

Ampliación de las capacidades de cálculo del analizador simbólico AnSiRE: Cálculo de estabilidad y pasividad de los circuitos

Expansion of the calculation capabilities of the AnSiRE Symbolic analyzer: Stability and passivity calculation of the circuits

Araujo-Ruza, Francisco Javier*; **Viloria-Manzanilla, Francisco**; **Bustamante-Rodríguez, Julio**
Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Mérida - Venezuela.
araujoru@ula.ve

Resumen

El presente proyecto se basa en la construcción de una serie de rutinas apoyadas en técnicas de representación y solución matemática en conjunto con teoremas y criterios de la teoría de circuitos, todo esto a través de algoritmos y estructuras de datos, así como, la creación de distintas funciones para realizar las operaciones simbólicas y numéricas para los cálculos de estabilidad y pasividad de redes eléctricas. Todo lo antes señalado constituye parte esencial del software y con ello una nueva ampliación de las capacidades de cálculo de AnSiRE (Analizador Simbólico de Redes Eléctricas). La ampliación de esta capacidad incluye el análisis de estabilidad que se realiza mediante el criterio de Routh-Hurwitz, mientras, el análisis de pasividad se realiza por medio de la condición de las Funciones Reales Positivas. Las salidas del programa incluyen un análisis detallado del comportamiento del circuito y a su vez diagramas y gráficas para la comprensión de los resultados. El proyecto se implementó en lenguaje de programación C de manera estructurada, utilizando el compilador Qt Creator en la versión 5.12.0 (Community) bajo el sistema operativo de Microsoft Windows 8.1.

Palabras claves: AnSiRE, estabilidad, Routh-Hurwitz, pasividad, funciones reales positivas.

Abstract

The following project is based on the construction of a series of routines, supported by techniques of representation and mathematical solution together with theorems and criteria of circuit theory, all this through algorithms and data structures, as well as the creation of different functions to perform symbolic and numerical operations for calculations of stability and passivity of electrical networks. All of the above is an essential part of the software and with it new extension of the calculation capabilities of AnSiRE (Symbolic Analyzer of Electrical Networks). The extension of this capacity includes the stability analysis that is carried out using the Routh-Hurwitz criterion, while the passivity analysis through the condition of the Real Positive Functions. The outputs of the program include a detailed analysis of the behavior of the circuit and in turn diagrams and graphs for the comprehension of the results. The project was implemented in programming language C, in a structured way, using the Qt Creator compiler in version 5.12.0 (Community), under the Microsoft Windows 8.1 operating system.

Key words: AnSiRE, stability, Routh-Hurwitz, passivity, positive real functions

1 Introducción

La carrera de Ingeniería Eléctrica tiene como objetivo principal formar profesionales universitarios integrales con alta capacidad científica, para desempeñarse de manera creativa, innovadora, reflexiva, ética y con valores en la planificación, diseño, ejecución, prueba, operación y mantenimiento de sistemas y equipos de generación, transmisión, distribución, comercialización y utilización de la energía eléctrica, considerando aportes científicos, técnicos, socioeconómicos y ambientales (Comisión Curricular 2018)

Para lograrlo, es necesario que el estudiante adquiera competencias tanto generales como específicas descritas por la Comisión Curricular encargada del Rediseño de la carrera Ingeniería Eléctrica con salida intermedia de Técnico Superior Universitario en Electricidad (2018), entre las que destacan el diseño, simulación, montaje y realización de pruebas de los prototipos y sistemas; así como el diseño, ejecución y evaluación de proyectos de instalaciones eléctricas, sistemas de distribución, subestaciones y líneas de transmisión de potencia eléctrica y sus respectivos planes de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar un funcionamiento eficiente y su conservación.

Estas competencias buscan ser desarrolladas a través del modelo de desarrollo curricular basado en las cuatro líneas del Modelo Educativo de la Universidad de Los Andes (2013): la formación integral; la formación basada en competencias; el proceso educativo centrado en el aprendizaje significativo del estudiante; y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) en el proceso de la enseñanza y del aprendizaje (Comisión Curricular 2018)

En este sentido, se busca entonces, un cambio de paradigmas en el proceso de enseñanza-aprendizaje, dado que ahora, se procura que el estudiante sea corresponsable de su educación, en tanto que el profesor, pasa a ser guía o tutor de este proceso, para lo cual es inminente el uso de las TIC's.

