



# Diseño de Circuitos y Sistemas Electrónicos

Amplificadores de Potencia

Vicente Baena Lecuyer  
Grupo de Ingeniería Electrónica

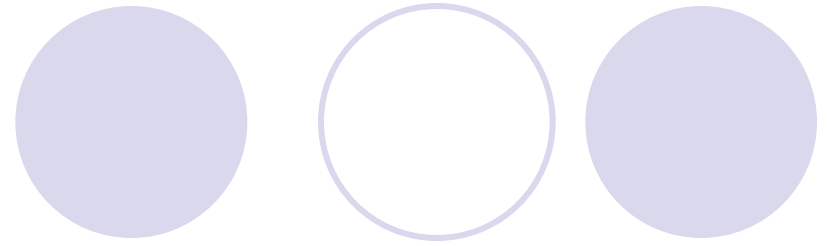
# Índice

- Introducción
- Amplificador Clase A
- Amplificador Clase B
- Amplificador Clase C
- Amplificador Clase D
- Resumen
- Ejemplos

# Introducción

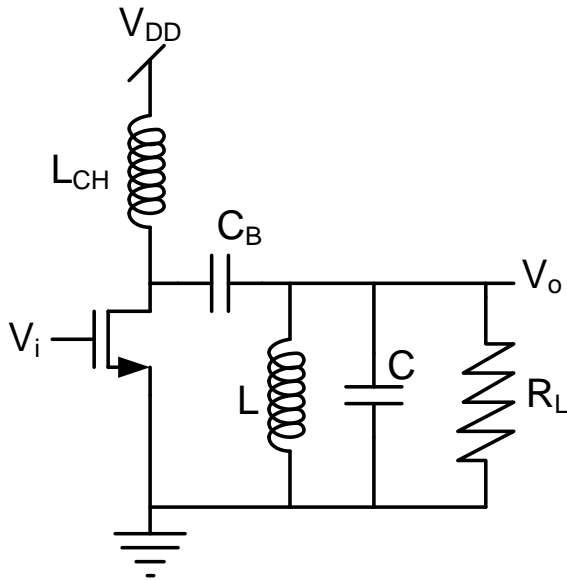
- Problemática de los amplificadores de potencia
  - Eficiencia
  - Linealidad
  - Ganancia
  - Potencia de salida
- Tipos de amplificadores de potencia:
  - Según ancho de banda
    - Banda estrecha / Banda ancha
  - Según su linealidad
    - Lineales / Envolvente constante
  - Según su consumo durante un periodo de la señal de entrada
    - Clase A, B, AB, C...

# Amplificador Clase A



- Conducen durante el 100% del periodo de la señal de entrada
  - También se suele usar el ángulo de conducción, que en este caso es de  $360^\circ$
- Es el amplificador de siempre: el transistor está polarizado en su zona lineal para todo el rango de la señal de entrada

# Amplificador Clase A



- $L_{CH}$  bobina de choque
  - Inductancia elevada
  - Puede considerarse:
    - Circuito abierto a la frecuencia de trabajo
    - Cortocircuito en continua
- $C_B$  condensador de bloqueo
  - Capacidad elevada
  - Puede considerarse
    - Cortocircuito a la frecuencia de trabajo
    - Circuito abierto en continua
- Tanque de salida LC sintonizado a la frecuencia de trabajo
  - Filtra las no linealidades introducidas por el circuito

# Amplificador Clase A

- Suponiendo a la entrada una señal de alta frecuencia

- La intensidad de drenador

$$i_D = I_{DC} + i_{rf} \text{sen}(\omega_0 t)$$

- Si el transistor está siempre conduciendo (Clase A)

