

Práctica 5: Circuito RC: regímenes transitorio y estacionario

Objetivo. Estudiar los comportamientos de un circuito RC en dos regímenes de operación distintos: (a) transitorio y (b) estacionario. Para el transitorio, se propone estudiar los procesos de carga y descarga de un capacitor en un circuito RC. Caracterizar ambos determinando qué tipo de evolución temporal presentan, y midiendo los tiempos característicos asociados a cada uno de ellos. Para el estacionario, se busca determinar la respuesta del circuito al excitarlo con una señal periódica, variando la frecuencia de trabajo del sistema.

Temáticas abordadas. Circuitos de corrientes variables en el tiempo, RC, carga y descarga de un capacitor, tiempo característico, filtros pasaaltos y pasabajos

1. Introducción

Considere el circuito RC mostrado en la Figura 1, en el cual el capacitor se encuentra completamente descargado inicialmente y la llave S, abierta. Al cerrarse esta última, la diferencia de potencial V impuesta por la fuente genera una corriente I en el circuito. Esta corriente tendrá el efecto de llevar cargas de signo opuesto a las caras del capacitor. Resulta intuitivo que esta corriente no será constante en el tiempo; en particular esperamos que la misma se anule cuando el capacitor se haya cargado.

Un capacitor de capacidad C conectado a una fuente de tensión V constante adquiere una carga $q = CV$. Esto nos permite conocer la caída de potencial sobre nuestro capacitor. Por otro lado, la ecuación circuital para el circuito RC resulta simplemente:

$$V = RI + \frac{q}{C}, \quad (1)$$

donde tanto la corriente I como la carga q están variando instante a instante, es decir que $I \equiv I(t)$ y $q \equiv q(t)$. Recordemos, por otro lado, que tanto la tensión V de la fuente, la resistencia R del resistor y la capacidad C del capacitor son constantes, dado que describen propiedades de cada uno de dichos elementos. Empleando ahora la definición de corriente,

$$I = \frac{dq}{dt},$$

podemos reescribir la última ecuación en términos de una única función incógnita, ya sea $q(t)$ o $I(t)$. Vamos a elegir reexpresarla en función de $q(t)$, de lo que se obtiene

$$V = R \frac{dq}{dt}(t) + \frac{1}{C}q(t). \quad (2)$$

Esta ecuación es una ecuación diferencial ordinaria de orden 1 para $q(t)$, cuya solución nos dará la evolución temporal (desde un instante inicial dado) de la carga en el capacitor. Para resolverla, debemos especificar además una condición inicial para la carga $q(t)$ en el capacitor. Dado que estamos considerando el caso en el que el mismo se encuentra inicialmente descargado, tenemos

$$q(t = 0) = 0, \quad (3)$$

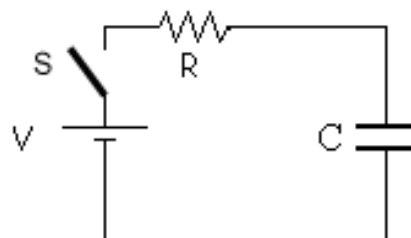


Figura 1. Esquema del circuito RC empleado.

como condición inicial para el proceso de carga.

La ecuación diferencial en derivadas totales para $q(t)$ dada por (2) tiene una solución general de la forma:

$$q(t) = Ae^{-t/\tau} + CV, \quad (4)$$

donde $\tau = RC$ es el tiempo característico del circuito RC, y la constante A se determina de las condiciones del problema particular que se esté considerando. Por ejemplo, si el capacitor está inicialmente descargado, resulta fácil obtener que $A = -CV$, por lo que

$$q(t) = CV \left(1 - e^{-t/\tau}\right),$$

por lo que la corriente en función del tiempo resulta

$$I(t) = \frac{V}{R} e^{-t/\tau}.$$

En base a esto, plantee cómo serían las ecuaciones que describen la descarga del capacitor, reemplazando para ello la fuente por un cortocircuito.

– Circuito RC –

2. Carga y descarga de un capacitor

En esta primera etapa se estudia el proceso de carga y descarga del capacitor.

2.1. Midiendo en forma manual con multímetro

De realizar la experiencia con cronómetro, se sugiere elegir valores de R y C de manera tal que el producto RC sea igual o superior a 100 segundos. De esta forma los procesos de carga y descarga son lo suficientemente lentos como para poder tomar los datos manualmente.

2.2. Midiendo a través de la placa de adquisición SensorDAQ

En cualquiera de las dos modalidades que se elija medir, se busca responder las siguientes preguntas:

- Cuál es el tiempo característico (de carga y descarga) que se obtiene de las mediciones? Es el mismo para ambos procesos?
- Cuál es el valor de tensión que se alcanza al llegar al régimen estacionario?
- En el proceso de descarga, sobre que elemento disipativo se descarga el capacitor?
- Es posible estimar la resistencia interna del multímetro?

Repetir las mediciones utilizando otro valor de tensión de trabajo V' para la fuente. Observa cambios en el tiempo característico producto de esta modificación?

3. Respuesta estacionaria

En esta parte de la práctica reemplazaremos la fuente de tensión constante por una de tensión alterna. Estudiaremos la respuesta del sistema cuando se excita con distintas frecuencias. Para ello se utiliza un generador de funciones como fuente de tensión alterna y un osciloscopio para medir las señales de interés.

3.1. Filtro pasabajos; circuito integrador

Para esta instancia se sugieren elegir valores de R y C de manera que su producto sea del orden de $100\ \mu\text{s}$. Aplicando una señal sinusoidal de amplitud de 5 Volts, estudie la respuesta del sistema en función de la frecuencia.

Grafique luego el cociente entre las amplitudes de la señal de salida y la de entrada como función de la frecuencia $f = \omega/(2\pi)$. Intente determinar el desfase ϕ entre la señal de entrada y la de salida; que puede definirse como $\phi = \omega\Delta t$. Estudie como varía este desfase en función de la frecuencia f .

A continuación cambie la forma de onda de la señal de entrada a una onda cuadrada. Nuevamente, estudie la forma de la señal de salida en función de la frecuencia. Existe alguna relación entre ambas? Intente describir mediante los modelos propuestos los resultados experimentales obtenidos.

3.2. Filtro pasaaltos; circuito derivador

Repita las mediciones tomadas en el caso anterior, pero esta vez midiendo la diferencia de tensión (o caída de potencial) sobre el resistor. Discuta las similitudes y diferencias.

Referencias

1. M. Alonso and E.J. Finn. *Física: Campos y ondas*, volume 2 of *Física*. Editorial Pearson Educación, 1998.
2. E.M. Purcell. *Electricidad y magnetismo*, volume 2 of *Berkeley Physics Course*. Editorial Reverté, 1988.
3. J.R. Reitz, F.J. Milford, and R.W. Christy. *Fundamentos de la teoría electromagnética*. Pearson Educación. Editorial Pearson Educación, 1996.
4. F.R. Trelles. *Temas de electricidad y magnetismo*. Ediciones previas. Editorial EUDEBA, 1984.