Sin embargo, la aparición del SARS-Cov2 y la rápida propagación del COVID-19 a nivel mundial, con alarmantes cifras de morbilidad y mortalidad, que ha ido presentando un comportamiento de tendencia creciente en nuestro país especialmente en el tercer trimestre del año en curso, ha generado la necesidad de incluir el componente virtual o a distancia en todos los niveles de educación, lo que conlleva a la introducción del uso de las TIC's de manera preteritoria.

Así, tanto estudiantes como docentes han tenido que adaptar sus métodos para garantizar el proceso de enseñanza-aprendizaje, y es por ello que cobra más fuerza la necesidad de desarrollar técnicas para ir a la procura del desarrollo de las competencias específicas mencionadas previamente.

En el modelo de educación a distancia que busca implementarse en la Universidad de Los Andes, la no presencialidad puede jugar un papel determinante, y, lamentablemente en contra, sobre el rendimiento estudiantil, puesto que, por la situación de pandemia

mundial, el abrupto cambio de modelo puede, entre otras cosas, generar resistencia tanto en estudiantes como en docentes.

Una de los principales aspectos de dicha resistencia está relacionado con las limitadas oportunidades que -bajo esta situación coyuntural- los estudiantes tienen para acceder a las bibliotecas y/o consultas con el docente, lo que incide directamente sobre la consolidación del proceso de enseñanza-aprendizaje, haciendo inminente la necesidad de incorporar nuevas herramientas que permitan al estudiante asimilar los contenidos prácticos de las asignaturas.

En este punto, es importante considerar las preguntas que todo estudiante se hace mientras diseña, simula, monta y realiza pruebas de los prototipos y sistemas: ¿los resultados obtenidos son reales?, es decir, ¿hay coherencia en los planteamientos?, ¿son alcanzables y realizables?, ¿son verificables? Y, es precisamente, esta última interrogante la que determina la consolidación exitosa del proceso de enseñanza-aprendizaje. De allí que, el estudiante necesita contar con herramientas que cumplan con la función de verificar la coherencia de los resultados obtenidos en sus simulaciones y pruebas de prototipos de circuitos.

Una de estas herramientas es el análisis simbólico, que es el proceso mediante el cual se pueden obtener las expresiones simbólicas de voltaje y corriente de las funciones de red, diagrama de polos y ceros, análisis en el dominio de la frecuencia y del tiempo (transitorios) y las expresiones de ganancia de tensión y/o corriente.

Existen programas de simulación simbólica como SAPWIN, SSPICE, SCAM, TYNA entre otros, que son utilizados tanto en ambientes académicos como industriales para el diseño de circuitos. Estos simuladores simbólicos de circuitos son herramientas capaces de recibir la información de un circuito, procesar su tipología mediante un archivo de texto conocido como la *netlist* del circuito o por medio de una interfaz gráfica, para así determinar la respectiva expresión simbólica que se desee del circuito.

Sin embargo, estos simuladores simbólicos de circuitos, a pesar de ser poderosas herramientas de cálculo, no permiten la verificación de las condiciones de estabilidad y pasividad de un circuito para determinar si es aprovechable y su aplicabilidad en la síntesis de redes, lo que limita su uso, especialmente entre los usuarios (estudiantes) que no posean una amplia experiencia en este tipo de análisis.

Con base en estas premisas, se sustenta la necesidad de realizar la ampliación de las capacidades de cálculo del Analizador Simbólico AnSiRE (Sotelo 2017; Escalante 2019), con la finalidad de realizar el cálculo de estabilidad y pasividad de los circuitos, permitiendo entonces, obtener resultados reales, coherentes y verificables, aún por usuarios con experiencia básica en el diseño de circuitos.

Es por ello que la presente investigación se inicia con la revisión teórica de las metodologías para el análisis simbólico de circuitos, continua con el reconocimiento de la operatividad general del AnSiRE para determinar las ampliaciones de las capacidades de cálculo a lugar, para

luego realizar el diseño e implementación del cálculo de estabilidad y pasividad, y los correspondientes resultados.