$$i_D \geq 0 \rightarrow i_{rf}^{\max} = I_{DC}$$

- La potencia dada por la fuente

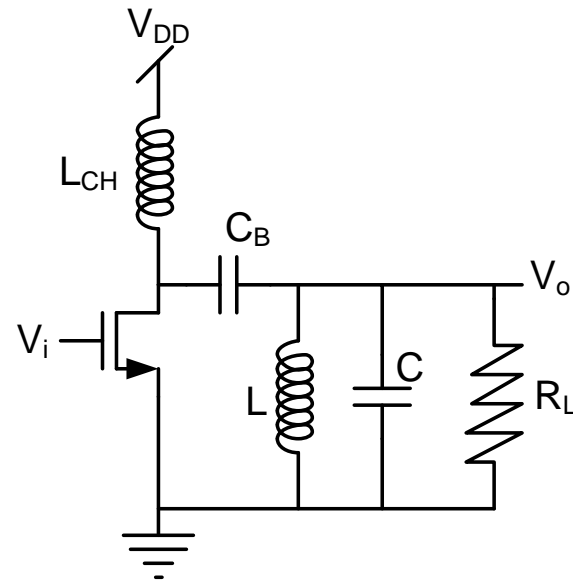
$$P_{V_{DD}} = I_{DC} V_{DD}$$

- La tensión de salida

$$v_O = -R_L i_{rf} \text{sen}(\omega_0 t)$$

- Potencia disipada en la carga:

$$P_{rf} = \frac{R_L i_{rf}^2}{2} \rightarrow P_{rf}^{\max} = \frac{R_L I_{DC}^2}{2}$$



# Amplificador Clase A

- La tensión de drenador debe ser mayor que cero

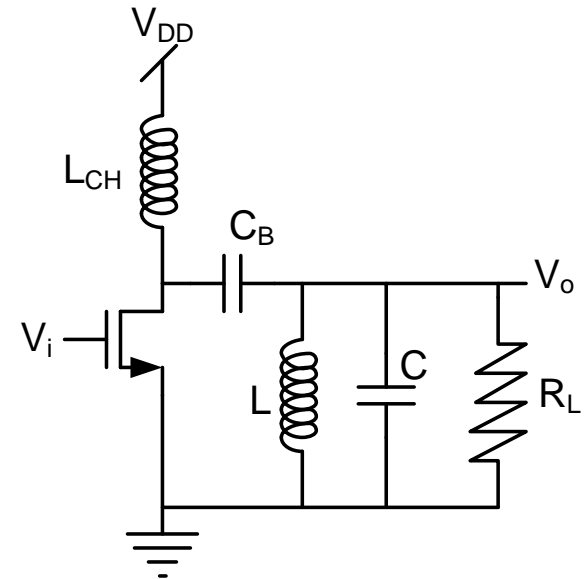
$$v_D = V_{DD} - R_L i_{rf}^{\max} \sin(\omega_0 t) = V_{DD} - R_L I_{DC} \sin(\omega_0 t)$$

$$v_D \geq 0 \rightarrow I_{DC} = \frac{V_{DD}}{R_L}$$

- La eficiencia

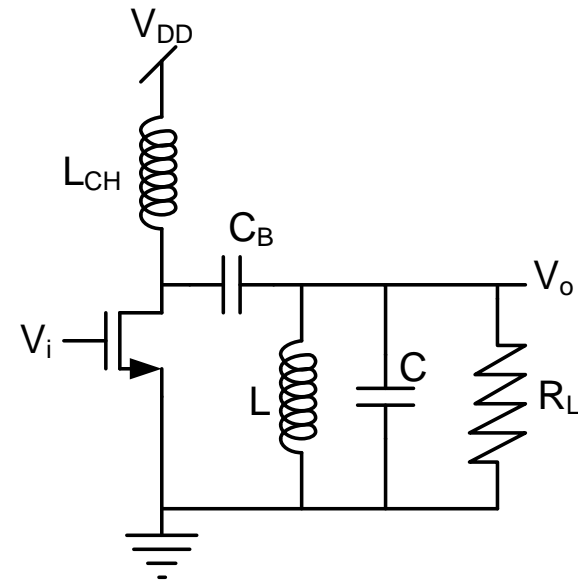
$$\eta = \frac{P_{rf}^{\max}}{P_{V_{DD}}} = \frac{R_L I_{DC}^2}{2V_{DD} I_{DC}} = 50\%$$

- Esta es la eficiencia máxima ideal, en la práctica siempre estará por debajo del 50%



# Amplificador Clase B

- Conducen durante el 50% del periodo de la señal de entrada
  - Ángulo de conducción de  $180^\circ$
- Por ejemplo si  $v_I = V_T + A \sin(\omega_0 t)$ 
  - El transistor sólo conducirá durante el semiciclo positivo





