

Tema 5: Circuitos no lineales

Enrique San Andrés



Esquema

- Introducción a la resolución de circuitos con elementos no lineales
 - Método analítico - numérico
 - Método gráfico
 - Análisis incremental (pequeña señal)

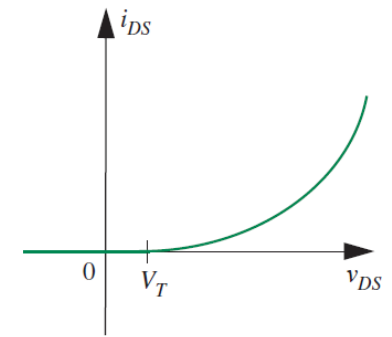
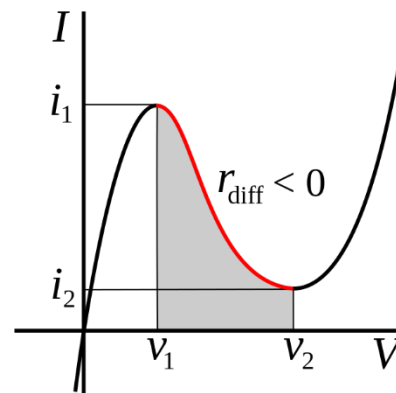
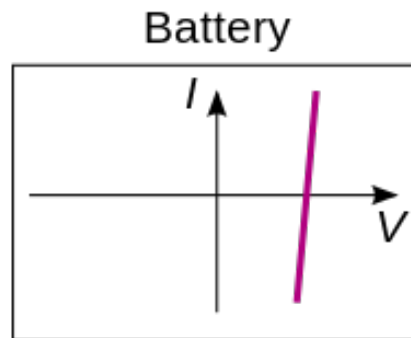
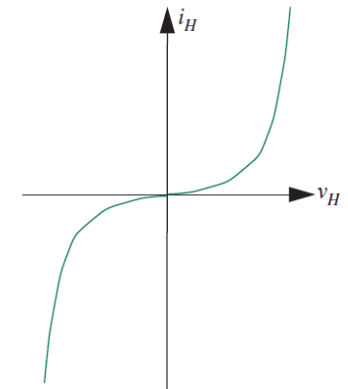
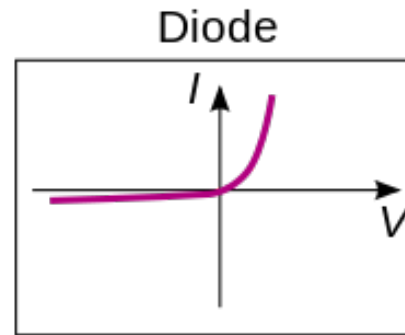
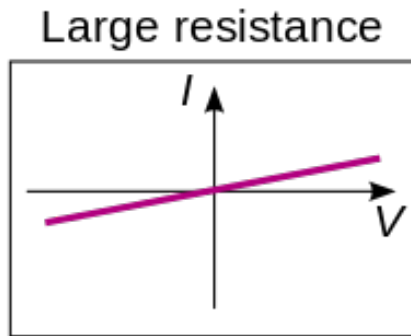
Programa de la asignatura

1. Elementos de un circuito y métodos de análisis en corriente continua: Resistencias, fuentes de voltaje y de corriente, fuentes dependientes. Leyes de Kirchhoff. Técnicas de análisis: combinación de elementos, análisis por nodos, análisis por mallas, principio de superposición, teoremas de Thévenin y Norton. El amplificador operacional ideal. Circuitos simples con amplificadores operacionales. Análisis de circuitos asistido por ordenador.
2. Análisis en el dominio del tiempo: Respuesta transitoria de circuitos con condensadores e inductancias. Circuitos de primer y segundo orden.
3. Análisis en el dominio de la frecuencia: Excitación sinusoidal. Fasores. Impedancia. Potencia compleja. Resonancia. Introducción al filtrado de señales.
4. Redes bipuerto: parámetros generales y transformaciones. Inductancias acopladas magnéticamente. Transformador lineal. Transformador ideal.
5. Introducción a los circuitos no lineales.



