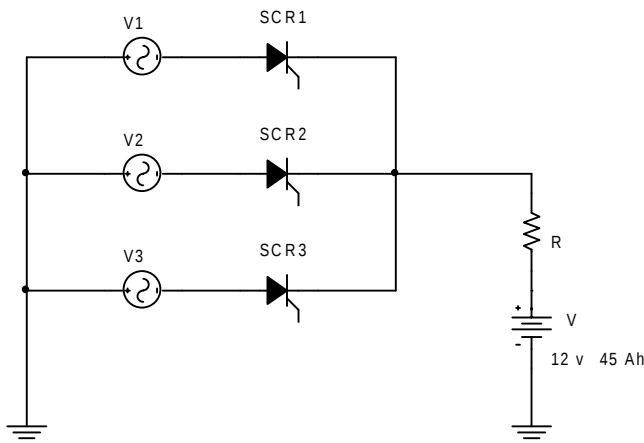


Primer ejercicio

El sistema de alimentación eléctrica de un automóvil de motor de explosión está compuesto por un acumulador o batería V (generador de continua recargable) y un alternador que gira solidario al motor térmico. El acumulador tiene una tensión de 12 v y una capacidad de 45A.h. Su misión es proporcionar energía eléctrica a los dispositivos del vehículo cuando el motor se encuentra parado y en el momento del arranque. Una vez que el vehículo se pone en marcha, el alternador es el encargado de suministrar la demanda de consumo así como de restablecer la carga del acumulador. El alternador suministra una tensión alterna senoidal trifásica de $U_{m\acute{a}x} = 30$ v. La regulación de la carga del acumulador se efectúa mediante el empleo de un rectificador controlado de media onda a la salida del alternador, según se muestra en la figura.

Se pide:



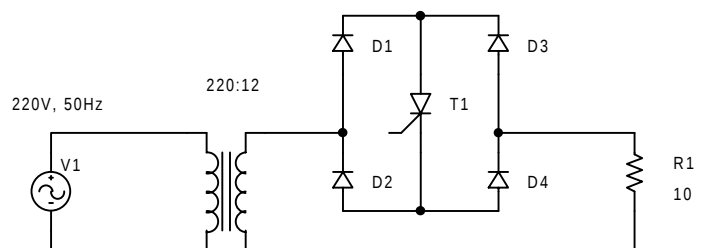
- Dibujar formas de onda de tensión y corriente en la salida del rectificador y en la R para un ángulo de disparo $\alpha = \pi/3$, indicando los valores instantáneos más característicos.
- Calcular la intensidad media de carga del acumulador para $\alpha = \pi/3$.
- Ángulo α a partir del cual la corriente de carga se anula en algún instante.
- Expresión que relacione la intensidad media con el ángulo de disparo α . Suponer que en ningún caso $\alpha < 10^\circ$.
- Si el acumulador se encuentra inicialmente a 4/5 de su capacidad y bajo proceso de carga a intensidad media cte y $R = 1.18 \Omega$, determinar el ángulo de disparo α que permita llegar al 100% de su capacidad en 1 h.

(Tiempo: 50 minutos)

Segundo ejercicio

Para el regulador monofásico de c.a. de la figura se pide:

- Formas de onda de tensión y corriente en T1, D1, D2 y en la carga durante 40 ms para un control por fase con ángulo de disparo de 90° . Indíquese los valores instantáneos más significativos. Considere la caída de tensión de los semiconductores.
- Con el ángulo de disparo indicado, determinar la corriente eficaz por la carga, por el tiristor y por los diodos. Suponga en este apartado y en los dos siguientes, ideales los semiconductores.
- Lo mismo que en el anterior apartado, pero calculando el valor medio de la corriente.
- Determinar el valor del ángulo de disparo para obtener un octavo de la máxima potencia en la carga.
- ¿Es necesario poner disipador a los diodos?, en caso de ser afirmativo, calcular del disipador si se ponen sobre el mismo todos los diodos del interruptor bidireccional. Suponer que la temperatura ambiente máxima alcanza hasta los 70°C .



