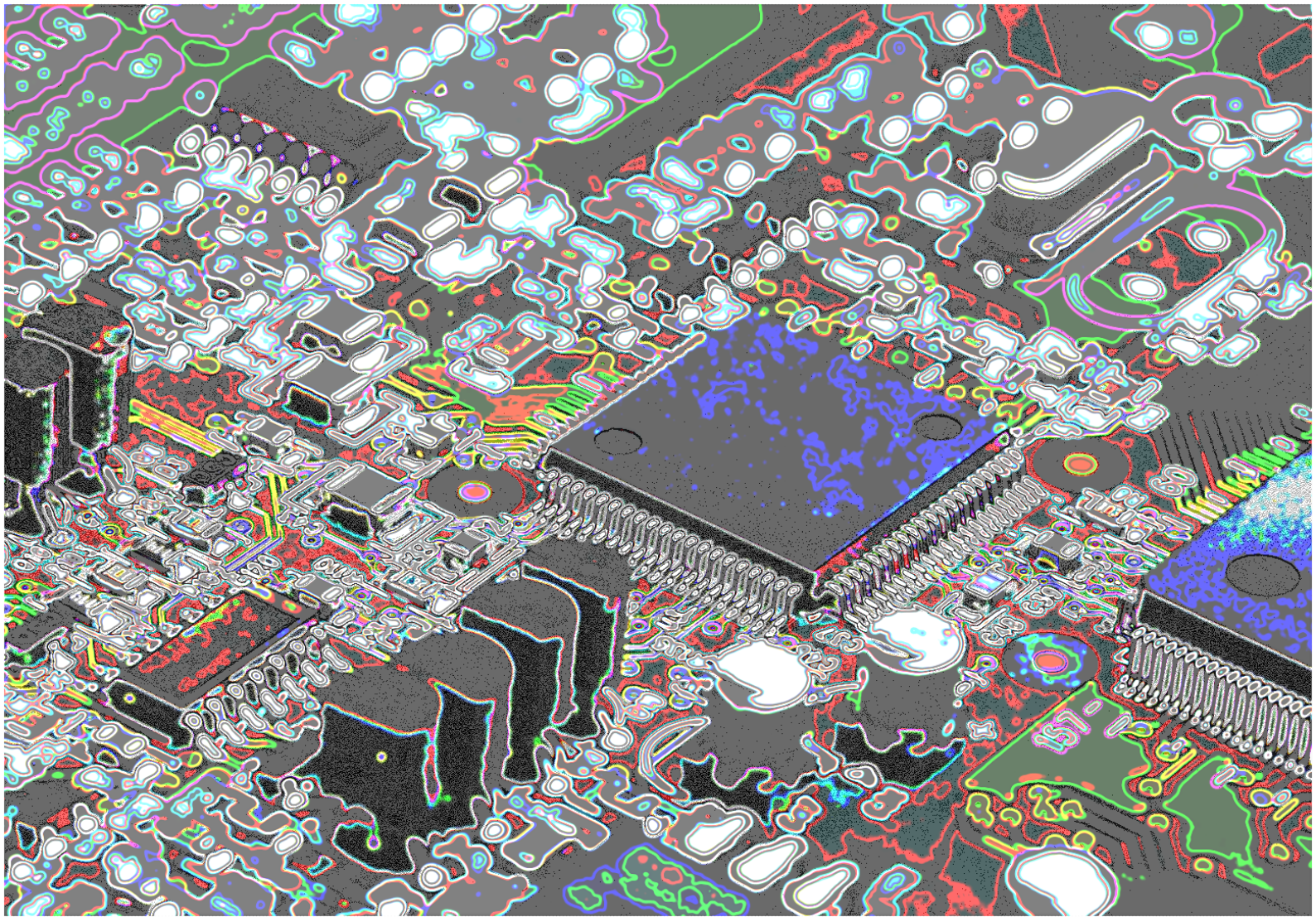

pgf@stop



Apuntes Tel131 - Electrónica Digital

Marie González-Inostroza

Autor: Marie González-Inostroza

Institución: Universidad Técnica Federico Santa María

Fecha: agosto, 2023

Versión: 0.1.0

Índice general

Capítulo 1 Circuitos no lineales

1.1 Definiciones

1.1.1 Circuito lineal

Un circuito lineal posee una relación lineal entre la señal de entrada y la de salida, por lo que posee la propiedad de superposición. Esto significa que para dos señales de entrada, se cumple que la salida es la suma de las respuestas de cada una por separado. Por ejemplo, si la respuesta para A es Y y la respuesta para B es X, al aplicar ambas señales de entrada simultáneamente ($A + B$), la salida será igual a la suma de las respuestas individuales ($X + Y$).