# Amplificador Clase B

- Intensidad de drenador

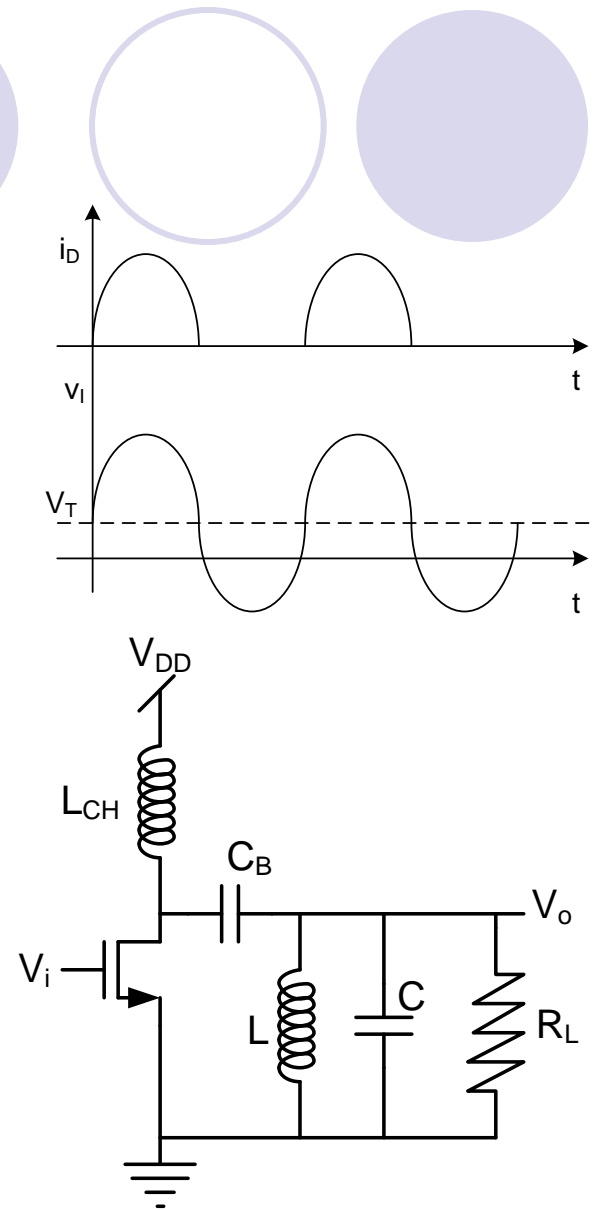
$$i_D = i_{rf} \text{sen}(\omega_0 t) \quad 2k\pi \leq \omega_0 t \leq (2k+1)\pi \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

- El término de continua

$$\overline{i_D} = \frac{1}{T} \int_0^T i_D dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i_{rf} \text{sen}(\omega_0 t) dt = \frac{i_{rf}}{\pi}$$

- La parte variable irá hacia la carga
- Debido al tanque resonante LC cualquier frecuencia distinta de la de trabajo será filtrada
- A la carga sólo llegará el armónico fundamental

$$A_{\omega_0} = \frac{2}{T} \int_0^T i_D \text{sen}(\omega_0 t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i_{rf} \text{sen}^2(\omega_0 t) dt = \frac{i_{rf}}{2}$$



# Amplificador Clase B

- La tensión de salida:

$$v_o = -R_L \frac{i_{rf}}{2} \text{sen}(\omega_0 t)$$

- La amplitud de la tensión de salida depende linealmente de  $i_{rf}$

- La tensión de drenador no puede ser negativa

$$v_D = V_{DD} - R_L \frac{i_{rf}}{2} \text{sen}(\omega_0 t)$$

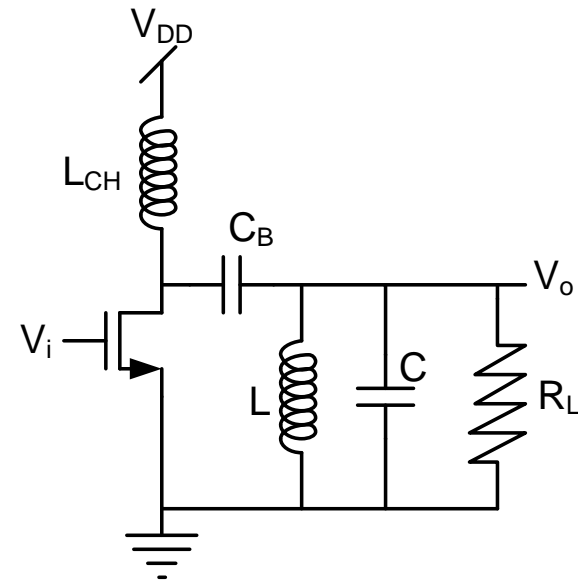
$$v_D \geq 0 \rightarrow i_{rf}^{\max} = \frac{2V_{DD}}{R_L}$$

- Potencia máxima disipada en la carga

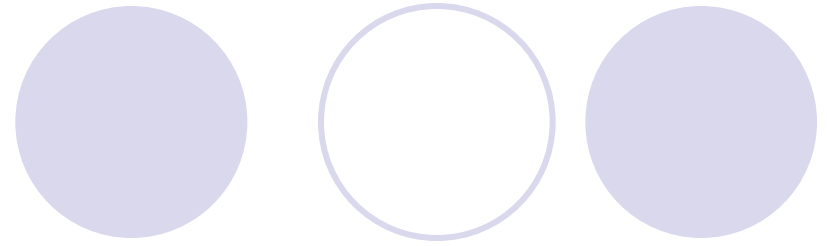
$$P_{rf} = \frac{R_L i_{rf}^2}{4} \rightarrow P_{rf}^{\max} = \frac{V_{DD}^2}{2R_L}$$

- Potencia consumida

$$P_{V_{DD}} = \overline{i_D} V_{DD} = \frac{i_{rf}^{\max}}{\pi} V_{DD} = \frac{2V_{DD}^2}{R_L \pi}$$



# Amplificador Clase B



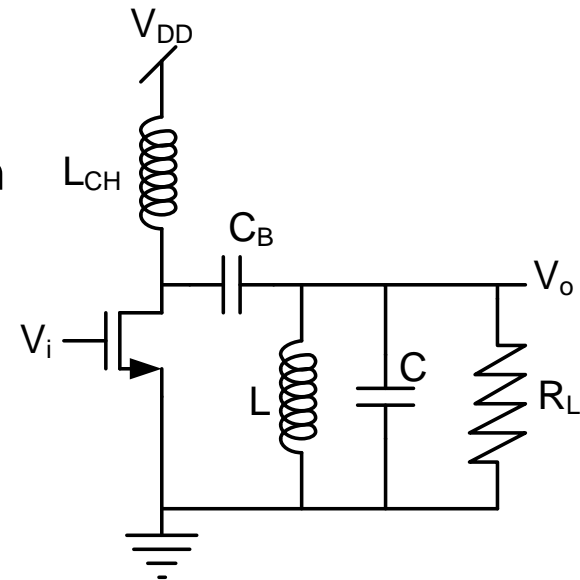
- La eficiencia

$$\eta = \frac{P_{rf}^{\max}}{P_{V_{DD}}} = \frac{\pi}{4} = 78,5\%$$

- Sin embargo, para conseguir un amplificador Clase B, el ángulo de conducción debe ser exactamente  $180^\circ$ 
  - En la práctica nunca se consigue
  - Amplificador teórico: no realizable

# Amplificador Clase C

- Conduce durante menos del 50% del periodo de la señal de entrada
  - Ángulo de conducción  $< 180^\circ$
- Por ejemplo si  $v_I = A \sin(\omega_0 t)$ 
  - El transistor sólo conducirá cuando la tensión de entrada supere la tensión umbral