Datos

Diodos y tiristor: $v_{(ON)} = 1\text{V}$; $R_{\theta JC} = 0.6 \text{ K/W}$; $R_{\theta CS} = 0.2 \text{ K/W}$; $R_{\theta JS} = 60 \text{ K/W}$; $T_{j\text{max}} = 125^\circ\text{C}$; $R1 = 10 \Omega$,

(Tiempo: 40 minutos)

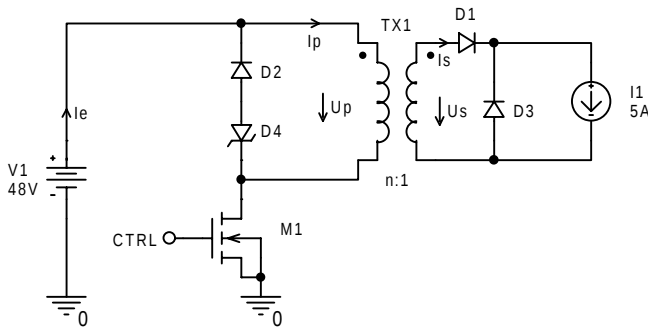


Tercer ejercicio

El circuito de la figura es un convertidor directo CC/CC. La rama formada por D_2 y D_4 sirve para desmagnetizar el núcleo antes de que comience un nuevo ciclo. Se pide:

1. Dibujar los circuitos equivalentes del primario y del secundario para cada una de las tres fases por las que pasa el circuito durante cada ciclo.
2. Calcular el ciclo de trabajo máximo con el que puede funcionar el circuito –es decir, que garantice la desmagnetización del núcleo al final de cada ciclo–, en función de la tensión zéner V_Z de D_4 y de V_1 .
3. Para un ciclo de trabajo $d = 0,3$ y una tensión zéner de D_4 $V_Z = 48$ V, dibujar las formas de onda de la tensión drenador-fuente del MOSFET u_{M1} , la corriente de drenador del MOSFET i_{M1} , la tensión en el primario u_p , la corriente por el primario i_p , la tensión en el secundario u_s y la corriente del secundario i_s .
4. Calcular la energía máxima que llega a almacenarse en el núcleo del transformador en cada ciclo. Puesto que esa energía se disipa en D_4 , ¿cuál es la potencia media que se pierde por esta causa?
5. Calcular la potencia media que entrega el secundario a la carga.
6. Si las únicas pérdidas en el circuito son las correspondientes a la magnetización del transformador, ¿cuál es la potencia de entrada? ¿Y cuál es el rendimiento?
7. ¿Existe alguna alternativa para desmagnetizar el transformador que mejore el rendimiento? Si es así, dibujar el circuito de desmagnetización y explicar por qué mejora el rendimiento.