2 Metodología

2.1 Metodología para el análisis simbólico de circuitos

El análisis de circuitos es un elemento fundamental para el diseño e implantación de circuitos eléctricos, electrónicos e integrados de manera correcta. El cálculo simbólico de expresiones de voltaje y corriente en circuitos eléctricos y electrónicos con gran cantidad de elementos, ha sido siempre un problema difícil de solucionar y requiere gran cantidad de recursos informáticos. El desarrollo de las ciencias de la computación ha permitido la construcción de algoritmos para el análisis de circuitos, siendo los simuladores una herramienta fundamental para la simplificación del cálculo y el mejoramiento de la capacidad de análisis de circuitos complejos obteniéndose una respuesta numérica o gráfica. Sin embargo, los analizadores simbólicos permiten, además, el manejo de expresiones como funciones de transferencia, funciones de excitación, diagramas de polo-cero, diagramas de Bode, entre otras. (Roldán 2010, Sotelo 2017)

El análisis simbólico de circuitos es un proceso mediante el cual se obtienen las expresiones simbólicas de voltaje y corriente, lo que permite hallar las funciones de red, diagrama de polos y ceros, y análisis en el dominio de la frecuencia. Este tipo de análisis permite hallar las expresiones de ganancia de tensión y/o corriente, además de conocer los voltajes en los nodos y corrientes en las ramas, en función de los elementos que constituyen el circuito. En los últimos años, el análisis simbólico ha tomado mucho interés debido a la demanda masiva de los mismos y el crecimiento de las capacidades de las herramientas de computación, dando como resultado programas de simulación simbólica como SAPWIN, SSPICE, SCAM, TYNA, entre otros. (Sotelo 2017)

2.2 AnSiRE

El AnSiRE (Analizador Simbólico de Redes Eléctricas) es un programa desarrollado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Los Andes, que cuenta con un algoritmo capaz de analizar y resolver configuraciones circuitales. El programa está conformado por distintas funciones que realizan las operaciones simbólicas y numéricas basándose en la idea del análisis simbólico de circuitos, mediante el cual se pueden obtener las expresiones simbólicas de voltaje, corriente y funciones de red. El método usado para desarrollar AnSiRE y su algoritmo es el de Análisis Nodal Modificado (ANM), que establece un sistema de ecuaciones que gobierna el comportamiento de un circuito eléctrico, método ampliamente usado en los programas. Aplica para elementos pasivos RLC, fuentes de corriente y/o tensión, independientes y controladas, amplificadores operacionales, transformador ideal y por acoplamiento magnético (Sotelo 2017), posteriormente se incluyó

interruptores controlados por tiempo, condiciones iniciales en los elementos reactivos y se mejoraron las fuentes de tensión y corriente para incluir fuentes variables en el tiempo como senoidales, diente de sierra, triangular y rectangulares, adicionalmente permite determinar el aporte de cada una de las fuentes en las expresiones de interés por el método de superposición (Escalante 2019).

El analizador AnSiRE tiene la capacidad de trabajar bajo el dominio de la frecuencia, tanto con coeficientes numéricos como con coeficientes simbólicos para la función de transferencia y las expresiones de tensión y corriente. Al obtener la función de transferencia con coeficientes numéricos, es decir en "función de s", con el programa es posible obtener: la respuesta impulsiva en el tiempo y su gráfica, la respuesta al escalón unitario en el tiempo y su gráfica, la respuesta de frecuencia con su gráfica de magnitud y la gráfica de fase.

El programa fue desarrollado en lenguaje C, de manera estructurada, utilizando el compilador Qt Creator en la versión 4.2.0 (Community), bajo el sistema operativo de Microsoft Windows 8.1.

2.2 Operatividad general de AnSiRE

Un simulador simbólico de circuitos es un programa capaz de recibir la información de un circuito, procesar su tipología mediante un archivo de texto conocido como la *netlist* del circuito o por medio de una interfaz gráfica, para así determinar la respectiva expresión simbólica que se desee del circuito, para su uso posterior.

En el caso del AnSiRE, por ser un programa en desarrollo, aún no maneja la interfaz gráfica, por lo tanto, el programa realiza una lectura del archivo *netlist*, verificando la presencia de errores en el formato o escritura del archivo, lo que conlleva a la finalización del programa. En caso de que el archivo *netlist* esté libre de errores, el programa procede a reservar memoria dinámica para los elementos, que son organizados y mostrado por pantalla, de esta manera se crean las matrices que definen el ANM.

Luego de crear la matriz que define el comportamiento del circuito, se procede a calcular la solución mediante la inversión de la matriz por el método de Gauss, obteniendo los voltajes en los nodos y las corrientes por las fuentes de tensión que se imprimen por pantalla y se almacenan en el archivo de salida.

