



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MERIDA VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**AMPLIACION DE LAS CAPACIDADES DEL CÁLCULO DEL
ANALIZADOR SIMBOLICO AnSIRE: CUADRIPOLOS Y
EQUIVALENTE DE THEVENIN Y NORTON**

Br. Moreno Díaz Luis Arturo

Mérida, Junio, 2022



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MERIDA VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**AMPLIACION DE LAS CAPACIDADES DEL CÁLCULO DEL
ANALIZADOR SIMBOLICO AnSIRE: CUADRIPOLOS Y
EQUIVALENTE DE THEVENIN Y NORTON**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Electricista

Br. Moreno Díaz Luis Arturo

Tutor: Prof. Francisco Viloría

Mérida, junio, 2022

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**AMPLIACION DE LAS CAPACIDADES DEL CÁLCULO DEL
ANALIZADOR SIMBOLICO AnSIRE: CUADRIPOLOS Y
EQUIVALENTE DE THEVENIN Y NORTON**

Autor: Br. Moreno Díaz Luis Arturo

www.bdigital.ula.ve

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

Prof. Francisco J. Vilorio M

DEDICATORIA

Con todo mi amor quiero dedicar este trabajo **A Mis Padres Airlen Díaz y Salomón Moreno**, por ser mi motivación para luchar siempre por lo que quiero.

A mi esposa Roxana, por acompañarme en este camino tan importante, brindarme su apoyo y amor, motivándome para alcanzar mis sueños y cumplir una de mis metas.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a **Dios todopoderoso**, por permitirme llegar hasta este momento, por guiarme, iluminarme y protegerme todos los días.

A **la ilustre Universidad de Los Andes**, por abrirme las puertas y permitirme crecer de manera profesional y como persona para poder lograr esta meta.

Al **Profesor Francisco Vilorio**, por brindarme la oportunidad y su apoyo para llevar a cabo este trabajo de grado. Estoy eternamente agradecido por su paciencia y disponibilidad en cualquier momento.

A **todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Eléctrica**, por el tiempo y la dedicación al momento de impartir sus conocimientos con los estudiantes.

A **mis hermanos** que son parte fundamental de mi vida y siempre me han brindado de su apoyo y comprensión y que ante cualquier situación cumplen con la unión familiar.

www.bdigital.ula.ve

Luis Arturo Moreno Díaz. Ampliación de las capacidades del cálculo del Analizador Simbolico AnSIRE: Cuadripolos y Equivalente de Thevenin y Norton. Universidad de Los Andes. Tutor: Prof. Francisco J. Vilorio. Junio de 2022.

RESUMEN

El siguiente proyecto propone la creación de un programa que permita expandir las capacidades de cálculo del analizador simbólico AnSIRE, El circuito se ejecutó usando el lenguaje c, y el compilador QT Creator 4.9.1, bajo el sistema operativo de Microsoft Windows 7. Para la expansión del programa AnSIRE, se usó la teoría de cuadripolos y equivalente de Thevenin y Norton. Se implementó un algoritmo que ayuda a calcular los parámetros de los cuadripolos como lo son: los parámetros Z, Y, H, G, A. Esto se usa para obtener un equivalente de cualquier red expresado en admitancia o impedancia. También para el cálculo de Thevenin y Norton se implementó sus respectivas ecuaciones al programa. Este proyecto se encuentra estructurado con una serie de rutinas, en la cual se basa y apoya en distintas funciones y operaciones simbólicas con el software experimental llamado AnSiRE (Analizador Simbólico de Redes Eléctricas). Con él, se obtendrá diversos datos importantes como lo es la impedancia en los nodos, el tipo de transformación y minimización del circuito en función de cómo se interconectan los cuadripolos entre sí, para así obtener una sola caja negra que representara un circuito mucho más complejo y luego usar estos valores de la caja negra para encontrar su equivalente de Thevenin y Norton.

Descripción: Análisis simbólico, Teoría de cuadripolos, Equivalentes de Thevenin y Norton,

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xii
ÍNDICE DE FUNCIONES.....	xiii
INTRODUCCION.....	14
CAPITULO 1	15
PLANTEAMIENTO DEL PLOBLEMA	15
JUSTIFICACION.....	15
OBJETIVOS.....	16
Objetivos generales.....	16
Objetivos específicos.....	16
METODOLOGIA	17
ALCANCE	17
LIMITACIONES.....	17
CAPITULO 2	18
2.1 ANALIZADOR SIMBOLICO DE REDES ELECTRICAS.....	18
Las funciones del AnSiRE incluyen:	18
2.2 CUADRIPOLOS	19
2.3 MATRICES.....	19
2.3.1 Impedancia de entrada en vacío y en cortocircuito	19
2.3.2 Impedancia de salida en vacío y en cortocircuito	20
2.4 TABLA DE CONVERSIONES	21
2.5 INTERCONEXIONES ENTRE CUADRIPOLOS.....	22
2.5.1 Conexión en cascada	23

2.5.2 Conexión paralelo-paralelo	24
2.5.3 Conexión serie-serie	25
2.5.4 Conexiones híbridas	25
2.6 TEST DE BRUNE.....	26
2.7 MATRIZ DE ADMITANCIA INDEFINIDA.....	28
2.7.1 Propiedades	29
2.7.2 Reducción de Multipolos	29
Supresión.....	30
2.8 EQUIVALENTE DE THEVENIN Y NORTON	31
2.9 Expresiones de los equivalentes de Thevenin usando los parámetros de las matrices.....	33
2.9.1 Admitancia de entrada del cuadripolo.....	33
2.9.2 Corriente de salida del cuadripolo.....	33
2.9.3 voltaje de Thevenin	33
2.9.4 Impedancia de Thevenin.....	33
2.9.5 Corriente de Norton.....	34
2.9.5 Ganancia de salida del cuadripolo.....	34
2.9.6 Ganancia de salida del cuadripolo en función del voltaje de la fuente	34
CAPITULO 3	35
Algoritmo para la minimización de redes eléctricas por medio de la teoría de cuadripolos	35
3.1 ALGORITMO PARA LA CREACIÓN DE LOS SUBCIRCUITO QUE DETERMINAN AL CUADRIPOLO	37
3.2 CONDENSACION USANDO MATRIZ INDEFINIDA	39
3.3 ALMACENAMIENTO DE LA MATRIZ DEL CUADRIPOLO	40
3.4 FUNCION ALGEBRA	40
3.5 TRANSFORMACION DE LOS PARAMETROS DEL CUADRIPOLO.....	41
3.6 EQUIVALENTE DE THEVENIN Y NORTON.....	42
CAPITULO 4	44
ANALISIS DE RESULTADOS.....	44
4.1 CIRCUITO CON 2 CUADRIPOLOS IGUALES CONECTADOS EN SERIE	44

4.2 CIRCUITO CON 2 CUADRIPOLOS IGUALES CONECTADOS EN SERIE- PARALELO	48
4.3 CIRCUITO CON 3 CUADRIPOLOS	53
CONCLUSION	59
BIBLIOGRAFIA	60

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Cuadripolo.....	19
Figura 2.2. Parámetros del Cuadripolo [3].	21
Figura 2.3. Parámetros del Cuadripolo [3].	22
Figura 2.4. Conexión en cascada.	23
Figura 2.6. Conexión paralelo-paralelo.	24
Figura 2.8. Conexión serie-serie.	25
Figura 2.9. Conexión serie-paralelo.	25
Figura 2.9. Conexión paralelo-serie.	26
Figura 2.10. Conexión serie-serie.....	26
Figura 2.11. Conexión paralelo-paralelo.	27
Figura 2.12. Condición de Brune.	27
Figura 2.13. Condición de Brune para interaccion de cuadripolos en AC.....	28
Figura 2.14. Contracción.....	30
Figura 2.15. Supresión.....	31
Figura 2.16. Explicación del teorema de Thevenin y Norton [2].	32
Figura 3.1. Diagrama de flujo de la versión original del AnSIRE.	36
Figura 3.2. Estructura SUBCKT.	37
Figura 3.3. Estructura Registro_Elemento.	38
Figura 3.4. Manejo de la Estructura SUBCKT para almacenar elementos.	38
Figura 3.5 struct variable_matriz.....	40
Figura 3.6 almacenamiento de la variable ecuación.....	41
Figura 3.11. Algoritmo para el cálculo del equivalente de Thevenin y Norton.	43
Figura 4.1. Conexión del ejemplo N° 1.	44
Figura 4.2. Archivo texto ejemplo N° 1.....	44
Figura 4.3. Salida por pantalla ejemplo N° 1.....	45
Figura 4.4. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 1.	46
Figura 4.5. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 1	47
Figura 4.6. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 1	47

Figura 4.7. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 1	48
Figura 4.8. Conexión del ejemplo N° 2.	48
Figura 4.9. Archivo texto ejemplo N° 2.....	49
Figura 4.10. Salida por pantalla ejemplo N° 2.....	49
Figura 4.11. Salida por pantalla ejemplo N° 2.....	50
Figura 4.12. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 2.	51
Figura 4.13. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 2.	52
Figura 4.14. Conexión del ejemplo numero 3.	53
Figura 4.15. Archivo texto ejemplo N° 3.....	53
Figura 4.16. Salida por pantalla ejemplo N° 3.....	54
Figura 4.17. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 3.	55
Figura 4.18. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 3.	56
Figura 4.19. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 3.	57
Figura 4.20. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 3.	58

