

# Circuitos RC

Alcocer David , Arevalo Katherine y Suntaxi Juan

**Resumen – El presente documento está destinado al estudio y análisis de un circuito RC con el fin de determinar como un capacitador varía su diferencia de potencial, el comportamiento y los diferentes fenómenos físicos que se presentan en dichos circuitos. Además, se abordara la localización de fallas, una introducción a los número complejos que nos permitirá expresar matemáticamente una cantidad fasorial.**

**Los temas que se abarcaran son: Circuitos en serie, circuitos en paralelo, circuitos en serie paralelo, y temas especiales.**

## Índice de Términos – Circuito RC, Cantidad fasorial

### I. INTRODUCCIÓN

Este artículo esta implementado para comprender cual es el comportamiento de un circuito en corriente alterna y como se llega a estudiar dicho circuito conformado por capacitancias y resistores en su mayoría, como se estudia si este circuito se encuentra en serie o paralelo o en combinación serie paralelo.

Se estudian las potencias verdadera, reactiva y aparente en circuitos RC y se introducen algunas aplicaciones básicas de circuitos RC. Las aplicaciones de circuitos RC incluyen filtros, acoplamiento de amplificadores, osciladores, y circuitos modificadores de ondas.

### II. MARCO TEÓRICO

#### CIRCUITOS EN SERIE CON UNA INTRODUCCIÓN A LOS NÚMEROS COMPLEJOS

##### El sistema de los números complejos

Documento recibido el 23 de febrero de 2021. Este trabajo fue realizado de manera gratuita, mediante el uso del sitio web tinkercad.

A. D. El autor pertenece a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Pichincha, Ecuador (e-mail: dsalcocer@espe.edu.ec).

A. K El autor pertenece a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Pichincha, Ecuador (e-mail: ktarevalo@espe.edu.ec).

S. J El autor pertenece a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Pichincha, Ecuador (e-mail: jpsuntaxi1@espe.edu.ec).

Los números complejos permiten realizar operaciones matemáticas con cantidades fasoriales y son muy útiles en el análisis de circuitos de ca. Con el sistema de los números complejos, se puede sumar, restar, multiplicar y dividir cantidades que tienen tanto magnitud como ángulo, tales como las ondas seno y otras cantidades de circuitos de ca.

##### Números positivos y números negativos

Los números positivos están representados por puntos que se localizan a la derecha del origen sobre el eje horizontal de una gráfica, y los números negativos son representados mediante puntos que se ubican a la izquierda del origen.

##### El plano complejo

Para distinguir entre valores localizados en el eje horizontal y en el eje vertical, se utiliza un plano complejo. En éste, al eje horizontal se le llama eje real, y al eje vertical se le denomina eje imaginario. En el trabajo con circuitos eléctricos, se utiliza un prefijo j para designar números que quedan sobre el eje imaginario y distinguirlos así de los números localizados sobre el eje real. Este prefijo se conoce como operador j.

##### Posición angular en el plano complejo

El eje real positivo representa cero grados. Prosiguiendo en sentido contrario al de las manecillas del reloj, el eje j representa  $90^\circ$ , el eje real negativo representa  $180^\circ$ , el eje j corresponde a  $270^\circ$ , y, tras una rotación completa de  $360^\circ$ , se regresa al eje real positivo.

##### Representación de un punto en el plano complejo

Un punto localizado en el plano complejo se clasifica como real, imaginario (j), o como una combinación de los dos tipos. Cuando un punto no está situado sobre cualquier eje sino en alguna parte de uno de los cuatro cuadrantes, es un número complejo y está definido por sus coordenadas.

##### Formas rectangular y polar

Las formas rectangular y polar son dos formas de números complejos que se utilizan para representar cantidades fasoriales. Cada una tiene ciertas ventajas cuando se utiliza en análisis de circuitos, según la aplicación particular. Una cantidad fasorial contiene tanto magnitud como posición angular o fase.