# Amplificador Clase C

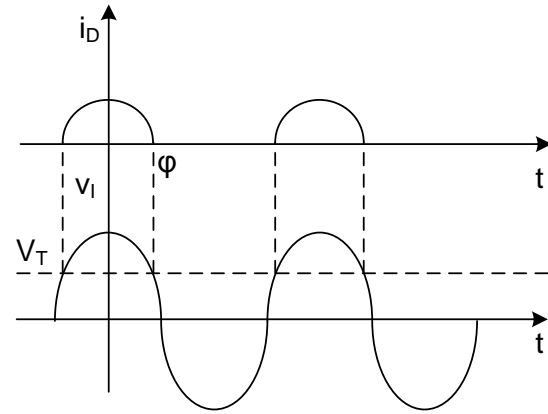
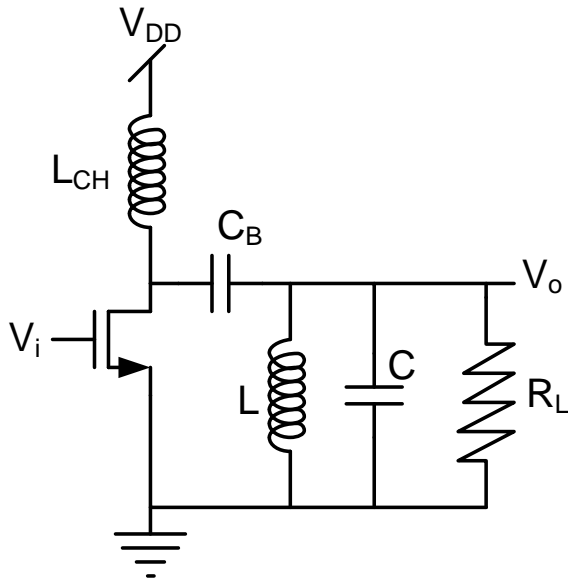
- Intensidad de drenador

$$i_D = I_{DC} + i_{rf} \cos(\omega_0 t) \quad 2k\pi - \varphi \leq \omega_0 t \leq 2k\pi + \varphi \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

- $2\varphi$  es el ángulo de conducción

- $I_{DC}$  es una cantidad negativa

- El valor de  $\varphi$  puede calcularse como  $\varphi = \cos^{-1}\left(-\frac{I_{DC}}{i_{rf}}\right)$



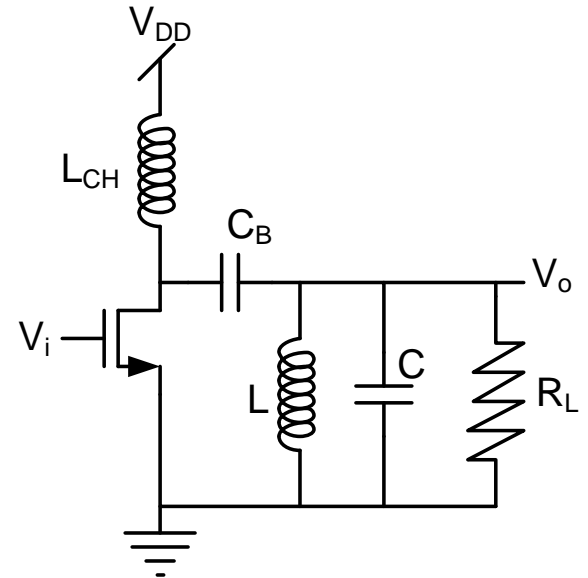
# Amplificador Clase C

- El término de continua

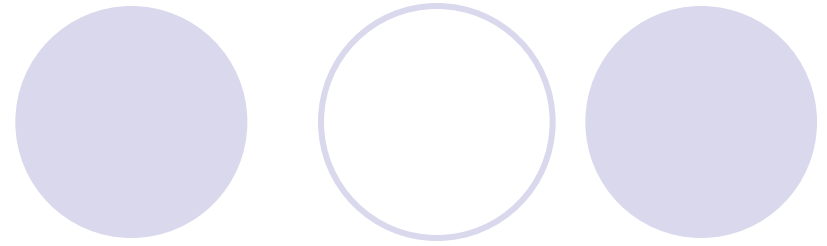
$$\overline{i_D} = \frac{1}{T} \int_0^T i_D dt = \frac{1}{T} \int_{-\varphi}^{\varphi} [I_{DC} + i_{rf} \cos(\omega_0 t)] d\varphi = \frac{i_{rf}}{\pi} [\text{sen}(\varphi) - \varphi \cos(\varphi)]$$

- La parte variable irá hacia la carga
- Debido al tanque resonante LC cualquier frecuencia distinta de la de trabajo será filtrada
- A la carga sólo llegará el armónico fundamental

$$A_{\omega_0} = \frac{2}{T} \int_0^T i_D \cos(\omega_0 t) dt = \frac{i_{rf}}{2\pi} [2\varphi - \text{sen}(2\varphi)]$$