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1. relación de entrada y salida del cuadripolo	20
Ecuación 2.2. Conexión de dos cuadripolos en cascada.....	23
Ecuación 2.3.conexión de dos cuadripolos en paralelo-paralelo.....	24
Ecuación 2.4. Conexión serie	25
Ecuación 2.5. Conexión serie-paralelo	25
Ecuación 2.6. Conexión serie-paralelo	26
Ecuación 2.7. Multipolo flotante	28
Ecuación 2.8. Supresión de terminales.....	30
Ecuación 2.9. Admitancia de entrada del cuadripolo.	33
Ecuación 2.10. Corriente de salida del cuadripolo.	33
Ecuación 2.11. Voltaje de Thevenin.....	33
Ecuación 2.12. Impedancia de Thevenin.....	33
Ecuación 2.12. Corriente de Norton.	34
Ecuación 2.13. Ganancia de salida del cuadripolo	34
Ecuación 2.14. Ganancia de salida del cuadripolo en función del voltaje de la fuente.....	34
Ecuacion 3.1. Ecuación ingresada por el usuario el cual determina como estarán conectados cada cuadripolo.....	40

ÍNDICE DE FUNCIONES

Función 3.1. Creación del espacio en la estructura mat_Y.	39
Función 3.2. ini_matrix_simb.....	39
Función 3.3. asig_matriz_G.....	39
Función 3.4. condensar_matrix.	40
Función 3.5. Algebra.	41
Función 3.6. transformada_y.....	42

www.bdigital.ula.ve

INTRODUCCION

La teoría de cuadripolos es de vital importancia para el desarrollo y resolución de circuitos de mayor complejidad. La reducción de estos circuitos de mayor tamaño e intrincados se realiza en una serie de bloques más pequeños, los cuales se toman de diferentes cuadripolos, y así el programa deberá implementar diferentes métodos, algoritmos y matrices que determinaran la agrupación de los mismos cuadripolos entre sí, que estos forman el circuito en cuestión.

Al usuario se le guiará y explicará el uso correcto de esta herramienta, con ejemplos comprenderá el potencial que este programa tiene.

En el capítulo I se plantea de manera detallada el problema y la justificación, así como los objetivos generales y específicos. Junto con la metodología del trabajo a seguir, alcances y limitaciones del mismo.

En el capítulo II se explica de manera sencilla, las bases teóricas que sustentan la teoría para el desarrollo y comprensión del tema, así como el lenguaje de programación que se usó.

En el capítulo III después de haber conformado el marco teórico como referencia y soporte, se procede a explicar la implementación del algoritmo, esta parte del software describe las estructuras de datos usadas, funciones, esquema general y diseño.

En el capítulo IV se presenta el análisis de los resultados obtenidos.

CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PLOBLEMA

El programa llamado AnSiRE (Analizador Simbólico de Redes Eléctrica) es desarrollado e implementado, por mi predecesor Omar Ruiz [1], el construyo las bases de este proyecto, el cual tiene una extensa lista de funciones para la resolución de circuitos muy complejos, se vio la posibilidad de ampliar sus funciones guiado al análisis de cuadripolos y equivalente de Thevenin y Norton.

El programa a realizar, deberá proporcionar la mayor cantidad de herramientas que le permitirá al usuario resolver de manera sencilla un circuito usando teoría de cuadripolos y el equivalente de Thevenin y Norton del mismo, además deberá ser sencillo de utilizar.

El programa deberá ofrecer la posibilidad de admitir los datos de entrada, el tipo de conexión del cuadripolo y visualizar los resultados obtenidos entre un diseño y otro. La posibilidad de calcular los parámetros de los cuadripolos y sus equivalencias matriciales, como también calcular impedancias equivalentes, obtener el equivalente de Thévenin y Norton del circuito, de esta forma sacar más provecho del programa de AnSiRE.

JUSTIFICACION

Con el pasar del tiempo se ha realizado diseños y estudios enfocados hacia la construcción de circuitos eléctricos a gran escala, de manera experimental, en áreas como la computación, la electrónica, sistemas de comunicación y potencia.

Es importante tener técnicas que sirvan para analizar y resolver una configuración de circuitos. Por esta razón el análisis simbólico de circuitos ha llamado la atención.

El análisis simbólico tiene mayor importancia al final del siglo XX, debido a lo intrincado de los circuitos para el análisis, se hallaron formas y métodos que estén acordes a los requerimientos actuales.

Esto en gran medida a los pasos agigantados que ha dado los avances tecnológicos en los sistemas de cómputos que cada vez son más veloces y robustos en capacidad de memoria.

Por lo tanto la realización de este trabajo nos permite capturar por medio de un algoritmo computacional, haciendo uso del lenguaje C, un programa capaz de resolver un problema, si y solo si tiene una solución algorítmica, es decir, puede ser descrito mediante una secuencia finita de pasos bien definidos.

Mediante este programa se puede encontrar soluciones a problemas que desde el punto de vista práctico no se puede llegar a la solución pero que por medio de una programación con los pasos adecuados se resolvería de manera sencilla.

OBJETIVOS

Objetivos generales

- Expandir las funciones de cálculo del programa AnSiRE (Analizador Simbólico de Redes Eléctricas)

Objetivos específicos

- Comprender el análisis nodal modificado que se implementa en el AnSiRE.
- Desarrollar algoritmos que permita calcular impedancia equivalente.
- Desarrollar algoritmos que permitan obtener equivalentes de Thévenin y Norton.
- Desarrollar algoritmos que permitan calcular los parámetros de los cuadripolos y sus equivalentes entre matrices.

METODOLOGIA

En función del planteamiento del problema y los objetivos específicos ya planteados se desarrolló un programa bajo la modalidad de un proyecto teórico-práctico.

Se elaboró con la capacidad de realizar de forma eficaz la selección de un conjunto de datos ingresados por el usuario para obtener un resultado final esperado. Se implementará por medio del desarrollo de algoritmos de nodos modificados, en los cuales se obtendrá algunos resultados para los cálculos correspondiente, se estimará un prototipo del mismo se ejecutará la inserción y prueba del software final.

ALCANCE

En este proyecto se desarrolló un software que se basa en la implementación del AnSiRE en la que se busca obtener expandir sus funciones correspondientes.

El programa facilitará la obtención del equivalente de Thévenin y Norton, como también la obtención de los parámetros del cuadripolo y las equivalencias entre matrices, en las cuales se mencionará más adelante con sumo detalles.

LIMITACIONES

El proyecto en cuestión es desarrollado en lenguaje de programación C, tomando como base el AnSiRE. Se creó un algoritmo para poder describir un cuadripolo en su interior, los llamados “subcircuitos”, que como máximo puede introducirse 10 “subcircuito”, en los cuales serán admisibles solo los elementos pasivos y lineales.

CAPITULO 2

En el presente capítulo se presentará las bases teóricas que dan lugar a la comprensión de los algoritmos diseñados, se iniciará con una breve explicación del AnSiRE, posteriormente se desarrollará los conceptos básicos para el entendimiento de los cambios que se efectuarán al código base del AnSiRE, por el cual se extenderán sus funciones.

2.1 ANALIZADOR SIMBOLICO DE REDES ELECTRICAS

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 que requiere gran cantidad de recursos computacionales. AnSiRE, es un programa desarrollado en la Universidad de Los Andes que cuenta con un algoritmo y técnicas capaces de analizar y resolver configuraciones circuítiles.

En su versión inicial es capaz de resolver circuitos con elementos pasivos (resistencias, capacitores, inductores), transformadores, amplificadores operacionales ideales, fuentes controladas y fuentes de voltaje y corriente en continua (DC).

Las funciones del AnSiRE incluyen:

- Construcción de matrices simbólicas del objeto de análisis.
- Cálculo de voltaje y corriente a partir de la matriz de transferencia del sistema.
- Cálculo de funciones de transferencia del sistema.
- Dibujo de gráficas correspondientes a la respuesta impulsiva y al escalón de una función de transferencia.

- Cálculo de la respuesta en frecuencia de una función de transferencia a través de sus diagramas de Bode.

2.2 CUADRIPOLOS

Se llama cuadripolo a una red con dos pares de terminales accesibles desde el exterior, tales que, en cada par, la corriente que entra por un terminal es igual a la que sale por el otro. Un par de terminales con esa característica se denomina puerto. Por ello, algunos libros denominan a los cuadripolos redes de dos puertos.

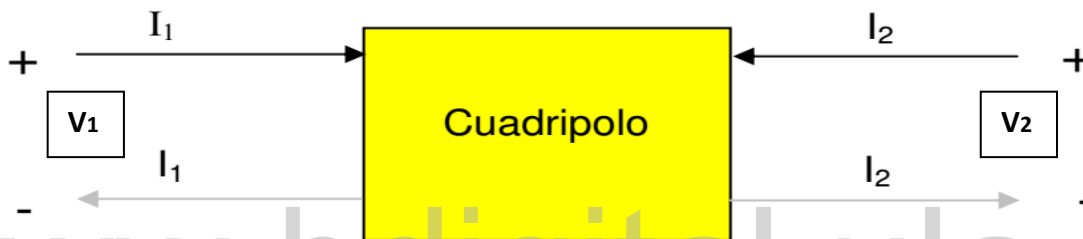


Figura 2.1. Cuadripolo.