Objetivo del tema

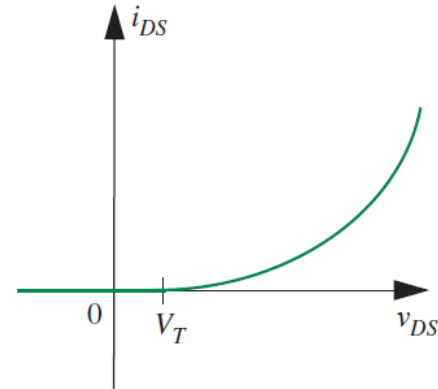
- ¿Qué podemos hacer cuándo en el circuito hay un elemento no lineal?



Opción 1: resolución numérica

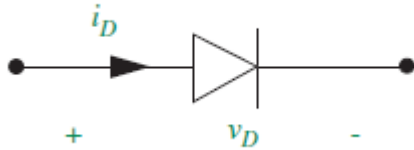
- Ej: MOSFET

$$i_{DS} = \begin{cases} \frac{K(v_{DS} - V_T)^2}{2} & \text{for } v_{DS} \geq V_T \\ 0 & \text{for } v_{DS} < V_T \end{cases} .$$

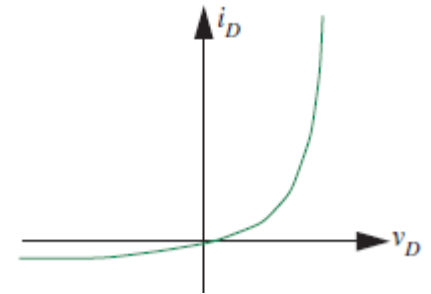


Opción 1: resolución numérica

- Ej: diodo

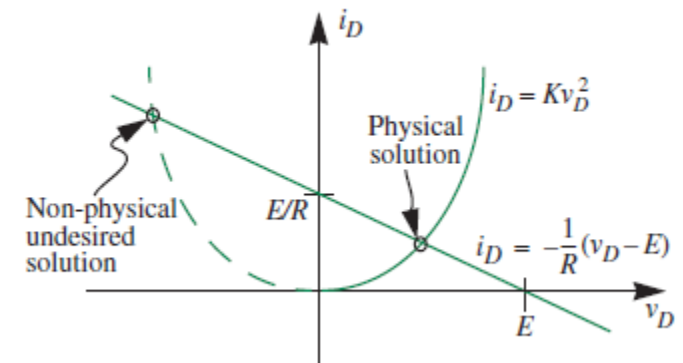
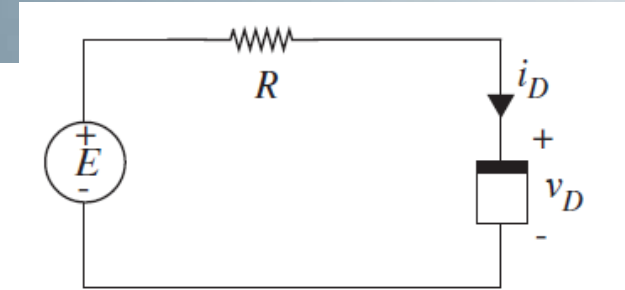


$$i_D = I_S \left(e^{v_D/V_{TH}} - 1 \right)$$



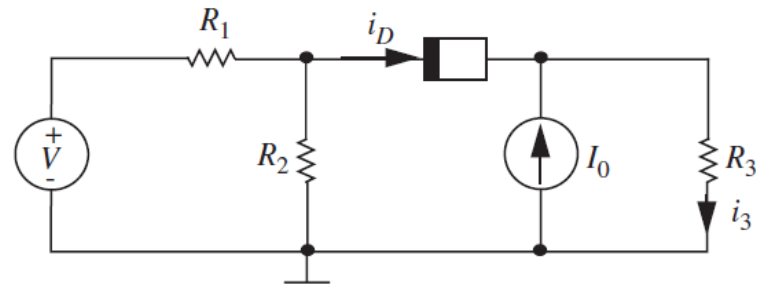
Solución analítica

- Ej.
$$i_D = \begin{cases} Kv_D^2 & \text{for } v_D > 0 \\ 0 & \text{for } v_D \leq 0. \end{cases}$$