Los componentes electrónicos lineales típicos con la resistencia, inductancia y capacitancia. Para estos, sus relaciones de voltaje-corriente son funciones lineales, como la ley de Ohm.

1.1.2 Circuito No-Lineal

Un circuito no lineal, por su parte, posee componentes que no siguen la propiedad de superposición. Esto significa que al aplicar dos señales de entrada simultáneamente, la salida no es simplemente la suma de las respuestas individuales. Ejemplos de componentes no lineales incluyen diodos y transistores. De hecho, la mayoría de los semiconductores se comportan de forma no lineal.

Para los circuitos no-lineales siguen siendo válidas las leyes de Kirchoff, pero no el principio de superposición. Por lo tanto, debemos utilizar algunas técnicas particulares para su análisis.

1.1.3 Semiconductores

Los semiconductores son materiales que pueden comportarse como conductores o aislantes, dependiendo de factores como la temperatura, el campo eléctrico, la presión y las características químicas del elemento. Los semiconductores más comunes son el Silicio (Si) y el Germanio (Ge).

Los semiconductores intrínsecos permiten que los electrones se muevan y generen un equilibrio dinámico de espacios vacíos que son ocupados. Además, se pueden dopar con impurezas para crear dos tipos de semiconductores:

1. Semiconductor tipo N: Se logra añadiendo átomos pentavalentes, lo que proporciona electrones adicionales y convierte al semiconductor en un conductor de electricidad.
2. Semiconductor tipo P: Se obtiene al añadir átomos trivalentes, creando huecos que actúan como portadores de carga y permiten la conductividad.

La unión de un semiconductor tipo N con uno tipo P crea un diodo.

1.1.3.1 Unión NP: Diodo

Cuando se unen semiconductores tipo N y tipo P, los electrones libres del semiconductor N se desplazan hacia los huecos del semiconductor P, generando enlaces covalentes. Esto resulta en una zona P con carga negativa y una zona N con carga positiva cerca de la unión, lo que crea un campo eléctrico que se opone al flujo de electrones.

La unión de los semiconductores N y P se conoce como diodo.

1.2 El diodo y su análisis

Un diodo es un componente semiconductor utilizado para controlar el flujo de corriente eléctrica. Generalmente consta de dos terminales etiquetados como ánodo y cátodo, siendo el cátodo el marcado.

Estructuralmente, un diodo se compone de dos regiones químicas llamadas "PN," que suelen ser dopadas con elementos como silicio o germanio. La región P (ánodo) contiene una cantidad reducida de electrones, mientras que la región N (cátodo) posee un exceso de electrones. Para que el diodo conduzca corriente, es necesario aplicar una tensión que supere su umbral de polarización y esté conectado en el circuito. El diodo opera en dos modos: polarización directa, que permite el flujo de corriente, y polarización inversa, que lo impide.

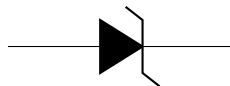
Existen diversos tipos de diodos, como los rectificadores, Zener, Schottky, así como otros como detectores de baja señal, varactores, emisores de luz, láseres, estabilizadores, diodos túnel, diodos PIN, diodos backward, fotodiodos, entre otros. Cada tipo de diodo tiene aplicaciones específicas en electrónica y circuitos.

1.2.1 Figuras electrónicas:

1. Diodo Rectificador.



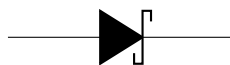
2. Diodo Zener.



3. Diodo Túnel o Esaki.



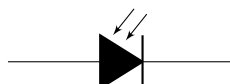
4. Diodo Schottky.



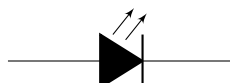
5. Diodo Varicap.



6. Foto Diodo.



7. Diodo Led.



1.3 Métodos de análisis de circuitos no lineales

1.3.1 Método Analítico del diodo

El método analítico consiste en el análisis directamente algebraico utilizando las ecuaciones de los componentes.