# Amplificador Clase C



- La tensión de salida:

$$v_o = -R_L \frac{i_{rf}}{2\pi} [2\varphi - \sin(2\varphi)] \cos(\omega_0 t)$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left( -\frac{I_{DC}}{i_{rf}} \right)$$

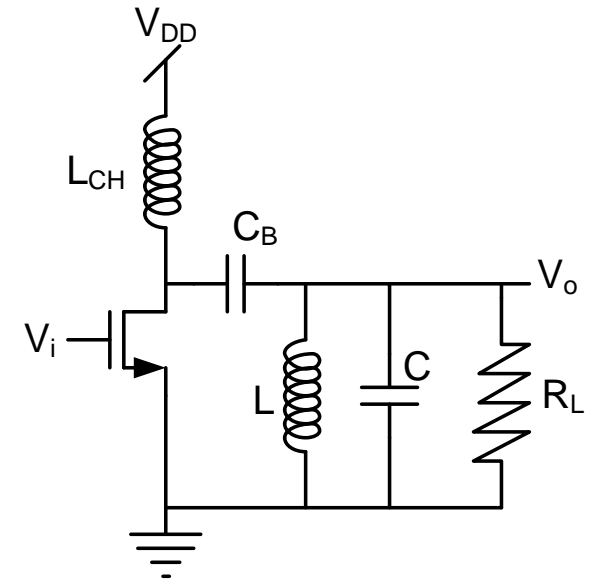
- La amplitud de la tensión de salida depende de  $\varphi$  que es una función no lineal de  $i_{rf}$

○ ¡El amplificador es no lineal!

- La tensión de drenador no puede ser negativa

$$v_D = V_{DD} - R_L \frac{i_{rf}}{2\pi} [2\varphi - \sin(2\varphi)] \cos(\omega_0 t)$$

$$v_D \geq 0 \rightarrow i_{rf}^{\max} = \frac{2\pi V_{DD}}{R_L [2\varphi - \sin(2\varphi)]}$$



# Amplificador Clase C

- La potencia máxima entregada a la carga es por lo tanto

$$P_{rf}^{\max} = \frac{V_{DD}^2}{2R_L}$$

- La potencia consumida por el circuito

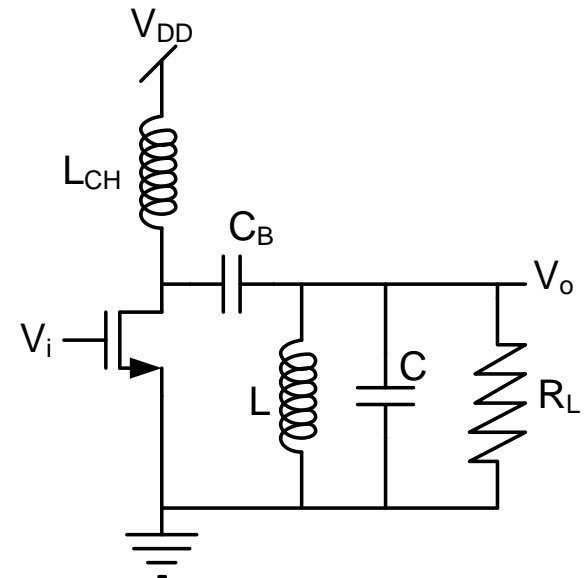
$$P_{V_{DD}} = \overline{i_D} V_{DD} = \frac{2V_{DD}^2 [\sin(\varphi) - \varphi \cos(\varphi)]}{R_L [2\varphi - \sin(2\varphi)]}$$

- La eficiencia

$$\eta = \frac{2\varphi - \sin(2\varphi)}{4[\sin(\varphi) - \varphi \cos(\varphi)]}$$

