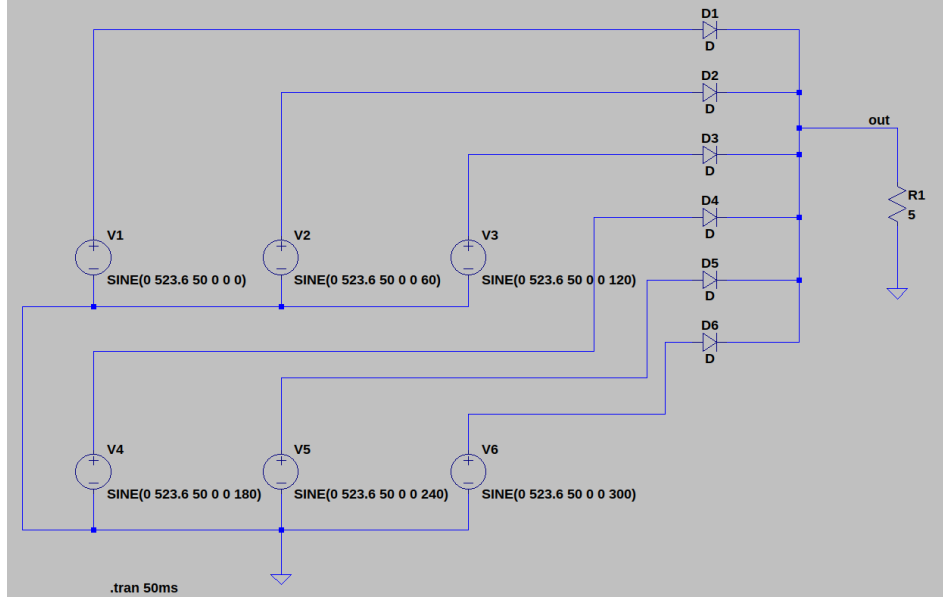


Figure 13: Circuito hexafásico

Se presentan las formas de onda de tensiones en el secundario del sistema.

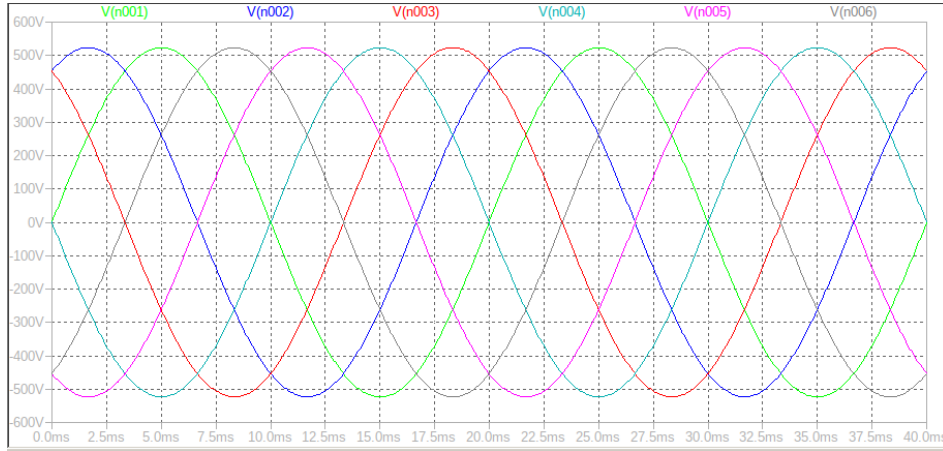


Figure 14: Tensiones en el secundario

Se tienen seis fases de $\hat{V}_{max} = 524V$, con un desfase de 60 grados entre cada una de ellas debido a la siguiente fórmula:

$$\theta_{conducción} = \frac{2\pi}{6} = \frac{1}{3\pi} \rightarrow \theta_c = 60$$

Se presenta en la siguiente figura la tensión en uno de los rectificadores:

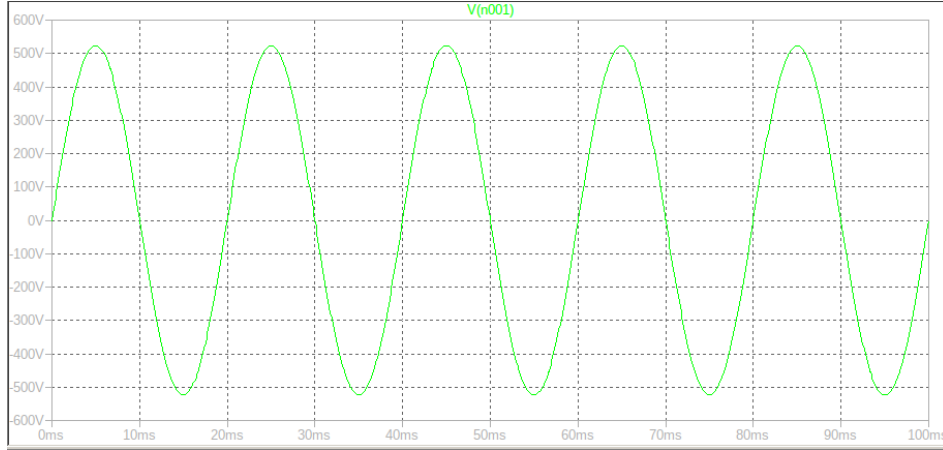


Figure 15: Tensiones en diodo D1

Se analiza la tensión pico inversa en el diodo D_1 . Se tiene que la misma se calcula de la siguiente forma:

$$V_{RRMmax} = 2\hat{V}_{max}$$

$$V_{RRMmax} = (-2) * 523.6V = -1047.2V \approx -1KV$$

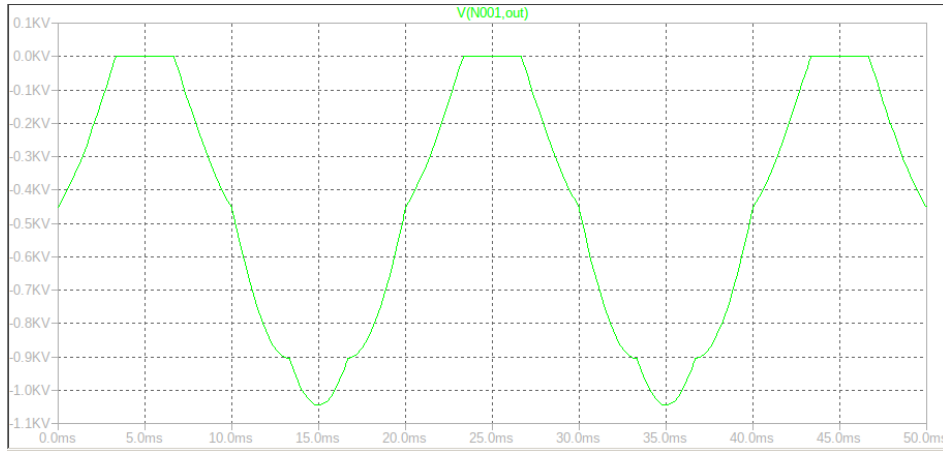


Figure 16: Tensión pico inversa del diodo D1

Debido a los requerimientos se necesitan 100A en la carga $R_L = 5\Omega$. Por lo que se calcula la tensión media en la misma.

$$V_{AV} = I_{AV} * R_L$$

$$V_{AV} = 100A * 5\Omega = 500V$$

En la siguiente figura se muestra la forma de onda de la tensión en la carga R_L .

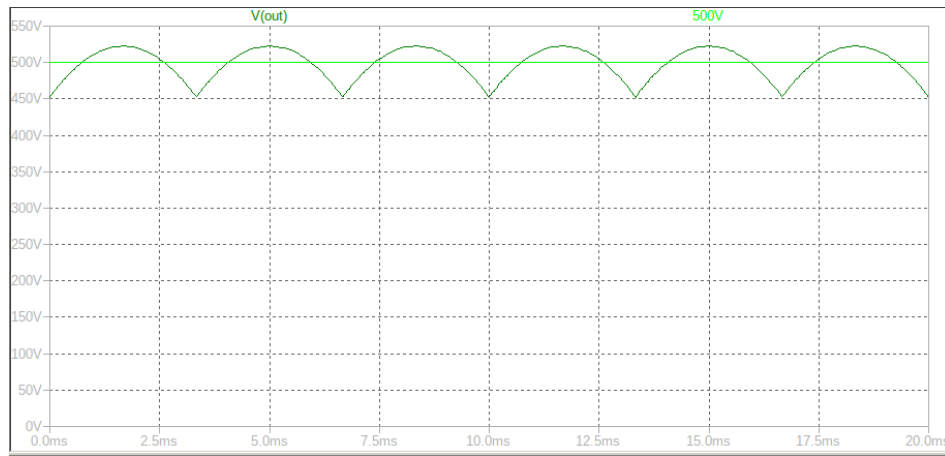


Figure 17: Tensión en la carga R

Luego se calcula la tensión eficaz sobre la carga (V_{RMS}).

$$V_{RMS} = V_{m\acute{a}x} \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right) + \left(\frac{q}{4\pi}\right) \sin\left(\frac{2\pi}{q}\right)}$$

$$V_{RMS} = 523.6V \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right) + \left(\frac{6}{4\pi}\right) \sin\left(\frac{2\pi}{6}\right)}$$

$$V_{RMS} = 500.4V$$