Teniendo en cuenta la premisa del circuito básico con un diodo rectificador el cuál es el siguiente:

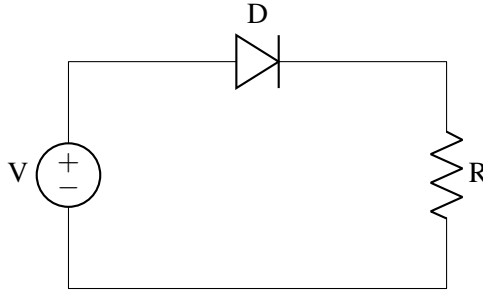


Figura 1.1: Diodo en serie con una resistencia

Para el uso de éste método, utilizaremos la siguiente ecuación, que relaciona I_d con V_d :

$$I_D = I_O \cdot (e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1) \quad (1.1)$$

Para este caso, la corriente que pasa por el circuito también es la que pasa por el diodo, por lo tanto se cumple que:

$$I_D = \frac{V_{in} - V_D}{R} \quad (1.2)$$

Reemplazando en (1):

$$\frac{V_{in} - V_d}{R} = I_O \cdot (e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1) \quad (1.3)$$

Si despejamos esta ecuación con el fin de encontrar a que equivale V_d , para ello usaremos la ecuación sacada del libro.[**Libro_Unidad2**]:

$$V_D = I_O \cdot R + V_{in} - V_t \cdot \ln\left(\frac{e^{\frac{I_O \cdot R + V_{in}}{V_t}} \cdot I_O \cdot R}{V_t}\right) \quad (1.4)$$

Esta ecuación puede ser reemplazada en (2) para conocer el valor de la corriente que pasa por el diodo, entonces pareciera que siempre que se quiera obtener el valor de I_d se puede usar esa fórmula, pero no, existen dos casos:

1. Diodo directo: Cuando el voltaje de entrada es mayor o igual al valor del voltaje del diodo, este se comportará de forma directa, es decir, permitirá el paso de la corriente a costa de una pequeña caída de voltaje.

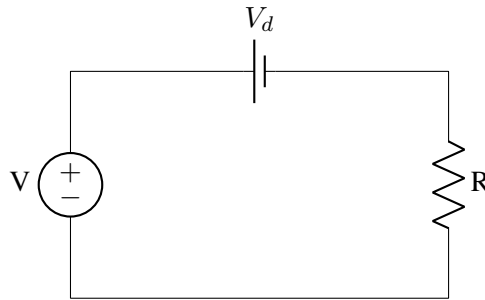


Figura 1.2: Diodo de forma directa

2. Diodo inverso: En este caso, el voltaje de entrada no alcanza el valor de voltaje del diodo, por lo que este se abre (para que se entienda) y no permite el paso de corriente, es decir, actúa como un circuito abierto, en dicho caso, la fórmula presentada anteriormente no podría ser utilizada.

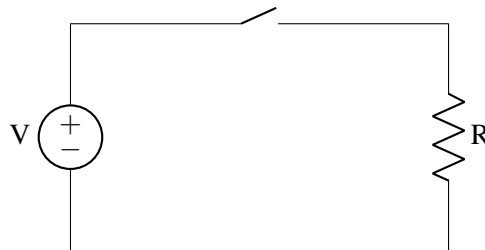
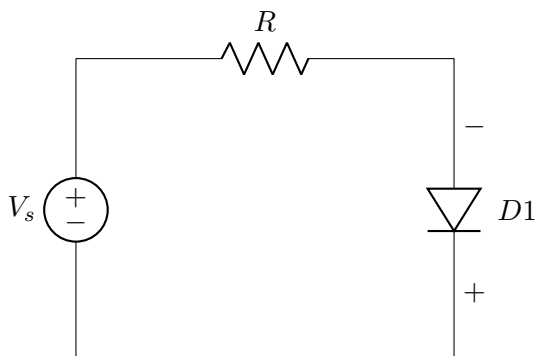


Figura 1.3: Diodo de forma inversa

1.3.2 Método gráfico aplicado a diodo

Para el análisis con el método gráfico utilizaremos el siguiente circuito:



El objetivo de este método es graficar las corrientes de las componentes con respecto al voltaje del diodo, obteniendo así el voltaje del diodo y la corriente del circuito.

Con las respectivas ecuaciones para cada componente:

$$i_D = I_s(e^{\frac{V_d}{V_T}} - 1)$$

$$i_R = \frac{V_R}{R}$$

Donde $V_T = 0,25mV$ a temperatura ambiente $T = 290K$ y $I_s = 10^{-16}$ el cual es una corriente para diodos de circuitos integrados.

