

# Introducción al Régimen Transitorio

## Teoría de Circuitos III

Oscar Perpiñán Lamigueiro

① ¿Qué es el régimen transitorio?

② Métodos de resolución

③ Condiciones iniciales

④ Funciones importantes

# Permanente y Estacionario

## Régimen permanente o estacionario

Las tensiones y corrientes de un circuito son constantes (continua) o periódicas (alterna) (circuito estabilizado)

## Régimen transitorio

- ▶ Para alcanzar el régimen permanente (o para alternar entre dos regímenes permanentes) el circuito atraviesa el régimen transitorio.
- ▶ Posibles cambios: activación o apagado de fuentes, cambio en las cargas, cambio en el circuito (línea).
- ▶ En general, el estado transitorio es indeseado en sistemas eléctricos, pero provocado en sistemas electrónicos.

# Acumulación de Energía

## Régimen Permanente

**Energía acumulada en bobinas y condensadores**

## Régimen Estacionario

- ▶ **Redistribución y disipación** de energía acumulada.
- ▶ La redistribución de energía **no** se puede realizar de forma **inmediata**
- ▶ **Duración corta** ( $\mu\text{s}$ ) pero superior a 0, dependiendo de **relación entre acumulación y disipación** (resistencia).

① ¿Qué es el régimen transitorio?

② Métodos de resolución

③ Condiciones iniciales

④ Funciones importantes

# Análisis Clásico

- Formulación de las ecuaciones integro-diferenciales y resolución **directa**.

$$LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + RC \frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$

- Las **condiciones iniciales** determinan las constantes de integración.
- Fácil de aplicar a **circuitos simples** (primer y segundo orden, uno o dos elementos de acumulación).
- No es apropiado para circuitos de orden superior a 2.
- Permite comprensión del funcionamiento del circuito.

# Transformada de Laplace

- ▶ Transforma las ecuaciones integro-diferenciales en ecuaciones algebraicas de una variable compleja.

$$LCs^2 + RCs + 1 = 0$$

- ▶ Incorpora las condiciones iniciales directamente en las ecuaciones algebraicas.
- ▶ Método sistemático y potente, adecuado para cualquier tipo de circuito.

# Variables de estado

- ▶ Método proveniente de la ingeniería de control.
- ▶ Las variables de estado son aquellas que definen la evolución de un sistema.
  - ▶ En circuitos eléctricos: tensión de condensadores, corriente de bobinas.
- ▶ El sistema evoluciona a través de diferentes estados según los cambios en la energía acumulada: **trayectoria del sistema**.
- ▶ Representa el sistema mediante una **ecuación diferencial matricial**:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = f\{\mathbf{x}, \mathbf{u}, t\}$$

- ▶ Método sistemático y potente, adecuado para resolución con ordenador.



① ¿Qué es el régimen transitorio?

② Métodos de resolución

③ Condiciones iniciales

④ Funciones importantes

# Respuesta completa de una red lineal

- ▶ La respuesta completa de una red lineal a un cambio tiene dos componentes:
  - ▶ Respuesta **natural** o propia (sin fuentes, determinada únicamente por la configuración del circuito)
  - ▶ Respuesta **forzada** o particular (determinada por las fuentes existentes,  $t = \infty$ ).

$$f(t) = f_n(t) + f_\infty(t)$$

- ▶ Las constantes de integración de la respuesta natural se determinan con las condiciones iniciales del circuito.

# Condiciones iniciales

- ▶ **Condiciones Iniciales:** estado del circuito en el instante temporal en el que se produce el cambio (p.ej. apertura de interruptor).
- ▶ Este instante temporal se representa habitualmente con  $t = 0$ .

$$t = 0^+ \text{ y } t = 0^-$$

- ▶ El estado previo a la conmutación es  $t = 0^-$ 
  - ▶ La topología del circuito es la anterior al cambio.
- ▶ El estado posterior a la conmutación es  $t = 0^+$ .
  - ▶ La topología del circuito es la posterior al cambio.

# Resistencia

$$u(t) = Ri(t)$$

- ▶ No acumula energía: sigue los cambios de forma instantánea.