Como convención general, cuando se representa un cuadripolo, en cada puerto el terminal de arriba es el positivo y por él entran las corrientes.

2.3 MATRICES

Se describe la conducta del cuadripolo por medio de parámetros característicos, que vinculan las variables externas las cuales son: voltaje de entrada V_1 , voltaje de salida V_2 , corriente de entrada I_1 , corriente de salida I_2 .

2.3.1 Impedancia de entrada en vacío y en cortocircuito

Para los dos casos extremos de carga, es decir vacío ($I_2 = 0$) y cortocircuito ($V_2 = 0$), se definen las denominadas impedancias de entrada en vacío (Z_{1v}) e impedancia de entrada en cortocircuito (Z_{1c}). En las ecuaciones de los parámetros impedancia y admitancia, transcritas a

continuación, se observa que z_{11} es la impedancia de entrada en vacío, mientras que y_{11} es la admitancia de entrada en cortocircuito.

$$V_1 = z_{11}.I_1 + z_{12}.I_2 \quad V_2 = z_{21}.I_1 + z_{22}.I_2$$

$$I_1 = y_{11}.V_1 + y_{12}.V_2 \quad I_2 = y_{21}.V_1 + y_{22}.V_2$$

Ecuación 2.1. Relación de entrada y salida del cuadripolo

2.3.2 Impedancia de salida en vacío y en cortocircuito

Son las impedancias de salida correspondientes a las condiciones de puerto de entrada abierto y puerto de entrada en cortocircuito. En las ecuaciones de los parámetros impedancia y admitancia se observa que z_{22} es la impedancia de salida en vacío mientras que y_{22} es la admitancia de salida en corto. Para obtenerlas en función de los parámetros transmisión basta con hacer $I_1 = 0$ y luego $V_1 = 0$ en la ecuación precedente de Z_2 .

Dado el caso que en los cuadripolos sean simétricos, $y_{11} = y_{22}$ y $z_{11} = z_{22}$.

Los parámetros z_{11} , z_{12} , z_{21} , z_{22} tienen dimensión de impedancia; por ende, se llaman parámetros Z . Permiten obtener las tensiones de los puertos en función de sus corrientes.

De manera análoga a la del ejemplo anterior, se pueden definir 6 juegos de parámetros de los cuadripolos. Incluyendo los ya vistos; son los siguientes:

Nombre	Notación matricial	Matriz	Ecuaciones
Admitancia	$\begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \end{vmatrix} = Y \cdot \begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \end{vmatrix}$	$ Y = \begin{vmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{vmatrix}$	$I_1 = y_{11} \cdot V_1 + y_{12} \cdot V_2$ $I_2 = y_{21} \cdot V_1 + y_{22} \cdot V_2$
Impedancia	$\begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \end{vmatrix} = Z \cdot \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \end{vmatrix}$	$ Z = \begin{vmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{vmatrix}$	$V_1 = z_{11} \cdot I_1 + z_{12} \cdot I_2$ $V_2 = z_{21} \cdot I_1 + z_{22} \cdot I_2$
Transmisión	$\begin{vmatrix} V_1 \\ I_1 \end{vmatrix} = \Gamma \cdot \begin{vmatrix} V_2 \\ I_2 \end{vmatrix}$	$ \Gamma = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix}$	$V_1 = A \cdot V_2 + B \cdot I_2$ $I_1 = C \cdot V_2 + D \cdot I_2$
Transmisión inversa	$\begin{vmatrix} V_2 \\ I_2 \end{vmatrix} = \Gamma^{-1} \cdot \begin{vmatrix} V_1 \\ I_1 \end{vmatrix}$	$ \Gamma^{-1} = \begin{vmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{vmatrix}$	$V_2 = A' \cdot V_1 + B' \cdot I_1$ $I_2 = C' \cdot V_1 + D' \cdot I_1$
Híbridos h	$\begin{vmatrix} V_1 \\ I_2 \end{vmatrix} = H \cdot \begin{vmatrix} I_1 \\ V_2 \end{vmatrix}$	$ H = \begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{vmatrix}$	$V_1 = h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot V_2$ $I_2 = h_{21} \cdot I_1 + h_{22} \cdot V_2$
Híbridos g	$\begin{vmatrix} I_1 \\ V_2 \end{vmatrix} = G \cdot \begin{vmatrix} V_1 \\ I_2 \end{vmatrix}$	$ G = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{vmatrix}$	$I_1 = g_{11} \cdot V_1 + g_{12} \cdot I_2$ $V_2 = g_{21} \cdot V_1 + g_{22} \cdot I_2$

Figura 2.2. Parámetros del Cuadripolo [3].

2.4 TABLA DE CONVERSIONES

- Las matrices de cada fila son equivalentes
- El factor que precede cada matriz multiplica cada uno de sus elementos
- El delta simboliza la determinante de cada matriz

	[Z]	[Y]	[r]	[r] ⁻¹	[H]	[G]
[Z]	$\begin{vmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} y_{22} & -y_{12} \\ -y_{21} & y_{11} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} A & \Delta\Gamma \\ 1 & D \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} D' & 1 \\ \Delta\Gamma^{-1} & A' \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} \Delta h & h_{12} \\ -h_{21} & 1 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & -g_{12} \\ g_{21} & \Delta g \end{vmatrix}$
[Y]	$\begin{vmatrix} z_{22} & -z_{12} \\ -z_{21} & z_{11} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} D & -\Delta\Gamma \\ -1 & A \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} A' & -1 \\ -\Delta\Gamma^{-1} & D' \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & -h_{12} \\ h_{21} & \Delta h \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} \Delta g & g_{12} \\ -g_{21} & 1 \end{vmatrix}$
[r]	$\begin{vmatrix} z_{11} & \Delta z \\ 1 & z_{22} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -y_{22} & -1 \\ -\Delta y & -y_{11} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} D' & B' \\ C' & A' \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -\Delta h & -h_{11} \\ -h_{22} & -1 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & g_{22} \\ g_{11} & \Delta g \end{vmatrix}$
[r] ⁻¹	$\begin{vmatrix} z_{22} & \Delta z \\ 1 & z_{11} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -y_{11} & -1 \\ -\Delta y & -y_{22} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} D & -B \\ -C & A \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & h_{11} \\ h_{22} & \Delta h \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -\Delta g & -g_{22} \\ -g_{11} & -1 \end{vmatrix}$
[H]	$\begin{vmatrix} \Delta z & z_{12} \\ -z_{21} & 1 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & -y_{12} \\ y_{21} & \Delta y \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} B & \Delta\Gamma \\ -1 & C \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} B' & 1 \\ -\Delta\Gamma^{-1} & C' \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} g_{22} & -g_{12} \\ -g_{21} & g_{11} \end{vmatrix}$
[G]	$\begin{vmatrix} 1 & -z_{12} \\ z_{21} & \Delta z \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} \Delta y & y_{12} \\ -y_{21} & 1 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} C & -\Delta\Gamma \\ 1 & B \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} C' & -1 \\ \Delta\Gamma^{-1} & B' \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} h_{22} & -h_{12} \\ -h_{21} & h_{11} \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} \\ -g_{21} & g_{22} \end{vmatrix}$

Simplificaciones de parámetros para redes recíprocas y redes simétricas

Red pasiva	$z_{12} = z_{21}$	$y_{12} = y_{21}$	$\Delta\Gamma = 1$	$\Delta\Gamma^{-1} = 1$	$h_{12} = -h_{21}$	$g_{12} = -g_{21}$
------------	-------------------	-------------------	--------------------	-------------------------	--------------------	--------------------

Red simétrica	$z_{11} = z_{22}$	$y_{11} = y_{22}$	$A = D$	$A' = D'$	$\Delta h = 1$	$\Delta y = 1$
---------------	-------------------	-------------------	---------	-----------	----------------	----------------

Figura 2.3. Parámetros del Cuadripolo [3].

2.5 INTERCONEXIONES ENTRE CUADRIPOLOS

Partiendo de cuadripolos elementales, se pueden conectar de diversas maneras:

2.5.1 Conexión en cascada

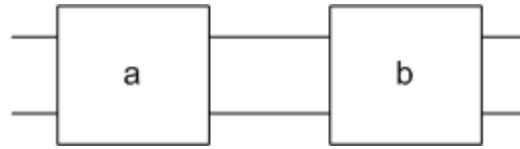


Figura 2.4. Conexión en cascada.

Conviene describirlos con los parámetros A, B, C, D.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_a & B_a \\ C_a & D_a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{2a} \\ -I_{2a} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_a & B_a \\ C_a & D_a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_b & B_b \\ C_b & D_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{pmatrix}$$

Ecuación 2.2. Conexión de dos cuadripolos en cascada.

Donde:

V_1 es el voltaje de entrada del cuadripolo.

I_1 es la corriente de entrada del cuadripolo.

V_{2a} es el voltaje de salida del segundo cuadripolo conectado al primero.

I_{2a} es la corriente de salida del segundo cuadripolo conectado al primero.