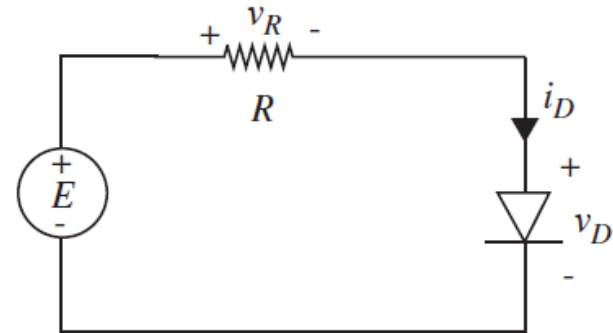
Solución analítica

$$i_D = \begin{cases} Kv_D^2 & \text{for } v_D > 0 \\ 0 & \text{for } v_D \leq 0. \end{cases}$$



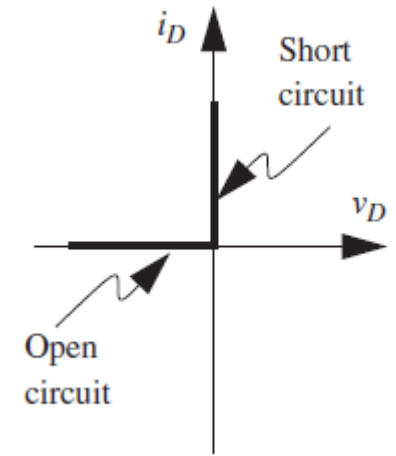
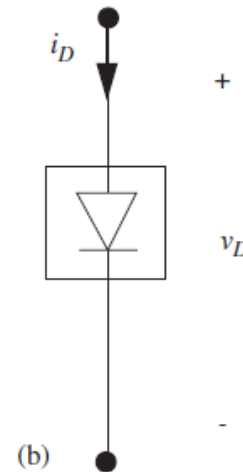
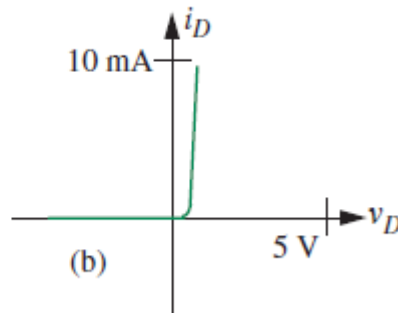
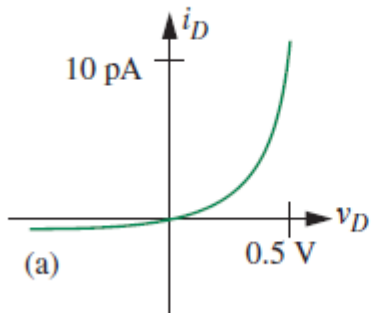
Solución numérica