- Puede verse como  $\eta \rightarrow 100\%$  si  $\varphi \rightarrow 0$

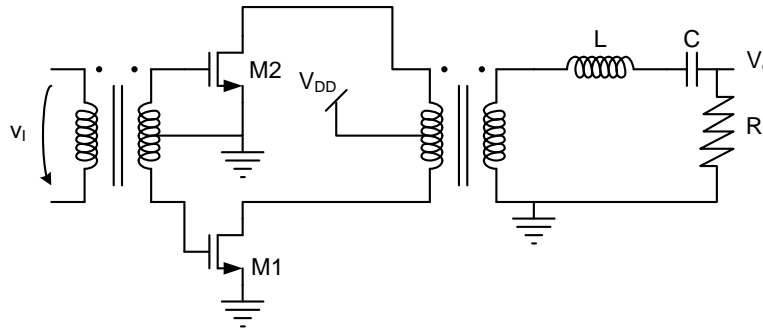
○ ¡Pero eso significaría que la potencia entregada a la carga es nula!





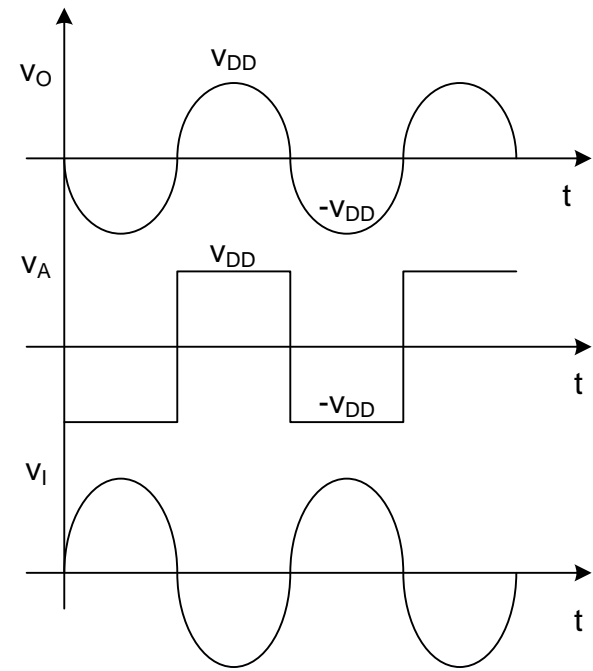
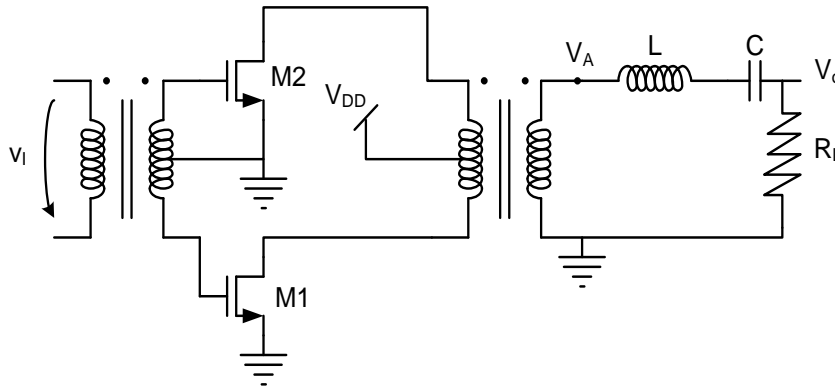
# Amplificador Clase D

- Utiliza transistores como interruptores
- Teóricamente se consigue una eficiencia del 100%
- En la práctica, los transistores no son interruptores perfectos y no se consigue el 100%
- Aún así la eficiencia que se obtiene es de las más altas



# Amplificador Clase D

- Suponiendo  $|v_i| \gg V_T$
- Si  $v_i > 0 \rightarrow M_2 \text{ ON y } M_1 \text{ OFF} \rightarrow V_{D2}=0 \rightarrow V_A = -V_{DD}$
- Si  $v_i < 0 \rightarrow M_2 \text{ OFF y } M_1 \text{ ON} \rightarrow V_{D1}=0 \rightarrow V_A = V_{DD}$



# Resumen

	Eficiencia	Linealidad	Ángulo de Conducción
CLASE A	$\leq 50\%$	SI	$360^\circ$
CLASE B	$78,5\%$	SI	$180^\circ$
CLASE AB	$50\% \leq \eta \leq 78,5\%$	NO	$180^\circ \leq 2\varphi \leq 360^\circ$
CLASE C	$< 100\%$	NO	$< 180^\circ$
CLASE D	$100\%$	NO	-