##### Forma rectangular

Una cantidad fasorial se representa en forma rectangular mediante la suma algebraica del valor real (A) de la

coordenada y del valor  $j$  ( $B$ ) de la coordenada, expresado en la siguiente forma general:

$$A + jB$$

### Forma polar

Las cantidades fasoriales también se pueden expresar en forma polar, la cual se compone de la magnitud fasorial ( $C$ ) y la posición angular con respecto al eje real positivo ( $\theta$ ), expresado en la siguiente forma general:

$$C \angle \pm \theta$$

### RESPUESTA SINUSOIDAL DE CIRCUITOS RC EN SERIE

Cuando se aplica un voltaje sinusoidal a un circuito RC dispuesto en serie, las caídas de voltaje y de corriente resultantes en el circuito son también sinusoidales y tienen la misma frecuencia que el voltaje aplicado. La capacitancia provoca un desplazamiento de fase entre el voltaje y la corriente, el cual depende de los valores relativos de la resistencia y la reactancia capacitiva.

### IMPEDANCIA DE CIRCUITOS RC EN SERIE

La impedancia de un circuito RC en serie consta de resistencia y reactancia capacitiva y es la oposición total a la corriente sinusoidal. Su unidad es el ohm. La impedancia también provoca una diferencia de fase entre la corriente total y el voltaje de fuente. Por consiguiente, la impedancia se compone de una magnitud y un ángulo de fase.

### ANÁLISIS DE CIRCUITOS RC EN SERIE

La ley de Ohm y la ley del voltaje de Kirchhoff se utilizan en el análisis de circuitos RC dispuestos en serie para determinar voltaje, corrientes e impedancia. Además, se examinan circuitos RC de adelanto y retraso.

### Ley de Ohm

La aplicación de la ley de Ohm a circuitos RC dispuestos en serie implica el uso de las cantidades fasoriales  $Z$ ,  $V$  e  $I$ . Tenga en cuenta que el uso de letras rectas en negritas señala que se trabaja con cantidades fasoriales en donde se incluyen tanto magnitud como ángulo. Las tres formas equivalentes de la ley de Ohm son las siguientes:

$$V = IZ$$

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$Z = \frac{V}{I}$$

### Relaciones de fase de corriente y voltajes

En un circuito RC dispuesto en serie, la corriente es la misma a través tanto del resistor como del capacitor. Por tanto, el voltaje en el resistor está en fase con la corriente y el voltaje en el capacitor va retrasado en  $90^\circ$  con respecto a la corriente.

### Variación de la impedancia y del ángulo de fase con la frecuencia

La reactancia capacitiva varía inversamente con la frecuencia. Dado que

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Cuando  $X_C$  se incrementa, todo el término dentro del signo de raíz cuadrada también lo hace, y por tanto, la magnitud de la impedancia total también aumenta y cuando  $X_C$  disminuye, asimismo disminuye la magnitud de la impedancia total. Por consiguiente, en un circuito RC,  $Z$  es inversamente dependiente de la frecuencia.

### El circuito RC de retraso

Un circuito RC de retraso es un circuito de desplazamiento de fase en el cual el voltaje de salida se retrasa con respecto al voltaje de entrada en una cantidad específica.

### El circuito RC de adelanto

Un circuito RC de adelanto es un circuito de desplazamiento de fase en el cual el voltaje de salida se adelanta al voltaje de entrada en una cantidad especificada. Cuando la salida de un circuito RC en serie se toma a través del resistor en lugar de a través del capacitor.

### CIRCUITOS RC EN PARALELO.

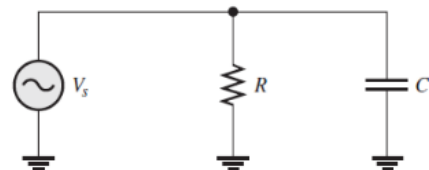


Figura. Esquema de un circuito RC sencillo.