2.3 Ampliación de las capacidades de cálculo de AnSiRE

La ampliación de las capacidades de cálculo del AnSiRE se realizó, específicamente, sobre la determinación de la estabilidad y la pasividad de los circuitos, operaciones éstas que no son realizadas por los programas de simulación simbólica existentes hoy día en el mercado.

Se dice que una red eléctrica o sistema, lineal e invariante en el tiempo, es estable si su respuesta transitoria desaparece, mientras la respuesta permanente tiende a cero cuando el tiempo tiende a infinito, por lo tanto, ante una

señal de entrada o perturbación acotada, la salida o respuesta también es acotada (Valkenburg 1999).

Por otra parte, una red o circuito lineal es pasivo si para cualquier excitación de voltaje o corriente en los terminales, la energía entregada por la fuente es positiva para un instante de tiempo t cualquiera. Esto asocia la pasividad con la posibilidad que una red sea capaz de comportarse como un generador (Chen 2016).

En este sentido, esta novedosa ampliación representa ventajas significativas para el usuario, ya que le permite identificar *a priori*, según los resultados obtenidos, si el circuito es útil, o, por el contrario, requiere ajustes.

Por otra parte, dado que el estudio de pasividad es fundamental para la síntesis de redes eléctricas, tiene importantes aplicaciones hoy día, como el Inerter, que es un nuevo elemento mecánico propuesto por Malcolm Smith de la Universidad de Cambridge, el cual es definido como un dispositivo o unidad de un puerto y dos terminales, con la propiedad de que la fuerza igual y opuesta aplicada sobre las terminales es proporcional a la aceleración relativa entre las terminales (Smith 2002, citado por Chen y Hu, 2019). Para su estudio, Smith realizó la analogía entre componentes eléctricos y mecánicos, ya que estos sistemas tienen dinámicas muy similares, por lo que los métodos sistemáticos en la síntesis de las redes eléctricas pasivas pueden ser directamente aplicados al diseño de redes mecánicas basadas en Inerter.

2.4 Diseño e implementación del cálculo de estabilidad y pasividad

Para realizar el cálculo de estabilidad y de pasividad en AnSiRE, la única entrada necesaria es la función de red, que puede presentar o no un parámetro variable. Un ejemplo de función de red, $H(s)$, se muestra en la ecuación (1).

$$H(s) = \frac{2s + 2s^2 + s^4 + 3}{s^5 + 3s^3 + (k+2)s^2 + s + 4k} \quad (1)$$

La función de red se puede definir de dos formas: la primera proviene del análisis de un circuito ingresado a través del archivo *netlist* de AnSiRE. La segunda forma se realiza por medio de otro archivo *netlist*, único de esta ampliación del programa con extensión (.EP), lo que permite al usuario realizar un análisis de estabilidad o de pasividad si de primera mano se conoce la función de red que gobierna un circuito o sistema. Por ejemplo, la *netlist* que define la función de red $H(s)$ mostrada en (1) es:

```

-----
* Análisis de Estabilidad y Pasividad
* Número de coeficientes del numerador
  NCN 5
* Coeficientes del numerador
  CN 1; 0; 2; (2); 3;
* Número de coeficientes del denominador
  NCD 6
* Coeficientes del denominador
  CD (1); (0); 3; (k+2); 1; 4*k;
* Análisis .PAS
* Final
-----

```

Fig. 1. *Netlist* de la función de red $H(s)$ de la ecuación (1).

Las líneas que comienzan con un asterisco (*) son comentarios, y, para definir el tipo de dato se utilizan los códigos representados en la Tabla 1. El número de coeficientes del numerador o del denominador debe ser un número entero igual o menor que 9 y cada coeficiente admite los caracteres de la Tabla 2. La Tabla 3 muestra los comandos que permiten realizar los dos tipos de análisis que ejecuta el programa.

Tabla 1. Códigos para los diferentes tipos de entradas del programa.

Código	Definición
NCN	Número de coeficientes del numerador
NCD	Número de coeficientes del denominador
CN	Coeficientes del numerador
CD	Coeficientes del denominador
FUN	Nombre de la función

Tabla 2. Caracteres admitidos por la *netlist* en un coeficiente.

Caracteres
^ - + *) (k .

Tabla 3. Comandos permitidos por el programa para cada tipo de cálculo.