V_2 es el voltaje de salida del cuadripolo.

I_2 es la corriente de salida del cuadripolo.

Luego, la matriz $\begin{pmatrix} AB \\ CD \end{pmatrix}$ de la cascada es el producto.

2.5.2 Conexión paralelo-paralelo

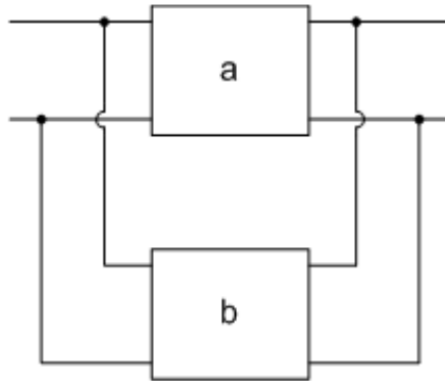


Figura 2.6. Conexión paralelo-paralelo.

Los voltajes son comunes. Las corrientes se suman.

Conviene describirlos por los parámetros Y

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1a} \\ I_{2a} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_{1b} \\ I_{2b} \end{pmatrix} = (y_a) \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} + (y_b) \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = (y_a + y_b) \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

Ecuación 2.3. Conexión de dos cuadripolos en paralelo-paralelo.

Donde:

V_1 es el voltaje de entrada del cuadripolo.

I_1 es la corriente de entrada del cuadripolo.

I_{1a} es la corriente de entrada del primer cuadripolo conectado al segundo.

I_{2a} es la corriente de salida del primer cuadripolo conectado al segundo.

I_{1b} es la corriente de entrada del segundo cuadripolo conectado al primero.

I_{2b} es la corriente de salida del segundo cuadripolo conectado al primero.

V_2 es el voltaje de salida del cuadripolo.

I_2 es la corriente de salida del cuadripolo.

Atención: Esto será válido si las relaciones en c/cuadripolo no son alteradas por la conexión del otro. P.ej. si en el cuadripolo b hay un cable entre los bornes inferiores de entrada y salida, y no pasa lo mismo con él A. al conectarlos se va a cortocircuitar la rama del A.

2.5.3 Conexión serie-serie

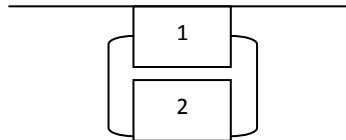


Figura 2.8. Conexión serie-serie.

$$[z] = [z]_1 + [z]_2$$

Ecuación 2.4. Conexión serie

2.5.4 Conexiones híbridas

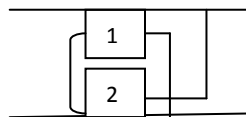


Figura 2.9. Conexión serie-paralelo.

$$[h] = [h]_1 + [h]_2$$

Ecuación 2.5. Conexión serie-paralelo

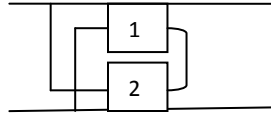


Figura 2.9. Conexión paralelo-serie.

$$[g] = [g]_1 + [g]_2$$

Ecuación 2.6. Conexión serie-paralelo

2.6 TEST DE BRUNE

En los puertos del cuadripolo la I entrante es igual a la I saliente. Cuando se interconectan dos cuadripolos esto sólo se puede garantizar en los terminales del cuadripolo global.

Veamos un par de ejemplos representativos:

Conexión serie-serie:

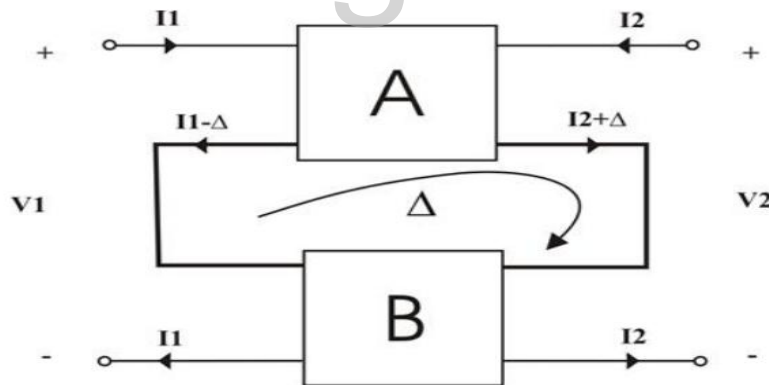


Figura 2.10. Conexión serie-serie.

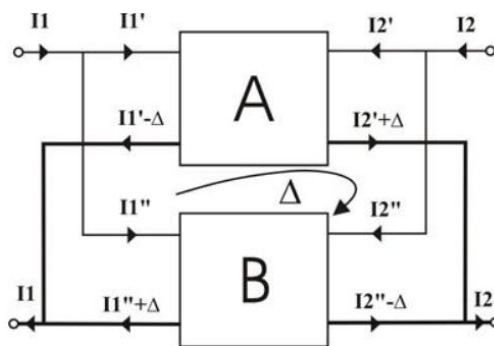


Figura 2.11. Conexión paralelo-paralelo.

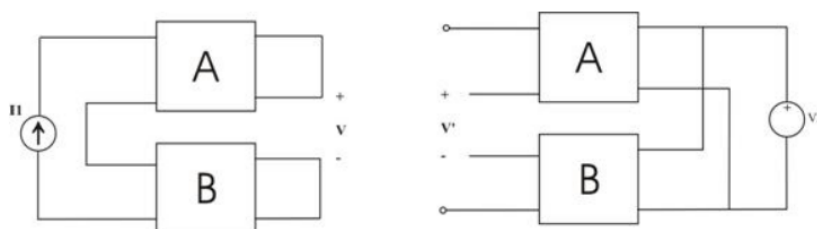
A la diferencia entre la I entrante y la I saliente del cuadripolo se llama corriente de circulación (I_C).

Las sencillas relaciones anteriores sólo serán válidas si la corriente de circulación $I_C = 0$.

Para conocer si la $I_C = 0$ se utiliza la Condición de Brune:

- Se excita la entrada con una fuente de la magnitud (I o V) común a la entrada.
- Se anula la magnitud común a la salida.
- Se rompe la nueva malla creada por la asociación de cuadripolos. Si la tensión existente entre los dos puntos donde se ha abierto es nula, entonces se cumple la condición de Brune.

Ejemplo conexión serie-paralelo:



$$V = V' = 0 \rightarrow I_C = 0 \quad \text{Condición de Brune}$$

Figura 2.12. Condición de Brune.

Para poder aplicar las relaciones de conexión de cuádrupolos la condición de Brune ha de verificarse tanto de la entrada a la salida como a la inversa.

Forma de evitar la interacción entre cuádrupolos (AC): mediante transformadores.

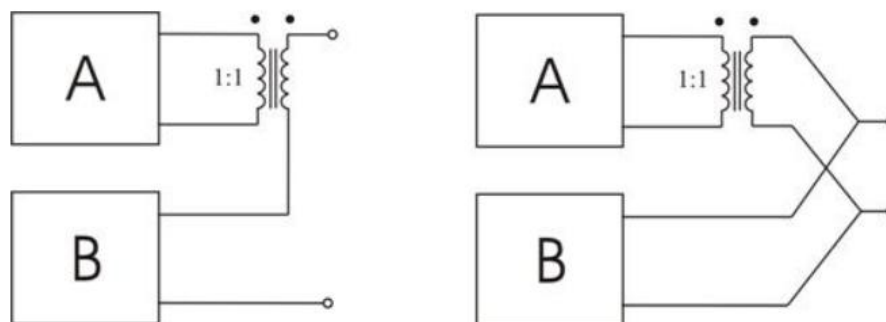


Figura 2.13. Condición de Brune para interacción de cuádrupolos en AC.

2.7 MATRIZ DE ADMITANCIA INDEFINIDA

Para obtener las funciones características de una red lineal activa, tales como la función de transferencia, impedancia de entrada, etc, se pueden utilizar modos directos en los cuales se puede derivar las funciones de la red desde el diagrama circuital, sin necesidad de desarrollar los pasos intermedios de las ecuaciones de la red. Algunos de los métodos más útiles emplean la matriz definida y la matriz indefinida de admitancias [4].

Una red de multipolo flotante, es una red con n terminales cuyos potenciales están referidos a un punto (tierra) no conectada a la misma. Para este caso se supone que la red no tiene fuentes internas independientes. En forma compacta, la matriz que representa esta red está dada como:

$$I = YV + I_0$$

Ecuación 2.7. Multipolo flotante

Donde I_0 es la matriz de las corrientes que fluyen por cada uno de los terminales cuando todos los terminales están conectados al nodo de referencia. En este caso se trabajará solamente con multipolos para los cuales la matriz I_0 es cero [4].

2.7.1 Propiedades

1. La suma de los elementos de cada columna es cero.
2. La suma de los elementos de cada fila es cero.
3. El determinante de la matriz es cero: $Det_y=0$.
4. Todos los cofactores de primer orden son iguales.

Esta propiedad resulta del hecho de que cualquier primer cofactor se obtiene de cualquier otro por transformaciones elementales que involucran adición de filas y columnas tomando en cuenta la propiedad de suma cero de la matriz. No es válido para cofactores de más alto orden.