Datos: $L_{m1} = 144 \mu\text{H}$, $f_s = 100$ kHz, $n = 2,88$



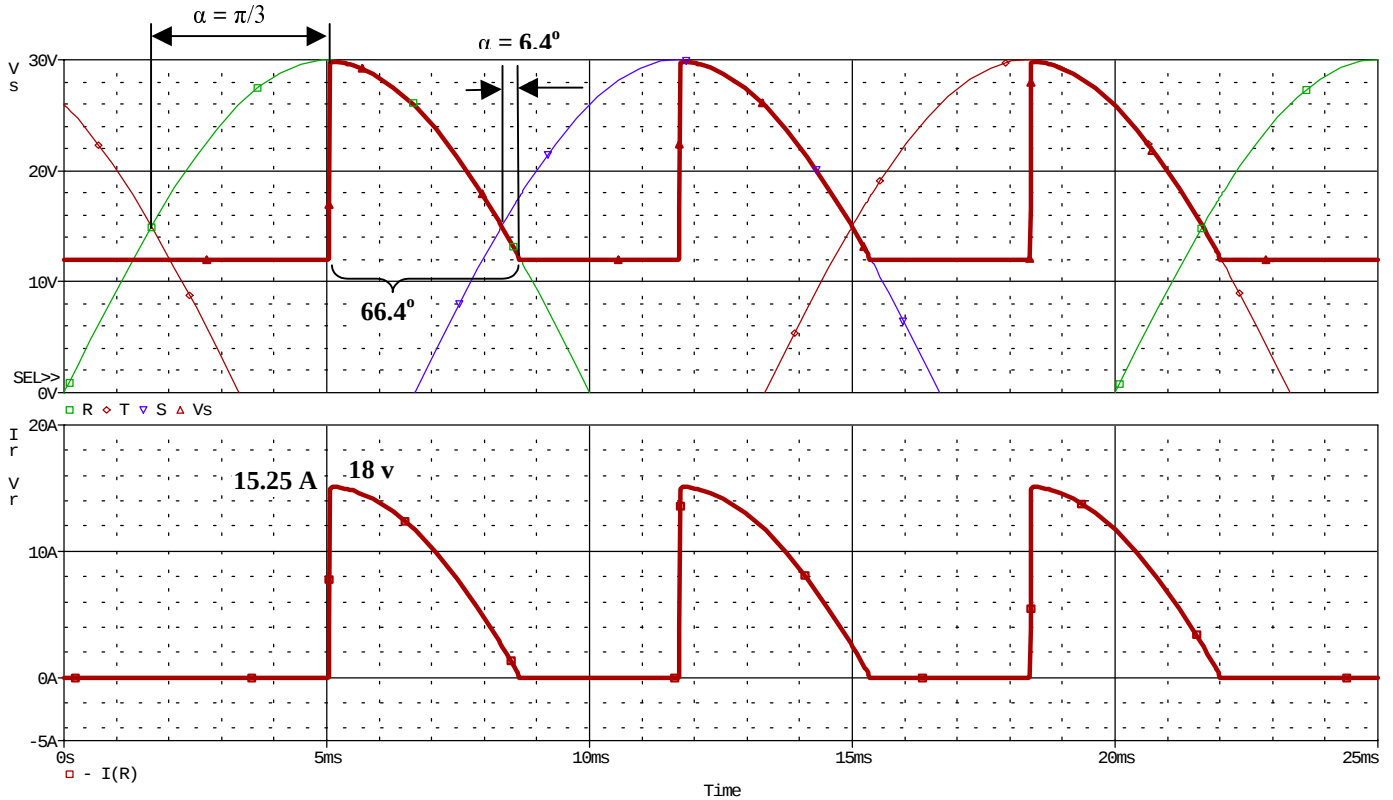
(Tiempo: 45 minutos)



RESOLUCIÓN DEL EXAMEN

Primer ejercicio

a) Para $\alpha = \pi/3$



b) y d):

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}_s - V}{R}$$

Para $\alpha > 6.4^\circ$:

$$\bar{I} = \frac{\frac{3}{2 \cdot \pi} \left[U \max \cdot \left[\cos \left(\alpha + \frac{\pi}{6} \right) - \cos \left(\frac{\pi}{2} + \cos^{-1} \left(\frac{12}{30} \right) \right) \right] + V \cdot \left[\alpha - \cos^{-1} \left(\frac{12}{30} \right) - \frac{\pi}{3} \right] \right] - 12}{R}$$

Para $\alpha = \pi/3 \rightarrow \bar{I} = 5.5 \text{ A}$

c) $\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{12}{30} \right) - \frac{\pi}{3} = 6.4^\circ$