Comando	Definición
.EST	cálculo de estabilidad
.PAS	cálculo de estabilidad

El programa emplea la asignación de memoria dinámica para la creación de listas de elementos y estructuras de datos que definen los cálculos, como la matriz de Routh-Hurwitz, la matriz de signos (para resolución de inecuaciones), los coeficientes de polinomios, la función real positiva y otros vectores útiles en el desarrollo del programa, a fin de ocupar sólo la memoria necesaria, ya que ésta puede verse comprometida al incrementar la complejidad del circuito.

A continuación, el usuario procede a seleccionar el tipo de cálculo que desea realizar sobre el circuito o una función de red. Cada uno de ellos incluye un análisis en la salida del programa con las especificaciones, las regiones de operación del circuito e intervalos para cada valor del parámetro, según sea el caso. Esto permite darle al usuario un resultado detallado del comportamiento de la red o sistema que se está analizando.

Al seleccionar la opción de cálculo de estabilidad, el programa procede a distinguir si existe un parámetro en el polinomio característico. En caso de haber dicho parámetro, se construye la matriz de Routh-Hurwitz y se resuelven las inecuaciones presentes en la primera columna de la matriz. Para ello, usando el teorema de Sturm, se implementa un algoritmo que indica los valores del parámetro que hacen estable la red o sistema. Posteriormente, el programa muestra un análisis de resultados y grafica el diagrama de regiones de estabilidad. De no haber parámetro, de igual forma se calcula la matriz de Routh-Hurwitz según el caso que presente, se estudia el signo de la primera columna y, luego, se tiene la salida por pantalla junto con el diagrama de polos y ceros.

Al seleccionar la opción de cálculo de pasividad, se verifica la presencia de un parámetro en la función de red. Si dicho parámetro en la función de red no existe, se analiza si el numerador y el denominador son polinomios estrictamente de Hurwitz; de serlo, el programa verifica que la función sea real positiva (FRP), usando el Teorema de Sturm con la conformación de la matriz de signos. Validadas estas condiciones, se muestra en pantalla el análisis correspondiente y un diagrama de regiones de pasividad y actividad.

De existir un parámetro en la función de red, el programa halla las soluciones de los intervalos de ambas condiciones (Estabilidad, Coeficientes de la FRP), por la presencia del parámetro. Si la FRP es de cuarto grado par, se añade una tercera condición (discriminante). Finalmente, se imprimen en pantalla los valores del parámetro que hacen pasiva la red junto con el análisis y el diagrama de regiones. En la Figura 2 se muestra el esquema de las partes de la ampliación del programa AnSiRE.

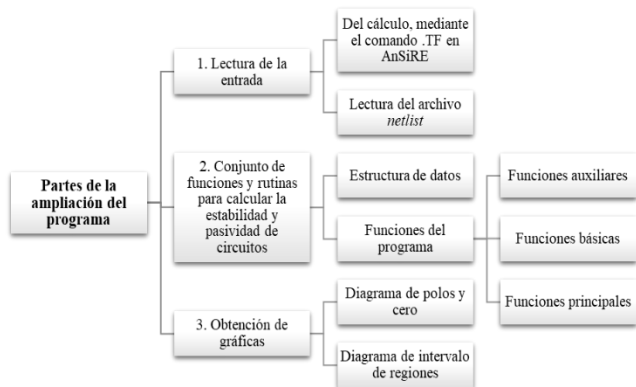


Figura 2. Partes de la ampliación del programa AnSiRE

En la actualidad, el programa AnSiRE se encuentra en etapa de evaluación por parte de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Los Andes.

3 Resultados

En la siguiente figura se muestra el modelo equivalente con fuente controla del diagrama de circuito del oscilador Colpitts, que utiliza el triódo de tubo de vacío como componente de la red activa. En este caso el parámetro es la conductancia mutua (k) y debe ser siempre positiva. Se extrajo del libro (Haykin S.S, 1977, pp 95), la ecuación (2) es su función impedancia vista desde la fuente.

$$Z(s) = \frac{2.5s^2 + (1.13+k)s + 0.05(1+k)}{s^3 + 2.05s^2 + 2.6s + 1+k} \tag{2}$$

Dicha función puede describirse por medio de la siguiente lista de comandos:

```
*Análisis de Estabilidad
*Número de coeficientes del numerador
NCN 3
*Coeficientes del numerador
CN 2.5; (1.13+k); 0.05*(1+k);
```

```
*Número de coeficientes del
denominador
NDN 4
*Coeficientes del denominador
CD 1; 2.05; 2.6; (1 + k);
*Análisis
.EST
*Fin
```