$$i_D = I_s(e^{v_D/V_{TH}} - 1)$$

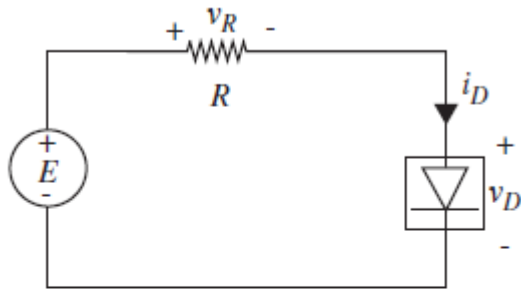


Simplificación: análisis por tramos

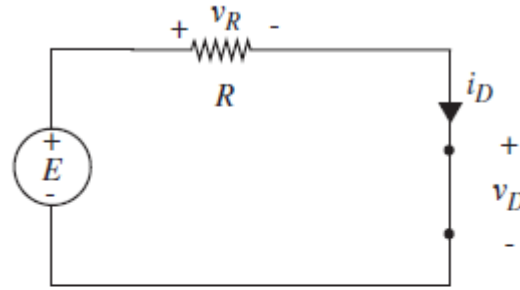
- Diodo ideal



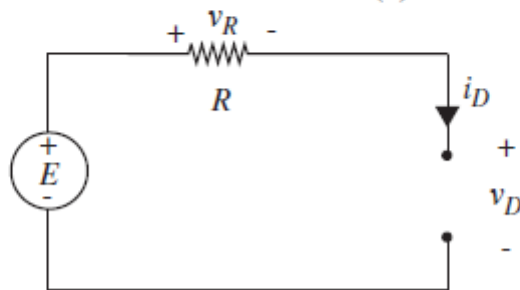
Simplificación: análisis por tramos



(a)



(b) Short circuit segment



(c) Open circuit segment

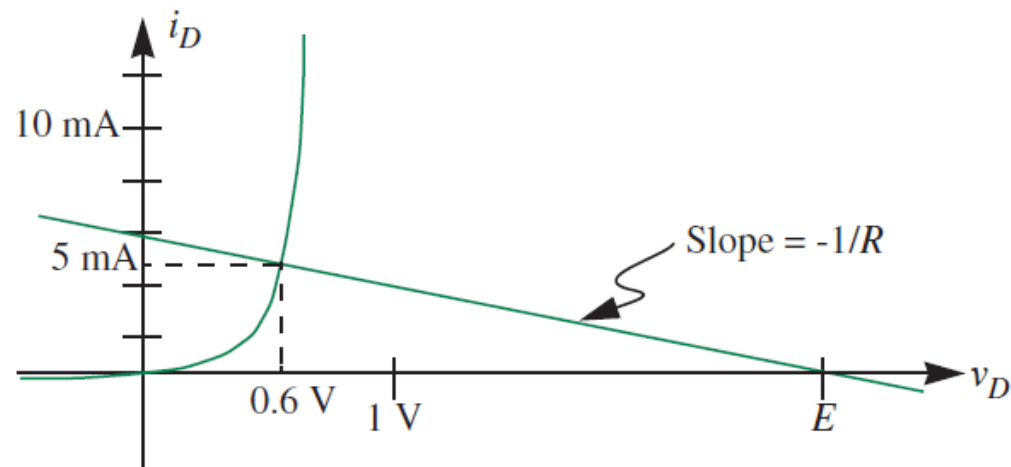


Análisis gráfico

$$i_D = -\frac{v_D - E}{R}$$

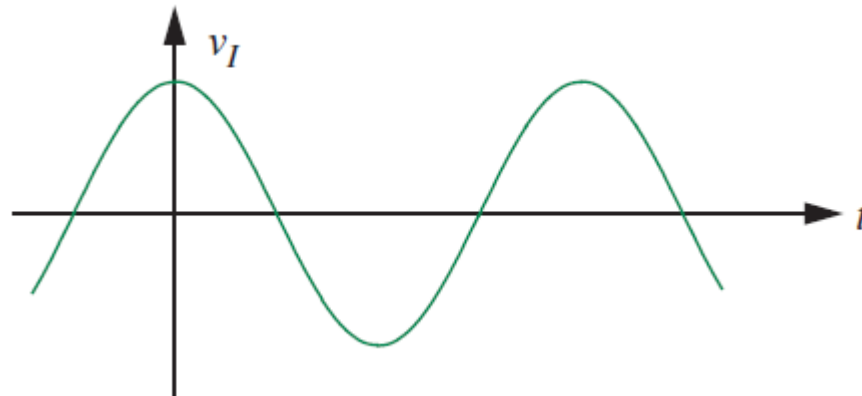
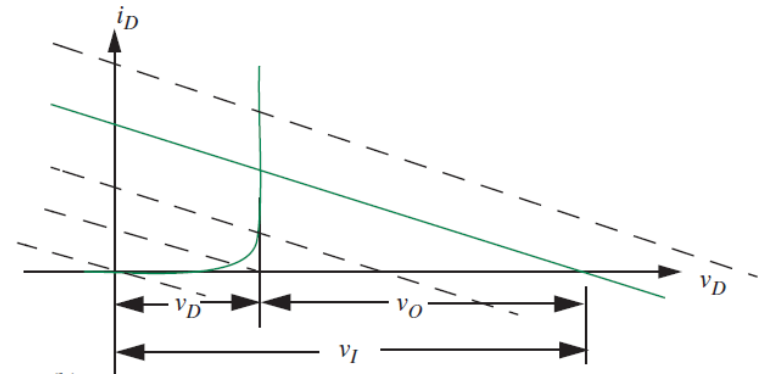
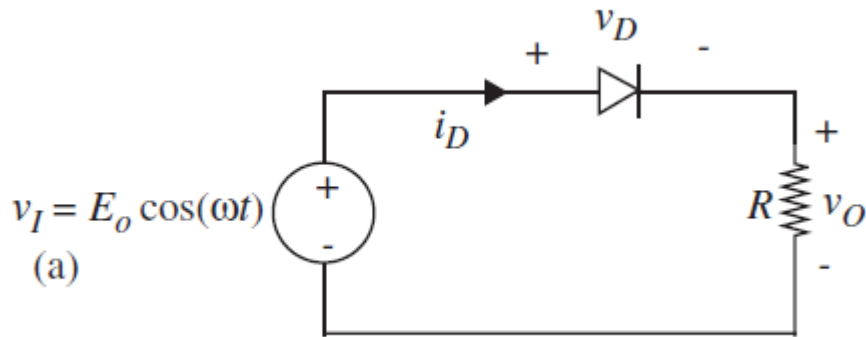
: $E = 3 \text{ V}$ and $R = 500 \ \Omega$,