La impedancia total del circuito viene dada por la expresión:

$$Z = \frac{R X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \angle \tan^{-1} \left( \frac{R}{X_C} \right)$$

Conductancia ( $G$ ) es el recíproco de la resistencia:

$$G = \frac{1}{R \angle 0^\circ}$$

Susceptancia capacitiva ( $B_C$ ) es el recíproco de la reactancia capacitiva:

$$B_C = \frac{1}{X_C \angle -90^\circ} = +jB_C$$

Admitancia ( $Y$ ) es el recíproco de la impedancia:

$$Y = \frac{1}{Z \angle \pm \theta} = G + jB_C$$

La ley de Ohm para admitancia

$$V = IZ = \frac{I}{Y}$$

El voltaje aplicado, VS, aparece a través de las ramas resistivas como de las capacitivas, por lo cual VS, VR y VC están en fase y su magnitud es igual.

$$I_{Total} = I_R + jB_C = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \angle \tan^{-1} \left( \frac{I_C}{I_R} \right)$$

Donde  $\sqrt{I_R^2 + I_C^2}$  es la magnitud de la corriente.

Para transformar un circuito paralelo a un equivalente en serie. Son equivalentes cuando los dos tienen la magnitud de la impedancia y el ángulo de fase idénticos, para una frecuencia dada. Se usa las siguientes expresiones:

$$R_{eq} = Z \cos \theta$$

$$X_{C(eq)} = Z \sin \theta$$

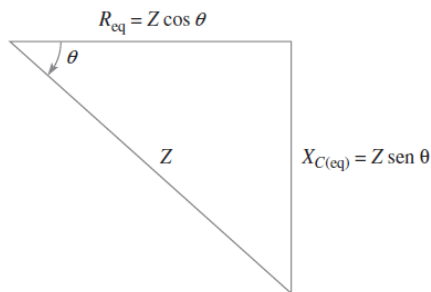


Figura. Triángulo de apoyo para la transformación paralelo a serie.

## TEMAS ESPECIALES

### Potencia en circuitos R<sub>c</sub>

La carga de un sistema eléctrico de CA ordinario posee componentes tanto resistivos como reactivos (inductivo o capacitivos).

La potencia real, también conocida como potencia activa (P) es consumida por cargas resistivas. La potencia reactiva (Q) es consumida por cargas inductivas o generada por cargas capacitivas.

La potencia aparente (S) es la capacidad del sistema de alimentación objeto de medición de proporcionar potencia activa y reactiva.

Las unidades de potencia de la potencia real P son vatios (W o kW), de la potencia reactiva Q son vares (VAR o kVAR) y de la potencia aparente S son voltamperios (VA o kVA).

### Aplicaciones básicas

#### El oscilador de desplazamiento de fase

Es un circuito que genera una forma de onda periódica, y resulta muy importante en muchos sistemas electrónicos. Se estudiarán los osciladores en cursos de dispositivos, por lo

cual aquí el enfoque se concentra en la aplicación de circuito RC para desplazamiento de fase. El requerimiento es que una fracción de la salida del oscilador sea regresada hacia la entrada (llamada “retroalimentación”) en la fase apropiada para reforzar la entrada y mantener las oscilaciones. Por regla general, el requerimiento es retroalimentar la señal con un total de 180° de desplazamiento de fase.

### Localización de fallas

Las fallas o la degradación de algunos componentes típicos afectan la respuesta a la frecuencia en circuitos RC básicos

- Efecto de un resistor abierto
- Efecto de un capacitor abierto
- Efecto de un capacitor en cortocircuito

## III. DESARROLLO

8. Convierta cada uno de los siguientes números rectangulares a forma polar:

(a)  $40 - j40$

Determinamos la magnitud del fasor.

$$C = \sqrt{A^2 + B^2}$$

donde,

A: es el valor real

B: es el valor j

$$C = \sqrt{40^2 + (-40)^2} \rightarrow C = 40\sqrt{2} \rightarrow C = 58.57$$

Como el fasor está en el cuarto cuadrante, entonces

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{B}{A} \right) \rightarrow \theta = \tan^{-1} \left( \frac{-40}{40} \right) \rightarrow \theta = -45^\circ$$