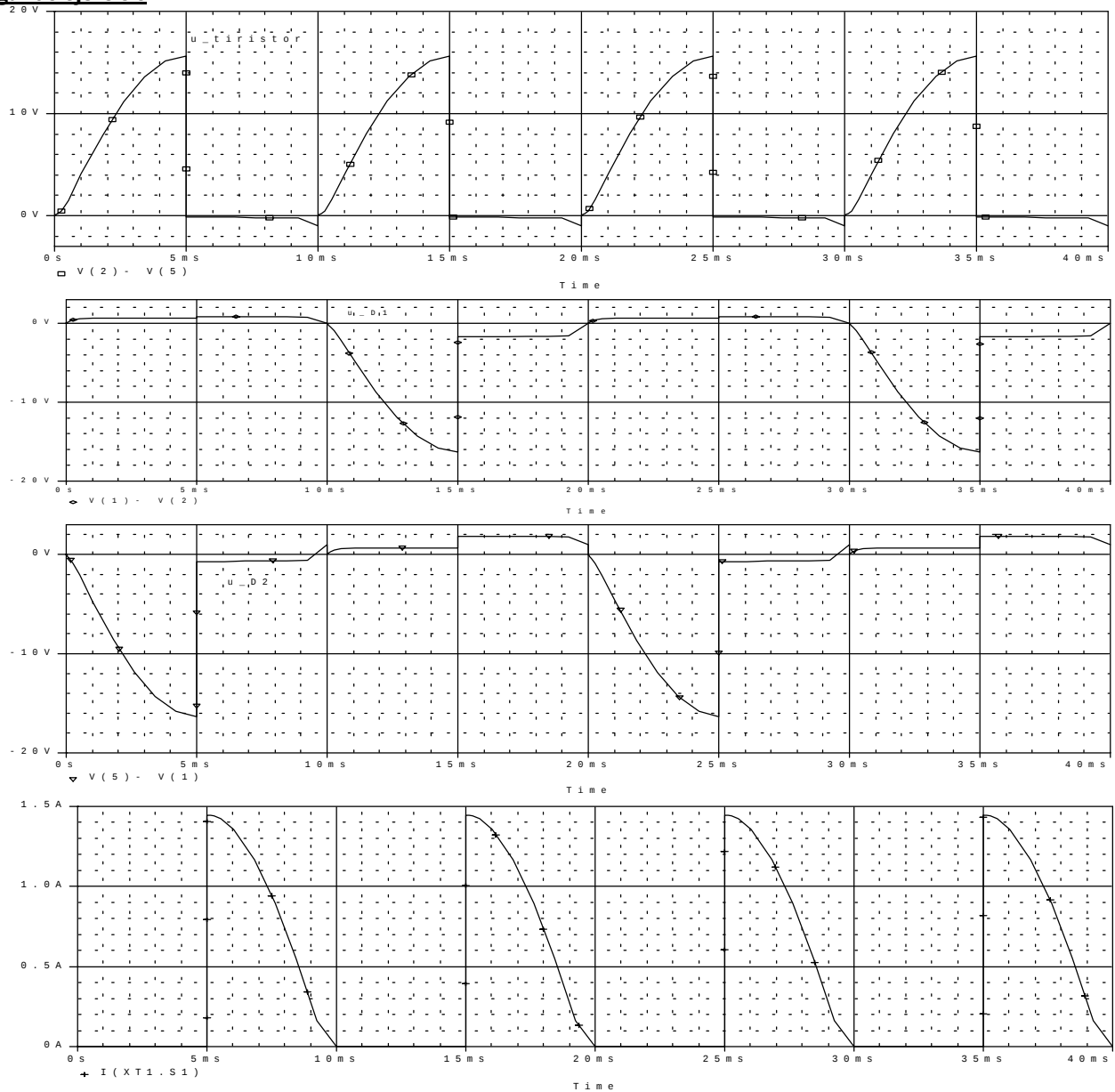
e) $C_{100\%} = 45 \text{ A} \cdot h$ $C_{4/5} = \frac{4}{5} \cdot 45 = 36 \text{ A} \cdot h$ Carga hasta el 100%: 9 A.h

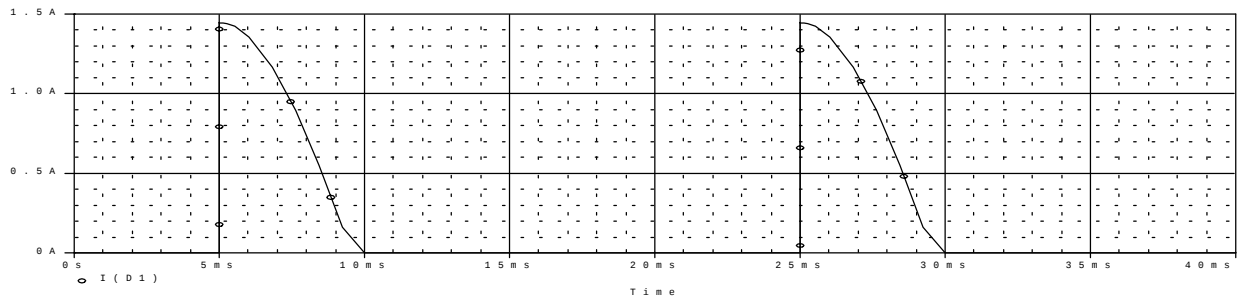


En 1 h a I cte se necesitan $\bar{I} = \frac{9A \cdot h}{1h} = 9A$

De la expresión $\bar{I} = f(\alpha)$ de los apartados b) y d) se obtiene que para $\bar{I} = 9A \rightarrow \alpha = \pi/6$ (Aplicando método numérico de N-R)

