# Introducción al Régimen Transitorio

## Teoría de Circuitos III

Oscar Perpiñán Lamigueiro

Septiembre 2018

# 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** (µs) pero superior a 0, dependiendo de **relación entre acumulación y disipación** (resistencia).

¿Qué es el régimen transitorio?

Métodos de resolución

Condiciones iniciales

Funciones importantes

# Análisis Clásico

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

$$LC\frac{\mathrm{d}^2u_c}{\mathrm{d}t^2} + RC\frac{\mathrm{d}u_c}{\mathrm{d}t} + u_c = 0$$

- 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**:

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

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

# 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 $t = 0$.

# $t = 0^+$ 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

$$u(t) = L\frac{\mathrm{d}i_L(t)}{\mathrm{d}t}$$

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

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

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

# Capacidad

$$i(t) = C\frac{\mathrm{d}u_C(t)}{\mathrm{d}t}$$

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

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

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

# Circuitos Equivalentes

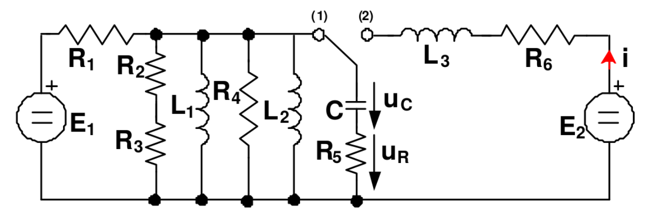
- Sustituir fuentes de tensión $u_g(t)$ por $u_g(0^+)$.
- Sustituir fuentes de corriente $i_g(t)$ por $i_g(0^+)$.
- Sustituir bobinas por fuentes de corriente $i_L(0^+)$.
- Sustituir condensadores por fuentes de tensión $u_C(0^+)$.
- Calcular tensiones y corrientes en circuito.

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

# Ejemplo



**(Sep 2010) El interruptor lleva en la posición (1) desde un tiempo infinito, pasa a la posición (2)**



¿Qué es el régimen transitorio?

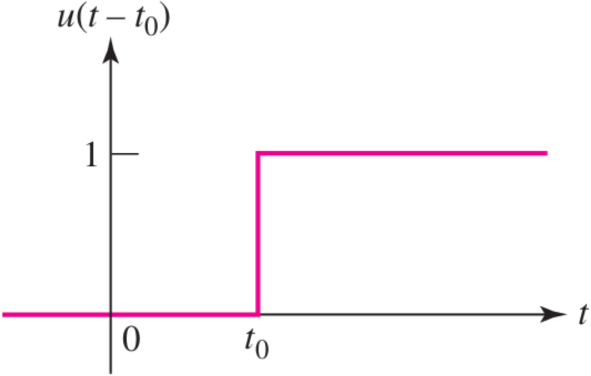
Métodos de resolución

Condiciones iniciales

Funciones importantes

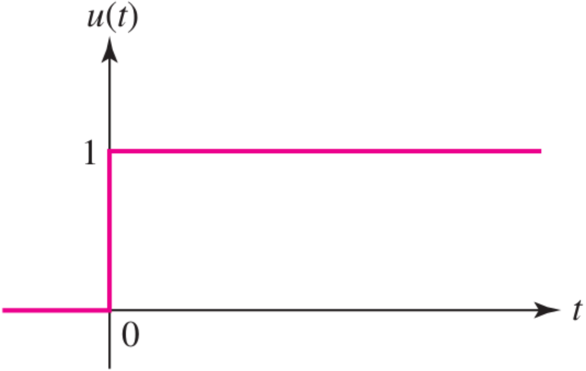
# Función Escalón

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



# Función Escalón ($t_0 = 0$)

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



# Función Exponencial

- Es igual a su derivada.

$$\frac{\mathrm{d}e^x}{\mathrm{d}x} = e^x$$

- Es la solución habitual de las ecuaciones diferenciales.

$$\frac{\mathrm{d}f(t)}{\mathrm{d}t} = bf(t) \Rightarrow f(t) = Ae^{bt}$$

# 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).