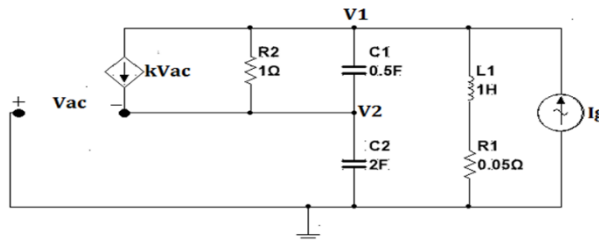


Figura 3. Modelo del circuito normalizado de un oscilador Colpitts

Los resultados obtenidos son los siguientes:

```
*****
***
*** UNIVERSIDAD DE LOS ANDES ***
*** FACULTAD DE INGENIERIA ***
*** ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA ***
***
*** CALCULO DE ESTABILIDAD ***
***
*** Octubre, 2019 ***
*****
La función de red es:
+ (2.5)S^2 + ((1.13+K))S^1 + (0.05*(1+K))S^0
Z(s) = -----
+ (1)S^3 + (2.05)S^2 + (2.6)S^1 + ((1+K))S^0
-----
MATRIZ DE ROUTH-HURWITZ
1 2.6
2.05 (1+K)
2.112 - (0.4878*K)
1 + K
MATRIZ DE SIGNO DE LOS INTERVALOS DE SOLUCION
MATRIZ DE R-H
+1 +1 -1
-1 +1 +1
-1 +1 -1
-1.00 4.33
EL RESULTADO ES EL SIGUIENTE:
1.- El sistema o red es ESTABLE para valores del parámetro en el
intervalo:
(-1.00 ; 4.33)
En este intervalo:
- No hay cambios de signo en la primera columna del arreglo de Routh-
Hurwitz
- Por lo tanto, no hay raíces en el semiplano derecho del plano
2.- El sistema o red es INESTABLE para valores del parámetro en el
intervalo:
```

(-infinito; -1.00) U (4.33 ; +infinito)

En este intervalo:

- Hay cambios de signo en la primera columna del arreglo de Routh-Hurwitz
- Por lo tanto, hay al menos una raíz en el semiplano derecho del plano

3.- El sistema o red es CRITICAMENTE ESTABLE para los siguientes valores:

-1.00 4.33

Para estos valores del parámetro:

- No hay cambio de signo en la primera columna del arreglo de Routh-Hurwitz
- Hay una o más raíces complejas conjugadas en el eje imaginario del plano

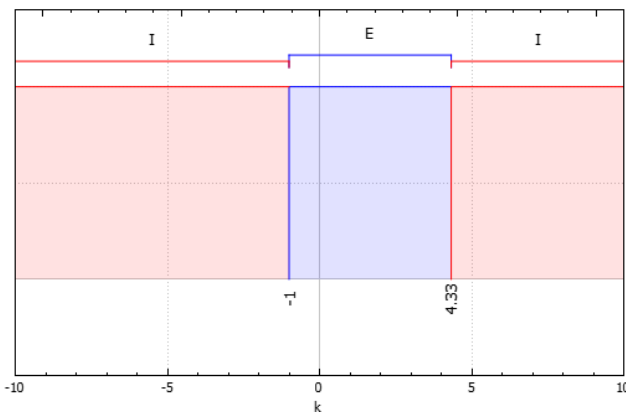


Figura 4. Región de estabilidad, acotado en un rango de k entre -10 y 10

La figura (4) representa las regiones de estabilidad para los valores del parámetro k acotados en un rango entre -10 y 10. El color rojo indica región inestable (I) y el color azul la región estable (E).

Dado que la conductancia mutua k solo puede ser positivo, el sistema es críticamente estable para el valor de k=4,33; con este valor la red tiene un par de frecuencias imaginarias que son raíces del polinomio auxiliar

$$2.05s^2 + (1 + k) = 0$$

Con $s = \pm j1,61 \text{ rad/s}$

4 Conclusiones

La Universidad de Los Andes ha asumido durante más de doscientos años el importante compromiso de la formación de profesionales integrales para desempeñarse de manera creativa, innovadora, reflexiva, ética y con valores.