Esta ultima se puede reescribir de la siguiente forma: Con

$$V_R = V_s - V_d$$

Por lo que:

$$i_R = \frac{V_s - V_d}{R} = \frac{V_s}{R} - \frac{V_d}{R}$$

Para poder graficar utilizaremos $V_s = 5V$ y $R = 1k\Omega$.

Utilizando estos valores tenemos:

$$i_R = \frac{5}{1000} - \frac{V_d}{1000}$$

Graficando las corrientes:

La recta verde es la corriente del diodo y la roja la de la resistencia.

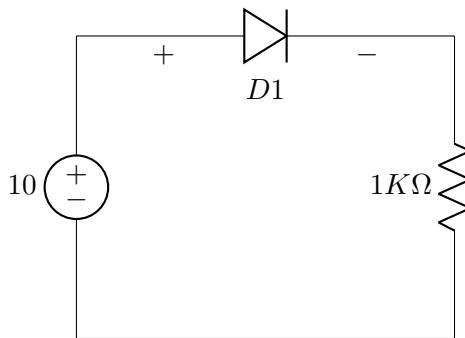
Ahora para encontrar los valores de corriente y voltaje solo tenemos que ver la intersección de las 2 rectas.

Por lo que mirando el gráfico y su intersección tenemos que el V_d es de 1,15V y la corriente en el circuito es de 4mA.

Este método es rápido y fácil de aplicar ya que solo hay que graficar las rectas de los componentes y obtener su intersección, por otra parte también puede ser impreciso ya que el análisis de esta intersección puede tener errores por parte de la persona que lo observa.

1.3.3 Método de circuitos equivalentes aplicado a diodo

El trabajo del método de circuitos equivalentes aplicado a diodos consiste en reemplazar el diodo en el circuito por su circuito equivalente en función de su zona de operación, para el diodo en ON, una fuente de 0,7[V] suponiendo que estamos trabajando con un diodo de Silicio en ON y para el diodo en OFF un circuito abierto. Para aplicar el método utilizaremos el siguiente circuito:



Del cual a simple vista podemos notar que (ecuacion 2):

$$I_D = \frac{V_{in} - V_D}{R} = \frac{10 - V_D}{1} [mA]$$

Y sabiendo que el comportamiento de un diodo es (ecuacion 1):

$$I_D = I_0(e^{\frac{V_d}{V_T}} - 1)$$

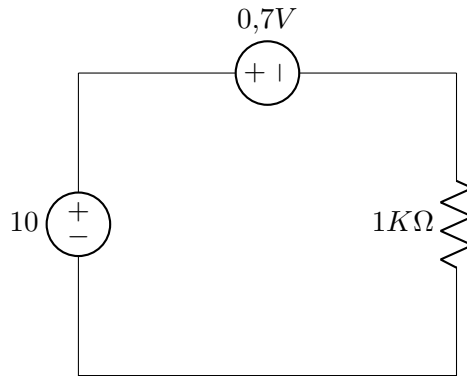
Dividiremos el circuito en 2 casos, estos casos representaran las situaciones del circuito dependiendo de si esta en ON o OFF:

Caso 1): Diodo en ON

En este caso se reemplaza por una fuente de 0,7 [V]:

Como se reemplaza por una fuente de 0.7 [V] podemos acotar lo siguiente:

$$V_R = V_{in} - V_D = 10 - 0,7 = 9,3[V]$$

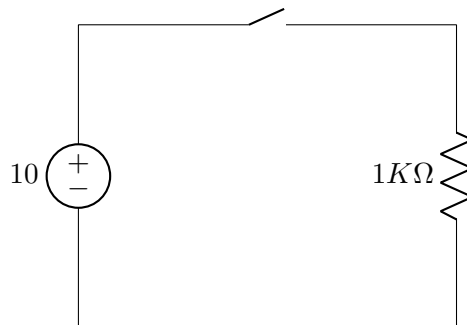
**Figura 1.4:** Caso 1: Diodo en estado ON

Y por tanto:

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{9,3}{1} = 9,3[mA]$$

Caso 2): Diodo en OFF

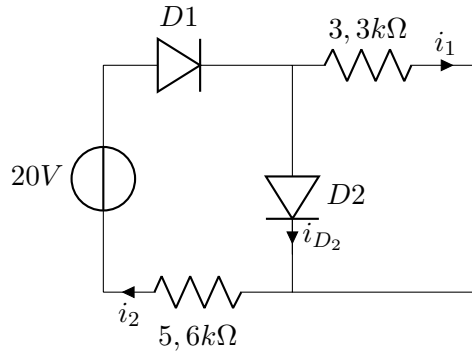
En este caso se reemplaza por un circuito abierto:

**Figura 1.5:** Caso 2: Diodo en estado Off

Para el caso 2, se tiene que V_D nos da un valor de 10V. Si observamos la ecuación 1, y aplicado bajo esta polarización, el circuito tendría que estar en zona directa, lo que implica que su equivalencia para el diodo debiese ser una fuente de 0.7V, que se contradice con el circuito equivalente propuesto. Por lo tanto, para el circuito original, el caso 2 no es una representación.