2.7.2 Reducción de Multipolos

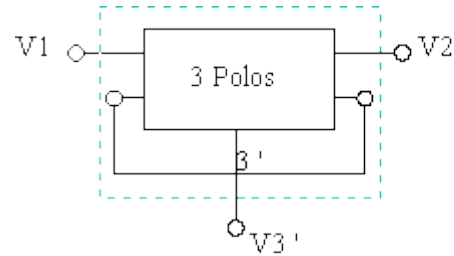
Un multipolo de más alto orden puede reducirse a uno de más bajo orden por supresión o contracción.

Contracción

Es la unión de dos o más terminales para formar uno solo. La nueva matriz se obtiene sumando las filas y columnas de los terminales unidos.



$$[Y] = \begin{bmatrix} \mathcal{Y}_{11} & \mathcal{Y}_{12} & \mathcal{Y}_{13} & \mathcal{Y}_{14} \\ \mathcal{Y}_{21} & \mathcal{Y}_{22} & \mathcal{Y}_{23} & \mathcal{Y}_{24} \\ \mathcal{Y}_{31} & \mathcal{Y}_{32} & \mathcal{Y}_{33} & \mathcal{Y}_{34} \\ \mathcal{Y}_{41} & \mathcal{Y}_{42} & \mathcal{Y}_{43} & \mathcal{Y}_{44} \end{bmatrix}$$



$$[Y^0] = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & (y_{13} + y_{14}) \\ y_{21} & y_{22} & (y_{23} + y_{24}) \\ (y_{31} + y_{41}) & (y_{32} + y_{42}) & (y_{33} + y_{34} + y_{43} + y_{44}) \end{bmatrix}$$

Figura 2.14. Contracción.

Supresión

Se suprimen algunos terminales haciendo que la corriente asociada a éstos sea cero. Las ecuaciones de admitancias para un n polo con n-i terminales suprimidos, pueden escribirse en notación matricial así:

$$Y_{jk(nueva)} = Y_{jk} - \frac{Y_{jp} Y_{pk}}{Y_{pp}}$$

Ecuación 2.8. Supresión de terminales.

Las submatrices $[Y_{ij}]$ se derivan de una partición de la matriz original como sigue:

En la matriz de admitancias supóngase que se van a suprimir los terminales $j = i + 1$ hasta n .

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_j \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{Y}_{11} & \mathcal{Y}_{12} & \cdots & \mathcal{Y}_{1i} & \mathcal{Y}_{1j} & \cdots & \mathcal{Y}_{1n} \\ \mathcal{Y}_{21} & \mathcal{Y}_{22} & \cdots & \mathcal{Y}_{2i} & \mathcal{Y}_{2j} & \cdots & \mathcal{Y}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathcal{Y}_{i1} & \mathcal{Y}_{i2} & \cdots & \mathcal{Y}_{ii} & \mathcal{Y}_{ij} & \cdots & \mathcal{Y}_{in} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathcal{Y}_{j1} & \mathcal{Y}_{j2} & \cdots & \mathcal{Y}_{ji} & \mathcal{Y}_{jj} & \cdots & \mathcal{Y}_{jn} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathcal{Y}_{n1} & \mathcal{Y}_{n2} & \cdots & \mathcal{Y}_{ni} & \mathcal{Y}_{nj} & \cdots & \mathcal{Y}_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_j \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y_{11} \\ \vdots \\ Y_{i1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{Y}_{11} & \cdots & \mathcal{Y}_{1i} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathcal{Y}_{i1} & \cdots & \mathcal{Y}_{ii} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} Y_{1j} \\ \vdots \\ Y_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{Y}_{1j} & \cdots & \mathcal{Y}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathcal{Y}_{ij} & \cdots & \mathcal{Y}_{in} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y_{j1} \\ \vdots \\ Y_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{Y}_{j1} & \cdots & \mathcal{Y}_{ji} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathcal{Y}_{n1} & \cdots & \mathcal{Y}_{ni} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} Y_{jj} \\ \vdots \\ Y_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{Y}_{jj} & \cdots & \mathcal{Y}_{jn} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathcal{Y}_{jn} & \cdots & \mathcal{Y}_{nn} \end{bmatrix}$$

Figura 2.15. Supresión.

2.8 EQUIVALENTE DE THEVENIN Y NORTON

Los dos teoremas simplifican bastante los circuitos lineales. El primero de estos debe su nombre al a M.L. Thévenin ingeniero francés que trabajaba en telegrafía, y fue el primero en publicar un enunciado del teorema en 1883, el segundo es el científico E.L. Norton que trabajó en los laboratorios de la Bell Telephone [2].

El teorema de Thévenin dice que es posible sustituir todo el circuito, excepto la carga conectada, por un circuito equivalente con solo una fuente independiente con una impedancia en serie, por consecuencia la carga no será afectada por el circuito equivalente. El teorema de Norton se obtendría una fuente independiente de corriente en paralelo con una impedancia equivalente.

De esto se deduce que uno de los principales usos de los teoremas de Thévenin y Norton es la sustitución de una gran parte de la red eléctrica, a menudo una parte complicada y de poco

interés, por un equivalente más simple. El circuito nuevo es capaz de entregar cálculos rápidos de voltaje, corriente y potencia que el circuito original es capaz de entregar a la carga conectada.

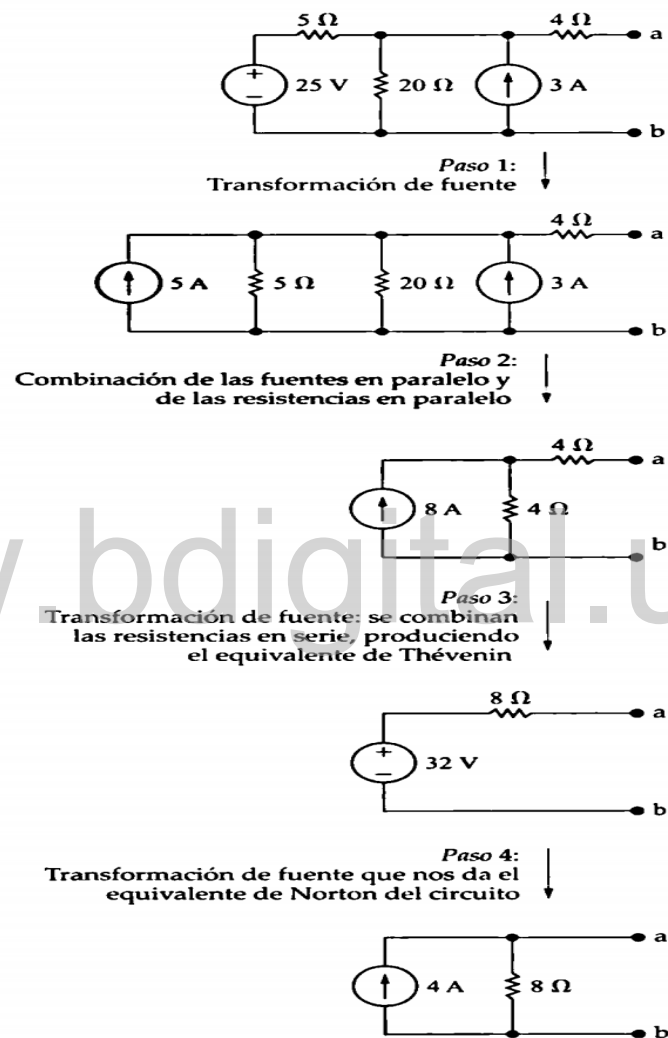


Figura 2.16. Explicación del teorema de Thevenin y Norton [2].

2.9 Expresiones de los equivalentes de Thevenin usando los parámetros de las matrices

2.9.1 Admitancia de entrada del cuadripolo

$$y_o = y_{11} - \frac{y_{12} * y_{21} * z_l}{(y_{22} * z_l) + 1}$$

Ecuación 2.9. Admitancia de entrada del cuadripolo.

2.9.2 Corriente de salida del cuadripolo

$$I_2 = \frac{y_{21} * V_g}{(\Delta y * z_g * z_l) + (y_{11} * z_g) + (y_{22} * z_l) + 1}$$

Ecuación 2.10. Corriente de salida del cuadripolo.

2.9.3 voltaje de Thevenin

$$v_{th} = \frac{-y_{21} * V_g}{(\Delta y * z_g) + (y_{22})}$$

Ecuación 2.11. Voltaje de Thevenin.

2.9.4 Impedancia de Thevenin

$$z_{th} = \frac{(y_{11} * z_g) + 1}{(\Delta y * z_g) + (y_{22})}$$

Ecuación 2.12. Impedancia de Thevenin.

2.9.5 Corriente de Norton

$$I_n = \frac{-y_{21} * Vg}{(y_{11} * zg) + 1}$$

Ecuación 2.12. Corriente de Norton.