$$i_D = I_s(e^{v_D/V_{TH}} - 1).$$



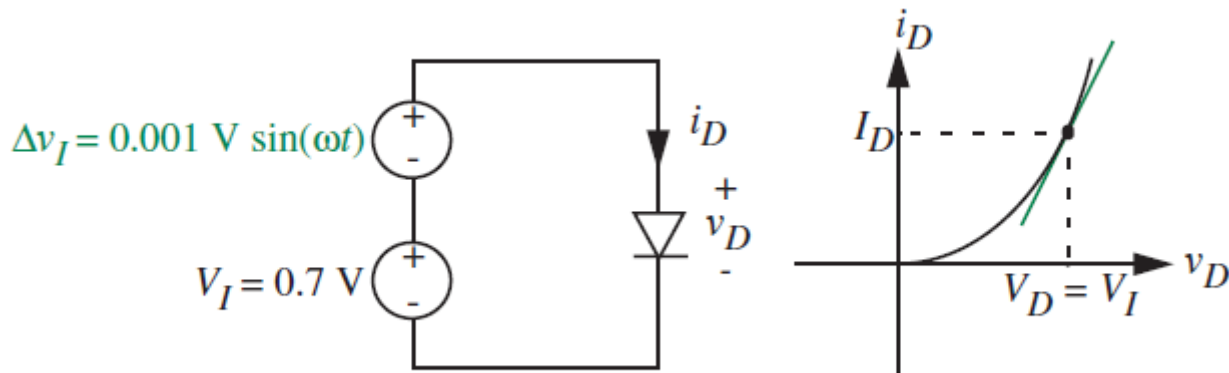
Análisis gráfico

- Circuito rectificador de media onda



Análisis incremental

- Señal DC + pequeña AC



$$i_D = I_s \left(e^{(0.7 \text{ V} + 0.001 \text{ V} \sin(\omega t))/V_{TH}} - 1 \right)$$

Análisis incremental

- Desarrollo de Taylor para el diodo en V_D

$$i_D = f(v_D) = f(V_D) + \left. \frac{df}{dv_D} \right|_{V_D} (v_D - V_D) + \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2f}{dv_D^2} \right|_{V_D} (v_D - V_D)^2 + \dots$$

$$i_D = I_S \left(e^{(V_D + \Delta v_D)/V_{TH}} - 1 \right)$$

$$i_D = I_S \left(e^{V_D/V_{TH}} - 1 \right) + \frac{1}{V_{TH}} I_S \left(e^{V_D/V_{TH}} \right) \Delta v_D + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{V_{TH}} \right)^2 I_S \left(e^{V_D/V_{TH}} \right) (\Delta v_D)^2 + \dots$$