Segundo ejercicio





2.

$$V_{R(RMS)} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} = 8.5V \rightarrow I_{R(RMS)} = \frac{V_{R(RMS)}}{R} = 0.85A = I_{T(RMS)}$$

mientras la corriente eficaz por los diodos será:

$$I_{D(RMS)}^2 = \frac{I_{max}^2}{2\pi} \int_{\pi/2}^{\pi} \sin^2(\omega t) \cdot d\omega t \rightarrow I_{D(RMS)} = 0.6A$$

3. Por ser un regulador de alterna, la corriente continua en la carga será cero, mientras que la corriente continua de frecuencia cero será la mitad en el diodo respecto a la del tiristor.

$$I_{T(AV)} = 2 \cdot I_{D(AV)} = \frac{I_{max}}{\pi} \int_{\pi/2}^{\pi} \sin(\omega t) \cdot d\omega t \rightarrow I_{T(AV)} = 0.54A \quad I_{D(AV)} = 0.27A$$

4. Al establecer la relación de 1/8 de la potencia máxima se deriva la siguiente expresión:

$$\frac{1}{8} P_{max} = P(\alpha') \rightarrow \frac{1}{8} = 1 - \frac{\alpha'}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha')}{2\pi}$$

Habrà de emplear el método de Newton-Raphson; una buena semilla sería un ángulo de disparo de 120°, ya que se desea una potencia relativamente pequeña. Tras varias iteraciones queda un disparo de 2.257 rad.

5. La potencia máxima media, AV, en el diodo será:

$$P_{d,max(AV)} = \frac{I_{max}}{\pi} V_{(ON)} = 0.541W \rightarrow R_{\theta,max} = \frac{T_{J,max} - T_{a,max}}{P_{d,max}} = 101.66K/W$$

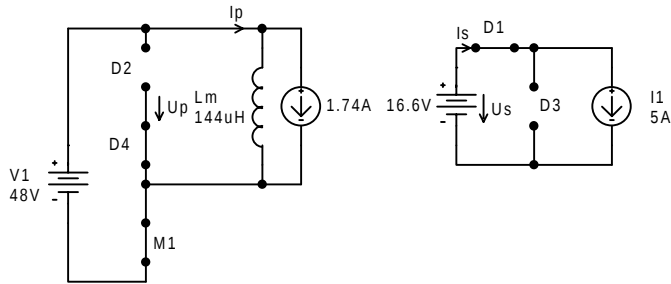
Por tanto, como la resistencia térmica entre la unión y el ambiente, $R_{\theta JA}$, es de 60K/W y en consecuencia menor que el valor máximo, el diodo puede disipar de forma natural esta potencia. No hay necesidad de poner ningún disipador.

Tercer ejercicio

1. El circuito pasa por tres fases. En la primera M_1 está cerrado, D_1 está directamente polarizado, D_2 y D_3 están inversamente polarizados, D_4 está sin polarizar (toda la tensión cae en D_2) y el transformador está magnetizado y en funcionamiento. Es durante esta fase cuando se transfiere energía al secundario.