$\theta$  es el ángulo con respecto al eje real positivo. La forma polar de  $40 - j40$  es

$$C \angle \theta = 58.57 \angle -45^\circ$$

(b)  $50 - j200$

Determinamos la magnitud del fasor.

$$C = \sqrt{A^2 + B^2}$$

donde,

A: es el valor real

B: es el valor j

$$C = \sqrt{50^2 + (-200)^2} \rightarrow C = 50\sqrt{17} \rightarrow C = 206.16$$

Como el fasor está en el cuarto cuadrante, entonces

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{B}{A} \right) \rightarrow \theta = \tan^{-1} \left( \frac{-200}{50} \right) \rightarrow \theta = -75.96^\circ$$

$\theta$  es el ángulo con respecto al eje real positivo. La forma polar de  $50 - j200$  es

$$C \angle \theta = 206.16 \angle -75.96^\circ$$

(c)  $35 - j20$

Determinamos la magnitud del fasor.

$$C = \sqrt{A^2 + B^2}$$

donde,

A: es el valor real

B: es el valor j

$$C = \sqrt{35^2 + (-20)^2} \rightarrow C = 5\sqrt{65} \rightarrow C = 40.31$$

Como el fasor está en el cuarto cuadrante, entonces

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right) \rightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{-20}{35}\right) \rightarrow \theta = -29.74^\circ$$

$\theta$  es el ángulo con respecto al eje real positivo. La forma polar de  $35 - j20$  es

$$C \angle \theta = 40.31 \angle -29.74^\circ$$

(d)  $98 + j45$

Determinamos la magnitud del fasor.

$$C = \sqrt{A^2 + B^2}$$

donde,

A: es el valor real

B: es el valor j

$$C = \sqrt{98^2 + 45^2} \rightarrow C = 107.8$$

Como el fasor está en el primer cuadrante, entonces

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right) \rightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{45}{98}\right) \rightarrow \theta = 24.66^\circ$$

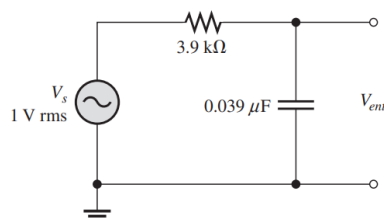
$\theta$  es el ángulo con respecto al eje real positivo. La forma polar de  $98 + j45$  es

$$C \angle \theta = 107.8 \angle 24.66^\circ$$

34. Para el circuito de retraso de la figura 15-91, determine el desplazamiento de fase entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida para cada una de las siguientes frecuencias:

(a) 1 Hz

► FIGURA 15-91



$$f = 1 \text{ Hz}, R = 3.9 \text{ k}\Omega, C = 0.039 \text{ }\mu\text{F}, V_e =$$

a)  $1 \text{ V}_{rms}$

$$X_c = \frac{1}{2 * \pi * 1 * 0.039} = 4080.9 \text{ k}\Omega$$

$$V_{sal} = \left( \frac{3.9}{\sqrt{3.9^2 + 4080.9^2}} \right) * 1 = 0.956 \text{ mV}_{rms}$$

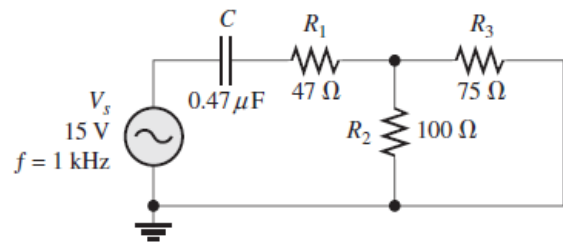
$$\phi = -\tan^{-1}\left(\frac{4080.9}{3.9}\right) = -89.95^\circ$$

$$V_{sal} = 0.956 \angle -89.95^\circ \text{ mV}_{rms}$$

El voltaje de salida se retrasa  $89.95^\circ$  respecto al de entrada.