2.9.5 Ganancia de salida del cuadripolo

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{-y_{21} * zl}{(y_{22} * zl) + 1}$$

Ecuación 2.13. Ganancia de salida del cuadripolo

2.9.6 Ganancia de salida del cuadripolo en función del voltaje de la fuente

$$\frac{v_2}{vg} = \frac{y_{21} * zl}{(y_{21} * y_{12} * zg * zl) - ((y_{11} * zg) + 1) * ((y_{22} * zl) + 1)}$$

Ecuación 2.14. Ganancia de salida del cuadripolo en función del voltaje de la fuente

CAPITULO 3

Algoritmo para la minimización de redes eléctricas por medio de la teoría de cuadripolos

Cualquier circuito eléctrico está formado por algunos de los siguientes elementos: resistencia, inductancia, capacidad y conductancia. Con estos componentes se forman casi la totalidad de los sistemas eléctricos actuales, desde un simple circuito hasta los más complejos sistemas de potencia.

Antes de iniciar los cálculos de cualquier sistema eléctrico, resulta imprescindible conocer una serie de datos sobre el mismo como, por ejemplo: qué elementos lo forman, cómo se comportan, cómo interaccionan, cómo se calculan, la forma de agruparlos, los métodos numéricos aplicables (en este caso teoría de cuadripolo). Sólo de esta forma la resolución de problemas, desde los casos simples hasta los sistemas complejos, podrá ser realizada de forma rápida y segura.

En primer lugar, en este capítulo se detallarán los algoritmos más importantes incluidos en el analizador simbólico de redes eléctricas (AnSIRE) para este trabajo. Indicándose la forma más correcta de agruparlos por medio de ecuaciones la cual se muestra más adelante con los demás algoritmos que hacen parte de esta nueva ampliación.

Aquí se muestra la forma en la que se implemento cada algoritmo. Este programa usa las bondades del compilador Qt Creator.

Primero se muestra un diagrama de flujo de cómo está constituido el programa AnSIRE. Esto se hace con el propósito de que se entienda como funciona el programa, para luego mostrar la expansión del mismo.

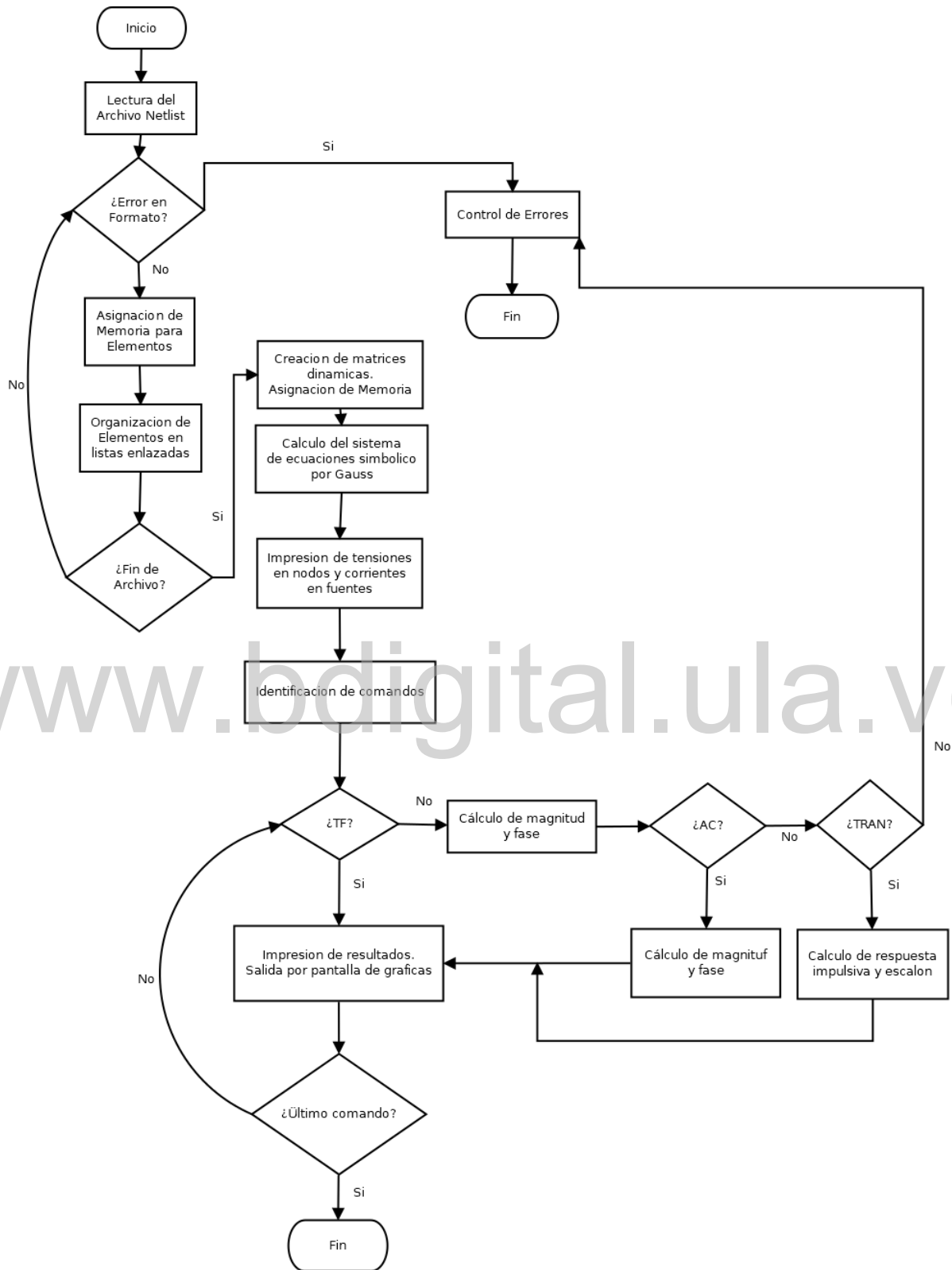


Figura 3.1. Diagrama de flujo de la versión original del AnSIRE.

3.1 ALGORITMO PARA LA CREACIÓN DE LOS SUBCIRCUITO QUE DETERMINAN AL CUADRIPOLO

Esta estructura `struct SUBCKT *sub_cir` se creó para procesar los elementos que conforman el cuadripolo de la función de red.

La forma como se declaró está representada de la siguiente manera:

```
struct SUBCKT {
    char *nombre_sub;
    struct REGISTRO_NODO *nodos;
    struct REGISTRO_ELEMENTO *elementos,
    *fuente_tension,
    *fuente_corriente,
    *O, //Amplificador ideal
    *E, //Fuente de tension controlada por tension VCVS
    *F, //Fuente de corriente controlada por corriente CCCS
    *G, //Fuente de corriente controlada por tension VCCS
    *H, //Fuente de tension controlada por corriente CCVS
    *N, //Transformador ideal
    *K; //Coeficiente de acoplamiento del transformador
    int num_nodos;
    int num_pasivo;
    int num_v;
    int num_i;
    int num_a0;
    int num_VCVS;
    int num_CCCS;
    int num_VCCS;
    int num_CCVS;
    int num_N;
    int num_K;
    struct MATRIZ **matriz;};
```

Figura 3.2. Estructura SUBCKT.

Obsérvese que dentro de esta estructura está contenida `struct REGISTRO_ELEMENTO`, ya que en esta, están almacenados los nodos que son parte fundamental del programa como también los elementos que se conectan a dichos nodos.

`struct REGISTRO_ELEMENTO *elemento`, es la estructura donde se almacenan los elementos y los nodos tomados del archivo texto, y está representada de la siguiente manera:

```
// Declaracion de la estructura para ordenar la lista de los elementos de
la red
```

```

struct REGISTRO_ELEMENTO{
char elemento[15];      // Nombre del elemento
char valor[15];        // Valor del elemento
char nodo_1[15];       // Nodo de conexion 1
char nodo_2[15];       // Nodo de conexion 2
char nodo_3[15];       // Nodo de conexion 3 (si existiera)
char nodo_4[15];       // Nodo de conexion 4 (si existiera)
struct MATRIZ **matriz; // Utilizado en superposición
struct REGISTRO_NODO *listaNodosAsociada; // Utilizado en superposición
struct REGISTRO_ELEMENTO *sig;};

```

Figura 3.3. Estructura Registro_Elemento.

La forma en la que se usa la estructura struct SUBCKT *sub_cir para almacenar los elementos, es de la siguiente manera:

```

if (strcmp(param0, ".SUBCKT")==0) {
if(num_sub<10) {
subCircuitos=crear_elemento(param1,param2,param3,param4,param5, "
",subCircuitos,salida);

sub_cir[num_sub].nodos=NULL;
sub_cir[num_sub].elementos=NULL;
sub_cir[num_sub].num_nodos=0;
sub_cir[num_sub].num_pasivo=0;
sub_cir[num_sub].num_v=0;
sub_cir[num_sub].num_i=0;
sub_cir[num_sub].num_ao=0;
sub_cir[num_sub].num_VCVS=0;
sub_cir[num_sub].num_CCCS=0;
sub_cir[num_sub].num_VCCS=0;
sub_cir[num_sub].num_CCVS=0;
sub_cir[num_sub].num_N=0;
sub_cir[num_sub].num_K=0;
auxSub=1;}
else {
printf("ERROR ..... \n");
printf("Demasiados cuadripolos por definir.\n")

printf("no se ha almacenado el cuadripolo %s.\n",param5);
pulse();
exit(200)}}

```

Figura 3.4. Manejo de la Estructura SUBCKT para almacenar elementos.