# Inductancia

$$u(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(t) dt$$

- La corriente en una bobina no puede variar de forma abrupta (implica tensión infinita).

$$i_L(0^-) = i_L(0^+)$$

# Capacidad

$$i(t) = C \frac{du_C(t)}{dt}$$













$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(t) dt$$

- La tensión en un condensador no puede variar de forma abrupta (implica corriente infinita).

$$u_C(0^-) = u_C(0^+)$$

# Circuitos Equivalentes en $t = 0^+$

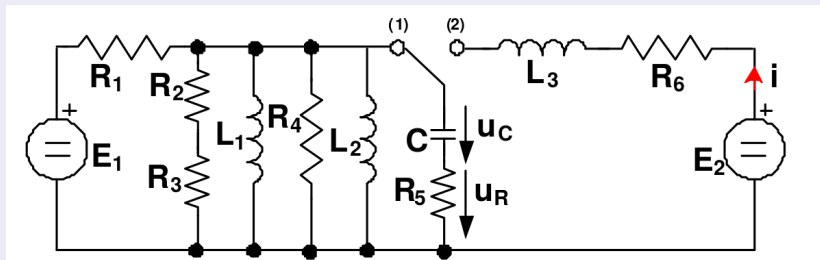
- ▶ Sustituir fuentes de tensión  $u_g(t)$  por  $u_g(0^+)$ .
- ▶ Sustituir fuentes de corriente  $i_g(t)$  por  $i_g(0^+)$ .
- ▶ Sustituir bobinas por fuentes de corriente  $i_L(0^+)$ .
- ▶ Sustituir condensadores por fuentes de tensión  $u_C(0^+)$ .
- ▶ Calcular tensiones y corrientes en circuito.

ELEMENTO	Circuito equivalente inicial ( $t=0^+$ )		Circuito equivalente final (solo con c.c.) $t = \infty$
	CARGADO	DESCARGADO	
			
	$i_L(0^+) = i_L(0^-)$ 	$i_L(0^+) = 0$ 	Cortocircuito 
	$u_C(0^+) = u_C(0^-)$ 	$u_C(0^+) = 0$ 	Circuito abierto 



# Ejemplo

(Sep 2010) El interruptor lleva en la posición (1) desde un tiempo infinito y pasa a la posición (2) en  $t = 0$ .



① ¿Qué es el régimen transitorio?

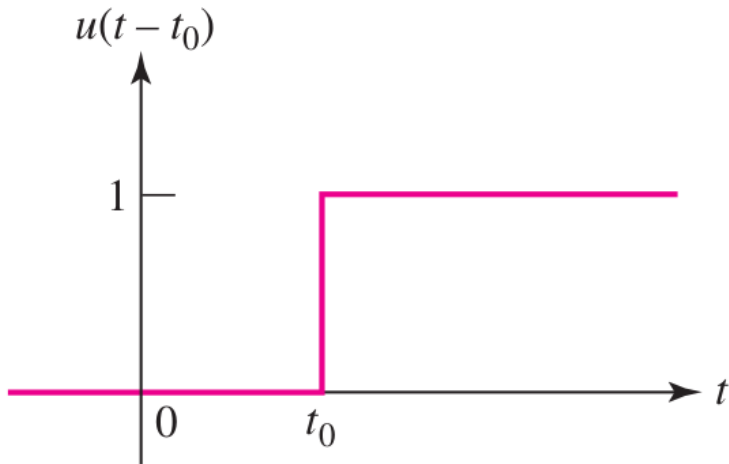
② Métodos de resolución

③ Condiciones iniciales

④ Funciones importantes

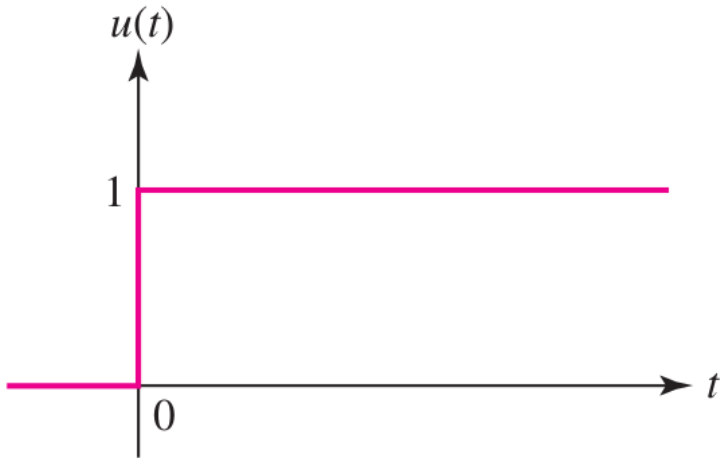
# Función Escalón

$$u(t - t_0) = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ 1 & t > t_0 \end{cases}$$



## Función Escalón ( $t_0 = 0$ )

$$u(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases}$$



# Función Exponencial

- Es igual a su derivada.

$$\frac{de^x}{dx} = e^x$$

- Es la solución habitual de las ecuaciones diferenciales.

$$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \Rightarrow f(t) = Ae^{bt}$$

# Función Exponencial

- ▶ Cuando el exponente es positivo la respuesta crece indefinidamente (circuito inestable).
- ▶ Cuando el exponente es negativo la respuesta decae hasta 0 (circuito estable).