El egresado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica debe desempeñarse en la planificación, diseño, ejecución, prueba, operación y mantenimiento de sistemas y equipos de generación, transmisión, distribución, comercialización y utilización de la energía eléctrica, luego de adquirir las competencias generales y específicas propuestas por la Comisión Curricular encargada del rediseño de la carrera.

La aparición del SARS-Cov2 y la rápida propagación del COVID-19 a nivel mundial y nacional, ha acelerado la inminencia en la utilización de tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) en todos los niveles educativos, con las consecuentes ventajas y limitaciones que éstas traen consigo.

Una de las principales desventajas del nuevo modelo educativo es el limitado acceso de los estudiantes a bibliotecas y consultas docentes, lo que incide directamente sobre la consolidación del proceso de enseñanza-aprendizaje, haciendo inminente la necesidad de incorporar nuevas herramientas.

Una de estas herramientas está en desarrollo en la Escuela de Ingeniería Eléctrica: el Analizador Simbólico de Redes Eléctricas, AnSiRE, que permite realizar el cálculo de estabilidad y pasividad de los circuitos, permitiendo obtener resultados reales, coherentes y verificables, aún por usuarios con experiencia básica en el diseño de circuitos.

El método usado para desarrollar AnSiRE y su algoritmo es el de Análisis Nodal Modificado (ANM), que establece un sistema de ecuaciones que gobierna el comportamiento de un circuito eléctrico.

Para realizar el cálculo de estabilidad y de pasividad en AnSiRE, la única entrada necesaria es la función de red. Al seleccionar la opción de cálculo de estabilidad, el programa arroja el análisis deseado junto con los diagramas de polos y ceros y de los intervalos de estabilidad del parámetro. Al seleccionar la opción de cálculo de pasividad, se imprimen en pantalla los valores del parámetro que hacen pasiva la red junto con el análisis y el diagrama de regiones.

La Escuela de Ingeniería Eléctrica, en franco compromiso con el desarrollo del país, está avanzando en el diseño, montaje e implementación de los módulos complementarios del AnSiRE, como lo son: análisis de sensibilidad, modelos simbólicos para transistores y diodos; por otra parte se trabaja en una nueva herramienta que acelera el cálculo simbólico de las variables del circuito al no existir la inversión matricial, a fin de que éstas sirvan como herramienta fundamental en la consolidación del proceso de enseñanza-aprendizaje del futuro egresado.

5 Referencias

Baskakov I, 2003, Teoría de Circuitos, Editorial URSS, Moscú.

Chen M, Hu Y, 2019, Inerter and Its Application in Vibration Control Systems, Science Press Beijing and Springer, Singapore.

Chen WK, 2016, Active Network Analysis, World Scientific, Chicago.

Dávila M, 2018, Rediseño de la carrera Ingeniería Eléctrica con salida intermedia de Técnico Superior Universitario en Electricidad, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Dorf R, 2005, Sistemas de Control Moderno, Prentice Hall, Madrid.

- Escalante J, 2019, Ampliación de las capacidades de cálculo del analizador simbólico de redes AnSiRE, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- González M, 1987, Síntesis de Dipolos, Universidad de Los Andes, Unidad de Servicios de Tecnologías Educativas, Mérida, Venezuela.
- Haykin SS, 1970, Active Network Theory. Addison Wesley, Great Britain.
- Kuo BC, 1996, Sistemas de Control Automático, Prentice Hall, México, D.F.
- Kuo F, 1962, Network Analysis and Synthesis, Wiley Toppan, Tokio.
- Olalla VH, 1983, Estudio de las Funciones Reales Positivas, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Sotelo OJ, 2017, Análisis Simbólico de Circuitos Parte 1: Motor de Cálculo, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Valkenburg V, 1999, Análisis de Redes, Limusa, Illinois.

Recibido: 15 de junio de 2020

Aceptado: 13 de noviembre de 2020

Bustamante-Rodríguez, Julio: Ingeniero Electricista, Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela-2019. Actualmente desarrolla proyectos en Fiber System C.A. Correo electrónico: juliocesarbr0694@gmail.com

Viloria-Manzanilla Francisco: Ingeniero Electricista, Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela-1986; Maestría en Automatización e Instrumentación, ULA, Mérida, Venezuela-2012. Profesor Titular, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Correo electrónico fviloria@ula.ve

Araujo-Ruza, Francisco Javier: Ingeniero Electricista, Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela-2002 Profesor Instructor, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela.