Luego que todos los elementos están almacenados con sus respectivos nodos, nombres, etc, empezamos a suprimir dichos nodos para obtener un circuito manejable y así poder aplicar la teoría de cuadripolo.

La ecuación que se utiliza para suprimir estos nodos es la ecuación 2.8 del capítulo 2.

3.2 CONDENSACION USANDO MATRIZ INDEFINIDA

Para este apartado primero se creó la estructura:

`struct MATRIZ**mat_Y[MAX_SUBCKT]`, en la cual se almacenaron los resultados obtenidos al condensar los cuadripolos ingresados por el usuario. Esta se uso de la siguiente manera:

Primero se creó el espacio en la correspondiente matriz con la función:

```
mat_Y[yy]=crear_matriz_din(mat_Y[yy],sub_cir[yy].num_nodos,sub_cir[yy].num_nodos,"Matriz Yind",salida);
```

Función 3.1. Creación del espacio en la estructura mat_Y.

Luego, de crear el espacio, pasamos a la siguiente función, que es la que inicializa la estructura `mat_Y[yy]`.

Su forma es la siguiente:

```
ini_matrix_simb(mat_Y[yy],sub_cir[yy].num_nodos,sub_cir[yy].num_nodos);
```

Función 3.2. ini_matrix_simb.

Al inicializar la estructura, se pasa a la función que copiara en esta estructura los valores del circuito, la función es la siguiente:

```
asig_matriz_G(mat_Y[yy],sub_cir[yy].num_nodos,sub_cir[yy].num_nodos,sub_cir[yy].elementos,sub_cir[yy].nodos,sub_cir[yy].K);
```

Función 3.3. asig_matriz_G.

Al obtener todo lo necesario para condensar los nodos se implementa la siguiente función:

```
condensar_matrix(mat_Y[yy],
                sub_cir[yy].num_nodos,
```

```
sub_cir[yy].num_nodos,
salida,
indiceptr);
```

Función 3.4. condensar_matrix.

Esta es la función que reducirá un circuito muy complejo a uno de matriz 2x2.

Cabe resaltar que los resultados que se obtendrá de la condensación estarán expresados en admitancia.

3.3 ALMACENAMIENTO DE LA MATRIZ DEL CUADRIPOLO

Luego de lo explicado anteriormente, esta matriz condensada la cual es la matriz cuadripolo, se almacena en una estructura llamada `struct variable_matriz`. Tiene la siguiente forma:

```
struct variable_matriz {
    char nombre[tamano];
    char valor [tamano][tamano];
};
struct variable_matriz variable[tamano];
```

Figura 3.5 struct variable_matriz.

3.4 FUNCION ALGEBRA

Esta función toma del archivo texto la ecuación de conexión de varios cuadripolos y la minimiza a un cuadripolo equivalente. La ecuación es ingresada por el usuario el cual determina como estarán conectados cada cuadripolo.

Atención: La forma en la que se ingresa dicha ecuación debe ser de la siguiente manera:

.ECUACION (-l-!-u-)-#-(-e-)

Ecuacion 3.1. Ecuación ingresada por el usuario el cual determina como estarán conectados cada cuadripolo.

Cabe señalar que la ecuación se debe escribir de una forma específica para que el programa pueda leerla correctamente.

Donde:

.ECUACION es la palabra clave que se utiliza para procesar la ecuación de conexión. Esta se usa en el algoritmo de la siguiente manera:

```
if (strcmp (param0, ".ECUACION")==0) {
    strcpy (ecuacion, param1);
    imprime (salida, "\n"); }
```

Figura 3.6 almacenamiento de la variable ecuación.

El símbolo del guión (-) es para dar un espacio.

Los demás símbolos son los indicadores de como se conecta cada cuadripolo, se utiliza 5 símbolos los cuales se detallan a continuación:

es el símbolo que indica que los cuadripolos se conectan serie-serie.

! es el símbolo que indica que los cuadripolos se conectan paralelo-paralelo.

\$ es el símbolo que indica que los cuadripolos se conectan serie-paralelo.

& es el símbolo que indica que los cuadripolos se conectan paralelo-serie.

: es el símbolo que indica que los cuadripolos se conectan cascada.

La función algebra tiene la siguiente forma:

```
int algebra(char ecuacion[15], FILE *salida)
```

Función 3.5. Algebra.

3.5 TRANSFORMACION DE LOS PARAMETROS DEL CUADRIPOLO

Dependiendo de cómo estén conectados los cuadripolos, esta función los transforma en su correspondiente, esta función depende de la función anterior, ya que esta indica cómo se deberá transformar cada uno de estos.

La función guiándose de que los valores de los cuadripolos están expresados en admitancia, tiene la siguiente forma:

```
char *transformada_y(char temporal[][tamano],
                    char delta[tamano],
                    int f,
                    int c,
                    char simbolo,
                    FILE *salida)
```

Función 3.6. transformada_y.

3.6 EQUIVALENTE DE THEVENIN Y NORTON

Luego de obtener el cuadripolo equivalente se creó el siguiente algoritmo para la solución de este apartado.

```
imprime(salida, "-----Resultados del Circuito-----\n");
strcpy(y11, cuadripolo[0].valor);
strcpy(y12, cuadripolo[1].valor);
strcpy(y21, cuadripolo[2].valor);
strcpy(y22, cuadripolo[3].valor);
sprintf(D, "((%s)*(%s))-((%s)*(%s))", y11, y22, y21, y12);
imprime(salida, "-----Admitancia de entrada-----\n");
imprime(salida, "\n\n\n");
sprintf(temporal, "(%s)-((%s)*(%s)*(%s))/((%s)*(%s)+1)", y11, y12, y21, zc, y22, zc);
strcpy(yin, matho(temporal));
imprime(salida, yin);
imprime(salida, "\n\n\n");
imprime(salida, "-----Corriente de Salida-----\n");
imprime(salida, "\n\n\n");
sprintf(temporal, "((%s)*(%s))/((%s)*(%s)*(%s))+((%s)*(%s))+((%s)*(%s)+1)", y21, vg, D, rg, zc, y11, rg, y22, zc);
strcpy(I2, matho(temporal));
imprime(salida, I2);
imprime(salida, "\n\n\n");
```

```

imprime(salida, "-----Voltaje de Thevenin-----
-----");
imprime(salida, "\n\n\n");
sprintf(temporal, "(-
(%s)*(%s))/((%s)+((%s)*(%s)))", y21, vg, y22, D, rg);
strcpy(vth, matho(temporal));
imprime(salida, vth);
imprime(salida, "\n\n\n");
imprime(salida, "-----Impedancia de Thevenin-----
-----");
imprime(salida, "\n\n\n");
sprintf(temporal, " ((%s)*(%s))+1)/((%s)+((%s)*(%s)))
", y11, vg, y22, D, rg);
strcpy(zth, matho(temporal));
imprime(salida, zth);
imprime(salida, "\n\n\n");
imprime(salida, "----- I2/I1 -----");
imprime(salida, "\n\n\n");
sprintf(temporal, "(%s)/((%s)+((%s)*(%s)))", y21, y11, D, rg);
strcpy(ganancia, matho(temporal));
imprime(salida, ganancia);
imprime(salida, "\n\n\n");
imprime(salida, "----- V2/Vg -----");
imprime(salida, "\n\n\n");
sprintf(temporal, "((%s)*(%s))/(((%s)*(%s)*(%s)*(%s))-
(((%s)(%s))+1)*(((%s)(%s))+1))
", y21, zc, y21, y12, rg, zc, y11, rg, y22, zc);
strcpy(ganancia1, matho(temporal));
imprime(salida, ganancia1);
imprime(salida, "\n\n\n");

```

Figura 3.11. Algoritmo para el cálculo del equivalente de Thevenin y Norton.

CAPITULO 4

ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestra la capacidad de cálculo del programa de cuadripolos y equivalente de Thevenin y Norton anexado al AnSIRE.

4.1 CIRCUITO CON 2 CUADRIPOLOS IGUALES CONECTADOS EN SERIE

El circuito a simular, es de dos cuadripolos que esta interconectados con una configuración serie-serie como se puede apreciar en la figura 4.1.

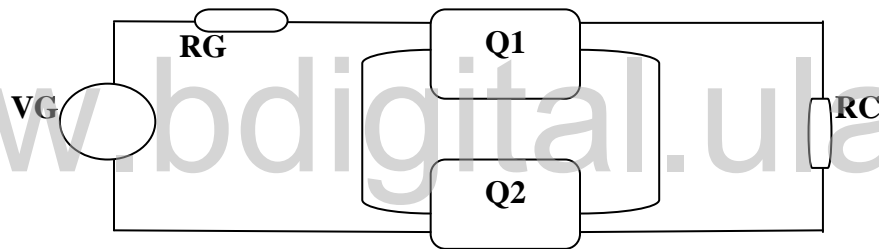


Figura 4.1. Conexión del ejemplo N° 1.

En la *netlist* se describe este circuito de la siguiente manera:

```
.SUBCKT L 1 3 2 3
r1 1 3 r1
r2 2 3 r1
.ENDS

.SUBCKT P 1 3 2 3
r1 1 3 r1
r2 2 3 r1
.ENDS

.ecuacion (-L-#-P-)
.ENDS

.vg V
.ENDS
.Rg r1
.ENDS
.Zc r1
.ENDS
```

Figura 4.2. Archivo texto ejemplo N° 1.