Potencia

Determine  $P_{real}$ ,  $P_r$ ,  $P_a$ , y  $FP$  para el circuito de la figura 15-101..



$$R_T = 47 + \frac{(100)(75)}{100 + 75} = 89.86 \Omega$$

Reactancia

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(1 \text{ kHz})(0.47 \mu\text{F})} = 338.62 \Omega$$

La impedancia

$$Z = R - jX_c$$

$$Z = 89.86 - j338.62$$

Forma polar

$$Z = 350 \angle -75.14^\circ$$

Fasor de potencias

$$PF = \cos \theta = \cos(-75.14^\circ) = 0.26$$

Corriente Magnitud

$$I = \frac{V_s}{Z} = \frac{15}{350.34} = 0.04 \text{ A}$$

Potencia real

$$P_{real} = VI \cos \theta = 15(0.04)(0.26) = 0.156 \text{ W}$$

$$P_a = VI = 15(0.04) = 0.6$$

$$P_r = I_c^2 * X_c = (0.04)^2(338.62) = 0.66 \text{ VAR}$$

#### IV. CONCLUSIONES

En fin para analizar un circuito de corriente alterna se tiene presente los métodos aprendidos anteriormente en corriente directa para llegar a solucionar un circuito y obtener un análisis eficiente se debe tener en cuenta como generar impedancias, conductancias y sobre todo tener entendido que en el circuito se llega a estudiar la resistencias complejas en si se aplica el mismo método ya sea divisor de voltaje ley de Ohm pero teniendo en cuenta que ya se trabaja con magnitud y ángulo de fase ya sea para obtener voltajes ,corrientes , potencia , los circuitos en el caso de

obtener la potencia se analiza por separado los elementos ya sea la resistencia o los capacitores y finalmente obteniendo la corriente total en el circuito a analizar se representa de manera polar.

Para los circuitos RC en paralelo siempre es necesario calcular primero las características que permiten el flujo de corriente antes de las que se oponen a dicho flujo. Esto se debe a que la expresión de la impedancia, la cual indica la oposición, está en función de las que sí permiten el flujo. Y este se puede relacionar con los circuitos en DC, donde las resistencias en paralelo actúan como divisores de corriente.

Katherine Arevalo Aguilar nació en Ibarra, Ecuador el 1 de abril de 1999. Cursando la carrera de ingeniería mecatrónica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

## V. RECOMENDACIONES

Entendimiento de cómo funciona la parte real de los circuitos, manejo de números complejos.

Obtener más información de diferentes libros para que se llegue a una mejor comprensión del tema, realizar ejercicios para despejar dudas sobre el tema.

## APÉNDICE

Proteus es una aplicación para la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño del esquema electrónico, programación del software, construcción de la placa de circuito impreso, simulación de todo el conjunto, depuración de errores, documentación y construcción.

Tinkercad es un software gratuito online creado por Autodesk es una sencilla aplicación en línea de diseño impresión 3D que todos pueden usar. El objetivo de tinkercad es ofrecer una herramienta online de diseño e impresión 3D de manera fácil. Una de sus ventajas es la interfaz de trabajo ya que es intuitiva y atractiva para el usuario. Una desventaja del software es que no se puede trabajar si el usuario no cuenta con una conexión a internet.

## RECONOCIMIENTO

D.A. agradece al Sr. Ingeniero Edwin Alulema por impartir las clases de Fundamentos de Circuitos Electrónicos procurando la plena comprensión de los estudiantes.

K.A. agradecimientos del autor para el ingeniero por facilitar su conocimiento sobre el tema.

## REFERENCIAS

- [1] Floyd, Thomas L., (2007). *Principios de circuitos eléctricos*. México. PEARSON EDUCACIÓN.

## Biografía Autor(es)

David Alcocer Ojeda, nació en Quito, Ecuador el 4 de julio de 1998. Actualmente está estudiando la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.