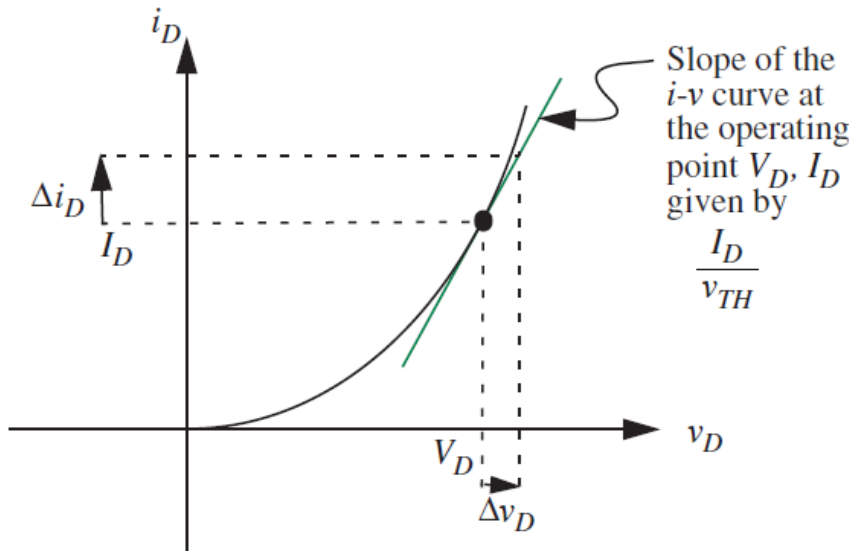
$$i_D = I_S \left(e^{V_D/V_{TH}} - 1 \right) + I_S \left(e^{V_D/V_{TH}} \right) \left(\frac{1}{V_{TH}} \Delta v_D + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{V_{TH}} \right)^2 (\Delta v_D)^2 + \dots \right)$$



Análisis incremental

- Desarrollo de Taylor para el diodo en V_D

$$I_D + \Delta i_D \cong I_S \left(e^{V_D/V_{TH}} - 1 \right) + I_S \left(e^{V_D/V_{TH}} \right) \left(\frac{1}{V_{TH}} \Delta v_D \right)$$



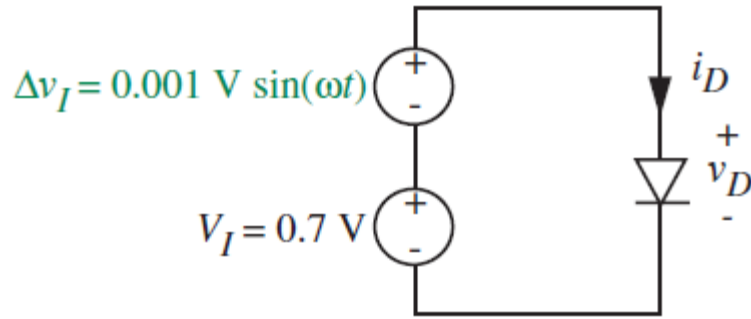
$$\Delta i_D = I_S \left(e^{V_D/V_{TH}} \right) \left(\frac{1}{V_{TH}} \Delta v_D \right) \cong I_D \frac{1}{V_{TH}} \Delta v_D$$