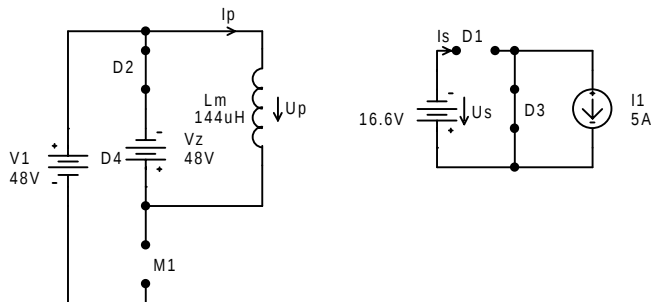


$$0 \leq t < t_{on}$$



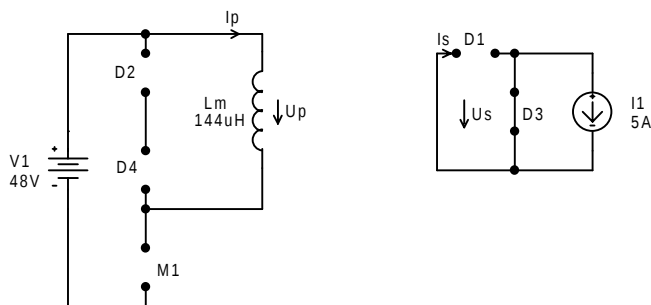
En la segunda fase el interruptor se abre y la transferencia de energía al secundario cesa. No obstante, el núcleo del transformador permanece aún magnetizado con la energía que acumuló en su inductancia magnetizante durante la primera fase; sin embargo, para un correcto funcionamiento, el trafo debe desmagnetizarse antes de que comience el siguiente ciclo. Por ello, es necesario suministrar un camino por el cual circule la intensidad magnetizante de forma que, inicialmente, el flujo conserve su signo y su magnitud y, además, dicha corriente realice un trabajo a costa de la energía almacenada en el núcleo. Puesto que la corriente ha estado entrando por el terminal correspondiente del primario, ahora la corriente también debe entrar por un terminal correspondiente ya sea el del primario o el del secundario. Como se especifica en el enunciado, los encargados de la desmagnetización son D_2 y D_4 , que proporcionan ese camino. La energía del núcleo se disipa en forma de calor en el zéner, cuya tensión se opone a la circulación de corriente en ese sentido. Como el trafo continúa magnetizado, sigue induciendo tensión en el secundario.

$$t_{on} \leq t < t_1$$



En la tercera fase la energía del núcleo se ha disipado por completo en el zéner, y el trafo está completamente desmagnetizado. Por tanto, ya no circula ninguna corriente por sus devanados ni se induce ninguna tensión en ninguno de ellos.