1.3.4 Análisis circuito con diodo más Resistencia

En esta sección analizaremos el siguiente circuito con 2 diodos y 2 resistencias, el objetivo es encontrar la corriente I_1 , I_2 y I_{D_2} . El análisis de este circuito será ejemplificado con valores numéricos para facilitar el entendimiento del problema

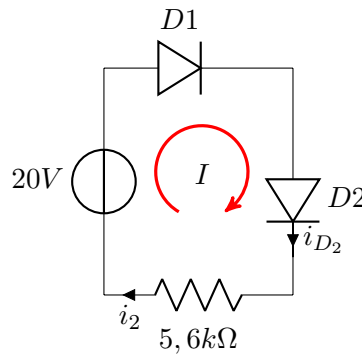


Se realizará un análisis por método de mallas, por lo tanto, es necesario definir la dirección de las corrientes. Es sabido que los diodos son conductores de corriente en un sólo sentido (de ánodo a cátodo), por lo tanto, la definición de la corriente se hará basandonos en este principio. Además, los diodos de este circuito son de silicio, por lo tanto, su voltaje es de aproximadamente 0.7 [V]

Partimos haciendo un análisis en la malla 2, definiendo así la siguiente ecuación:

$$I_1 + I_{D_2} = I_2 \quad (1.5)$$

Es necesario definir la dirección de la corriente para la malla 1, como se muestra en la siguiente figura:



Luego, usando leyes de voltaje de Kirchhoff tenemos:

$$-20 + 0,7 + 0,7 + 5,6 \cdot 10^3 I_2 = 0 \quad (1.6)$$

Despejando y resolviendo la ecuación, obtenemos un valor para la corriente I_2

$$I_2 = \frac{20 - 1,4}{5,6 \cdot 10^3} \quad (1.7)$$

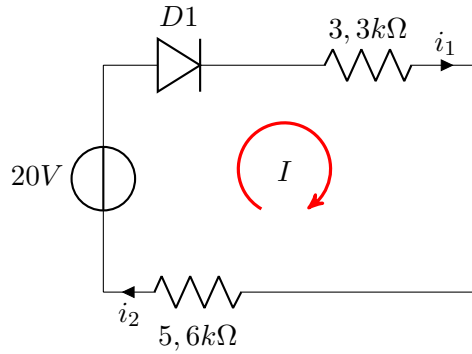
Finalmente, el valor de I_2 :

$$I_2 = 3,32 \cdot 10^3 [A] \quad (1.8)$$

o bien,

$$I_2 = 3,32 [mA] \quad (1.9)$$

Continuando con el análisis, es necesario definir la corriente en el circuito, sin considerar el diodo que se encuentra entre la malla 1 y 2, tal como se muestra en la siguiente figura:



Por leyes de voltaje de Kirchhoff:

$$-20 + 0,7 + 3,3 \cdot 10^3 I_1 + (5,6 \cdot 10^3)(3,32 \cdot 10^{-3}) = 0 \quad (1.10)$$

Despejando la ecuación, obtenemos un valor para I_1

$$I_1 = \frac{20 - 0,7 - 5,6(3,32)}{3,3 \cdot 10^{-3}} \quad (1.11)$$

Entonces,

$$I_1 = 214,5 \cdot 10^{-6} [A] \quad (1.12)$$

o bien,

$$I_1 = 214,5 [\mu A] \quad (1.13)$$

Si volvemos a la ecuación (1), despejando y reemplazando los valores obtenidos en (5) y (9), encontramos la corriente I_{D_2}

$$I_{D_2} = I_2 - I_1 \quad (1.14)$$

$$I_{D_2} = 3,32 \cdot 10^{-3} - 214,5 \cdot 10^{-6} \quad (1.15)$$

Finalmente, el valor de la corriente I_{D_2} será:

$$I_{D_2} = 3,11 \cdot 10^{-3} \quad (1.16)$$

o bien,

$$I_{D_2} = 3,11 [mA] \quad (1.17)$$