Análisis incremental

- Ej. de aplicación

$$\Delta i_D = \frac{I_D}{V_{TH}} \Delta v_D$$



Análisis incremental

- Dispositivo no lineal en general

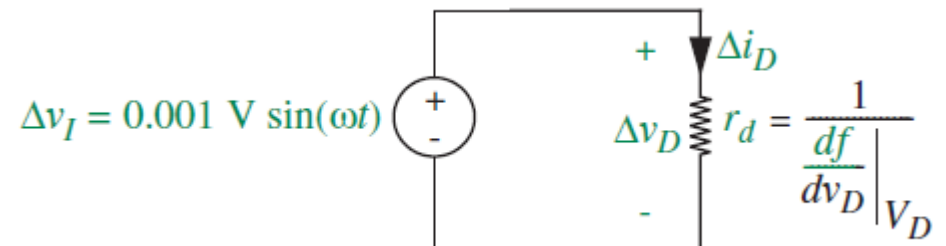
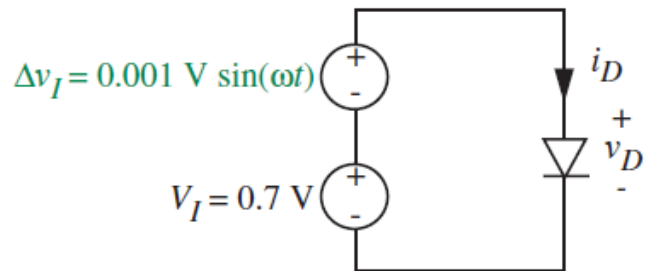
$$i_X = f(v_X) \Rightarrow \Delta i_X = \left. \frac{df}{dv_X} \right|_{v_X} \Delta v_X$$

$$\frac{\Delta v_X}{\Delta i_X} = \frac{1}{\left. \frac{df}{dv_X} \right|_{v_X}} = r_d$$



Análisis incremental

- Aplicación



Análisis incremental

- Método de solución

1. Determinar el punto de operación en continua (las corrientes y tensiones anulando los generadores de pequeña señal). Emplear cualquiera de los métodos generales.
2. Encontrar la tensión o la corriente *incremental* (la variación respecto a las variables DC) sustituyendo el elemento no lineal por una resistencia r_d de valor

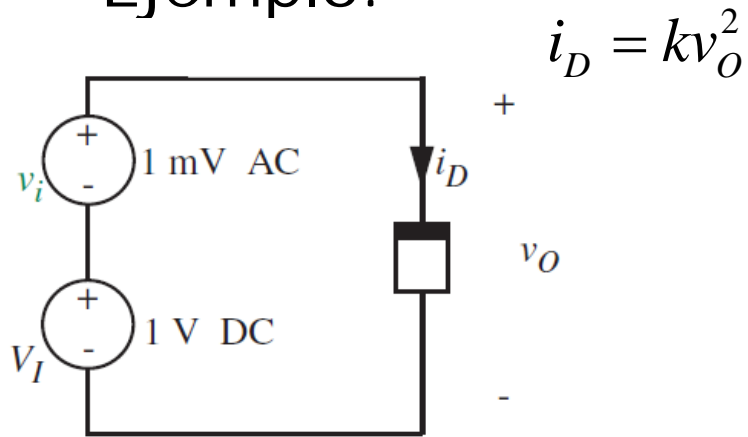
$$r_d = \frac{1}{\left. \frac{df}{dv_X} \right|_{V_X}}$$

3. La tensión o corriente total será (aproximadamente) la suma de la componente DC + la componente AC
 1. Válido cuando Taylor es aproximado: **aproximación de pequeña señal.**



Análisis incremental

- Ejemplo:



Esquema

- Introducción a la resolución de circuitos con elementos no lineales
 - Método analítico - numérico
 - Método gráfico
 - Análisis incremental (pequeña señal)

Programa de la asignatura

1. Elementos de un circuito y métodos de análisis en corriente continua: Resistencias, fuentes de voltaje y de corriente, fuentes dependientes. Leyes de Kirchhoff. Técnicas de análisis: combinación de elementos, análisis por nodos, análisis por mallas, principio de superposición, teoremas de Thévenin y Norton. El amplificador operacional ideal. Circuitos simples con amplificadores operacionales. Análisis de circuitos asistido por ordenador.
2. Análisis en el dominio del tiempo: Respuesta transitoria de circuitos con condensadores e inductancias. Circuitos de primer y segundo orden.
3. Análisis en el dominio de la frecuencia: Excitación sinusoidal. Fasores. Impedancia. Potencia compleja. Resonancia. Introducción al filtrado de señales.
4. Redes bipuerto: parámetros generales y transformaciones. Inductancias acopladas magnéticamente. Transformador lineal. Transformador ideal.
5. Introducción a los circuitos no lineales.