$$t_1 \leq t < T$$



2. El caso límite será aquel para el que $t_1 = T$. Podemos trabajar con la corriente de magnetización:

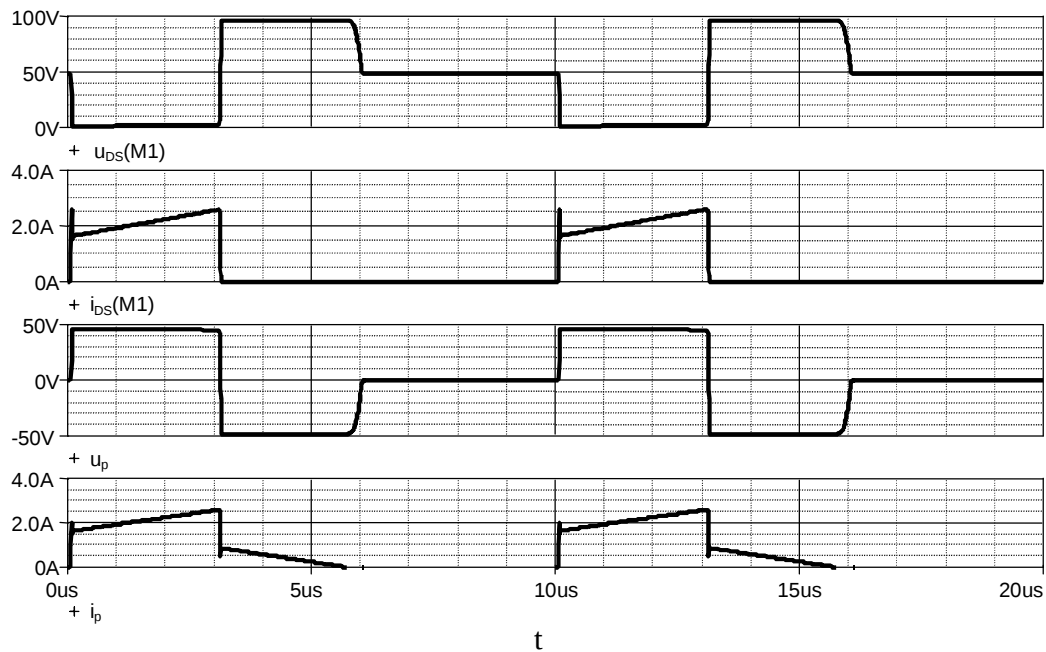


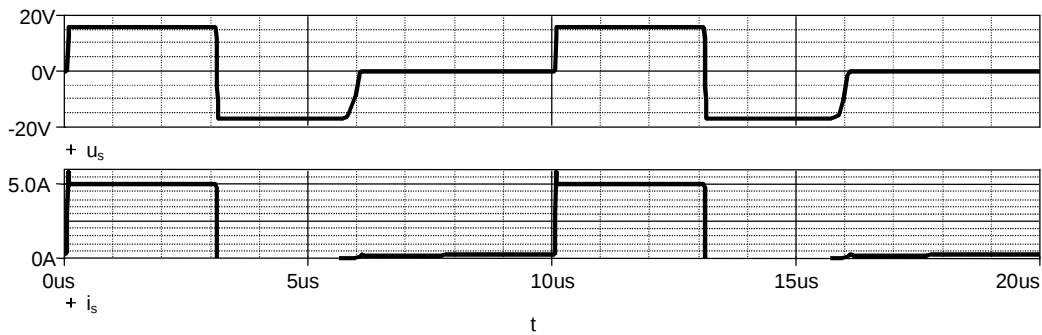
$$\left. \begin{aligned} \Delta i_{mag} &= \frac{1}{L_{m1}} \int_{t_0}^{t_1} u_p dt \\ \Delta i_{mag1} &= \frac{V_1 t_{on_máx}}{L_{m1}} \\ \Delta i_{mag2} &= \frac{-V_z (T - t_{on_máx})}{L_{m1}} \\ \Delta i_{mag1} + \Delta i_{mag2} &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_1 t_{on_máx}}{L_{m1}} - \frac{V_z (T - t_{on_máx})}{L_{m1}} = 0 \Rightarrow d_{máx} = \frac{V_z}{V_1 + V_z}$$

- con el flujo de magnetización:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \Phi_{mag} &= \frac{1}{N_1} \int_{t_0}^{t_1} u_p dt \\ \Delta \Phi_{mag1} &= \frac{V_1 t_{on_máx}}{N_1} \\ \Delta \Phi_{mag2} &= \frac{-V_z (T - t_{on_máx})}{N_1} \\ \Delta \Phi_{mag1} + \Delta \Phi_{mag2} &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_1 t_{on_máx}}{N_1} - \frac{V_z (T - t_{on_máx})}{N_1} = 0 \Rightarrow d_{máx} = \frac{V_z}{V_1 + V_z}$$

3.





4. La energía almacenada en el núcleo se relaciona con la inductancia de magnetización y la corriente de magnetización a través de la misma fórmula que la energía almacenada en cualquier otra inductancia:

$$E_{mag_m\acute{a}x} = \frac{1}{2} L_{m1} i_{mag_m\acute{a}x}^2 = \frac{1}{2} \times 144 \mu\text{H} \times (1\text{A})^2 = 72 \mu\text{J}$$

$$i_{mag_m\acute{a}x} = \frac{48\text{V} \times 0,3 \times 10 \mu\text{s}}{144 \mu\text{H}} = 1\text{A}$$

Esa energía se tiene que disipar en cada ciclo, por lo que la potencia perdida es:

$$\bar{P}_{mag} = \frac{E_{mag_m\acute{a}x}}{T} = E_{mag_m\acute{a}x} \cdot f = 72 \mu\text{J} \times 100\text{kHz} = 7,2\text{W}$$

5. Sólo se transfiere energía durante el tiempo que está cerrado el interruptor y hay corriente por el secundario:

$$\bar{P}_s = \frac{1}{T} \int_0^T u_s i_s dt = \frac{\frac{V_1}{n} I_1 t_{on}}{T} = \frac{48\text{V}}{2,88} \times 5\text{A} \times 0,3 = 25\text{W}$$

6. Si las únicas pérdidas son las debidas a la desmagnetización del núcleo, entonces:

$$\bar{P}_e = \bar{P}_s + \bar{P}_{mag} = 25\text{W} + 7,2\text{W} = 32,2\text{W}$$

$$\eta = \frac{\bar{P}_s}{\bar{P}_e} = \frac{25\text{W}}{32,2\text{W}} = 0,776$$

7. Para mejorar el rendimiento del convertidor directo se puede emplear un transformador con devanado auxiliar. En este caso, al abrirse el interruptor, el flujo lo mantiene el devanado auxiliar, que se conecta en serie con la fuente de tensión de entrada. De esta manera la energía almacenada en el núcleo no se pierde, sino que se devuelve a la fuente V_1 .