Donde:

Q1 es .SUBCKT L

Q2 es .SUBCKT P

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

```

*****
*
*                               UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
*                               FACULTAD DE INGENIERIA
*                               ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
*
* ANALISIS SIMBOLICO DE CIRCUITOS ELECTRICOS. PARTE 3: Cuadripolos
*
* Luis Arturo Moreno Diaz.
*
* Francisco J. Vilorio M.
*
*
* Version 1.0, abril, 2017
* Version 1.1, diciembre, 2019
* Version 1.2, septiembre, 2020
*****

Lista de elementos:
-----
Subcircuitos:
elemento  nodo+  nodo-  cont+  cont-
      L      1      3      2      3
                elemento  nodo+  nodo-  valor
                R1        1      3      R1
                R2        2      3      R1
      P      1      3      2      3
                elemento  nodo+  nodo-  valor
                R1        1      3      R1
                R2        2      3      R1

L -----
Matriz Yind 3x3
(1)/(R1) (-1)/(R1) 0
(-1)/(R1) (2)/(R1) (-1)/(R1)
0 (-1)/(R1) (1)/(R1)

Matriz cuadripolo

L 2x2
(1)/(R1) (-1)/(R1)
(-1)/(R1) (2)/(R1)

P -----
Matriz Yind 3x3
(1)/(R1) (-1)/(R1) 0
(-1)/(R1) (2)/(R1) (-1)/(R1)
0 (-1)/(R1) (1)/(R1)

Matriz cuadripolo

P 2x2
(1)/(R1) (-1)/(R1)
(-1)/(R1) (2)/(R1)

```

Figura 4.3. Salida por pantalla ejemplo N° 1.

Lo que se muestra a continuación, es la transformación de los cuadripolos de un parámetro a otro, es decir, según como lo indica la ecuación de conexión que está en la *netlist*, se transforman los cuadripolos a su correspondiente. En este caso, la matriz indefinida nos da resultados de los cuadripolos expresados en admitancia, este resultado lo podemos observar en la figura 4.4. Se lleva este cuadripolo expresado de esta forma a su correspondiente conexión que para este ejemplo será serie-serie que es el significado del símbolo de # explicado en el capítulo anterior.

El cuadripolo L y el cuadripolo P se transforman sus parámetros a serie-serie (Z), dando como resultado lo que se muestra en la figura 4.5, donde primero se transforma el cuadripolo L y luego el P, y el resultado de cada uno de ellos se une en un solo equivalente del cuadripolo.

```

-----cuadripolo equivalente-----

transformacion del cuadripolo L
-----TRANSFORMADA MATRIZ Y-----
el determinante es: | (1)/(R1^2) |

matriz de Y a Z

|          2*R1 | |          R1 |
|          R1  | |          R1 |

transformacion del cuadripolo P
-----TRANSFORMADA MATRIZ Y-----
el determinante es: | (1)/(R1^2) |

matriz de Y a Z

|          2*R1 | |          R1 |
|          R1  | |          R1 |

```

Figura 4.4. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 1.

```
-----
resultado serie/serie de los cuadripolos P,L
```

```
|                               4*R1 |
|                               2*R1 |
|                               2*R1 |
|                               2*R1 |
```

Figura 4.5. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 1

Para calcular el equivalente de Thevenin y Norton de la figura 4.6, se implementaron en un algoritmo las ecuaciones 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14, las cuales dan como resultado lo siguiente:

```
-----Resultado final,cuadripolo equivalente expresado en admitancia -----
```

```
| (0.5)/(R1) | | (-0.5)/(R1) |
| (-0.5)/(R1) | | (1)/(R1) |
```

```
-----Resultados del Circuito-----
```

```
-----Admitancia de entrada-----
```

```
(0.375)/(R1)
```

```
-----Corriente de Salida-----
```

```
(-0.1818181818181818*V)/(R1)
```

```
-----Voltaje de Thevenin-----
```

```
0.4*V
```

Figura 4.6. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 1

```

-----Impedancia de Thevenin-----
(0.4*V) + (0.8*R1)
----- I2/I1 -----
-0.666666666666667
----- V2/Vg -----
0.18181818181818
----- IN -----
(V)/((V + (2*R1)))

```

Figura 4.7. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 1

4.2 CIRCUITO CON 2 CUADRIPOLOS IGUALES CONECTADOS EN SERIE-PARALELO

El circuito a simular, es de dos cuadripolos que esta interconectados con una configuración serie-paralelo como se puede apreciar en la figura 4.7.

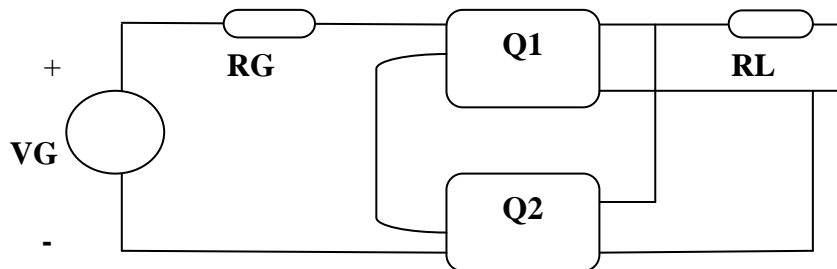


Figura 4.8. Conexión del ejemplo N° 2.

En la *netlist* se describe este circuito de la siguiente manera:


```

.SUBCKT L 1 3 2 3
r1 1 3 r1
r2 1 2 r1
.ENDS

.SUBCKT P 1 3 2 3
r1 1 3 r1
r2 1 2 r1
.ENDS

.ecuacion (-L-$P-)
.ENDS

.vg V
.ENDS
.Rg r1
.ENDS
.zc r1
.ENDS

```

Figura 4.9. Archivo texto ejemplo N° 2.

Donde:

Q1 es .SUBCKT L

Q2 es .SUBCKT P

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

```

*****
*
*                UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
*                FACULTAD DE INGENIERIA
*                ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
*
*
* ANALISIS SIMBOLICO DE CIRCUITOS ELECTRICOS. PARTE 3: Cuadripolos
*
* Luis Arturo Moreno Diaz.
*
* Francisco J. Vilorio M.
*
*
* Version 1.0, abril, 2017
* Version 1.1, diciembre, 2019
* Version 1.2, septiembre, 2020
*****

```

Figura 4.10. Salida por pantalla ejemplo N° 2.

```

Lista de elementos:
-----
Subcircuitos:
elemento  nodo+  nodo-  cont+  cont-
      L      1      3      2      3
           elemento  nodo+  nodo-  valor
           R1        1      3      R1
           R2        1      2      R1

      P      1      3      2      3
           elemento  nodo+  nodo-  valor
           R1        1      3      R1
           R2        1      2      R1
-----
L -----
Matriz Yind 3x3
(2)/(R1) (-1)/(R1) (-1)/(R1)
(-1)/(R1) (1)/(R1) 0
(-1)/(R1) 0 (1)/(R1)

Matriz cuadripolo

L 2x2
(2)/(R1) (-1)/(R1)
(-1)/(R1) (1)/(R1)

P -----
Matriz Yind 3x3
(2)/(R1) (-1)/(R1) (-1)/(R1)
(-1)/(R1) (1)/(R1) 0
(-1)/(R1) 0 (1)/(R1)

Matriz cuadripolo

P 2x2
(2)/(R1) (-1)/(R1)
(-1)/(R1) (1)/(R1)

```

Figura 4.11. Salida por pantalla ejemplo N° 2.

-----cuadripolo equivalente-----

transformacion del cuadripolo L

-----TRANSFORMADA MATRIZ Y-----

el determinante es: $\begin{vmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{vmatrix} \quad (1)/(R1^2) \quad |$

matriz de Y a H

	0.5*R1			0.5	
	-0.5			(0.5)/(R1)	

transformacion del cuadripolo P

-----TRANSFORMADA MATRIZ Y-----

el determinante es: $\begin{vmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{vmatrix} \quad (1)/(R1^2) \quad |$

matriz de Y a H

	0.5*R1			0.5	
	-0.5			(0.5)/(R1)	

Figura 4.12. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 2.

 resultado serie/paralelo de los cuadripolos P,L

		R1
		1
		-1
		(1)/(R1)

-----Resultado final,cuadripolo equivalente expresado en admitancia -----

	(1)/(R1)		(-1)/(R1)
	(-1)/(R1)		(2)/(R1)

-----Resultados del Circuito-----

-----Admitancia de entrada-----

(0.666666666666667)/(R1)

-----Corriente de Salida-----

(-0.2*V)/(R1)

-----Voltaje de Thevenin-----

0.333333333333333*V

-----Impedancia de Thevenin-----

(0.333333333333333*V) + (0.333333333333333*R1)

----- I2/I1 -----

-0.5

----- V2/Vg -----

0.2

----- IN -----

(V)/((V + R1))

Figura 4.13. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 2.

4.3 CIRCUITO CON 3 CUADRIPOLOS

El circuito a simular, es de tres cuadripolos que esta interconectados con una configuración se paralelo-paralelo Q1 y Q2 y luego el resultado de ellos en serie-serie con Q3 como se puede apreciar en la figura 4.13.

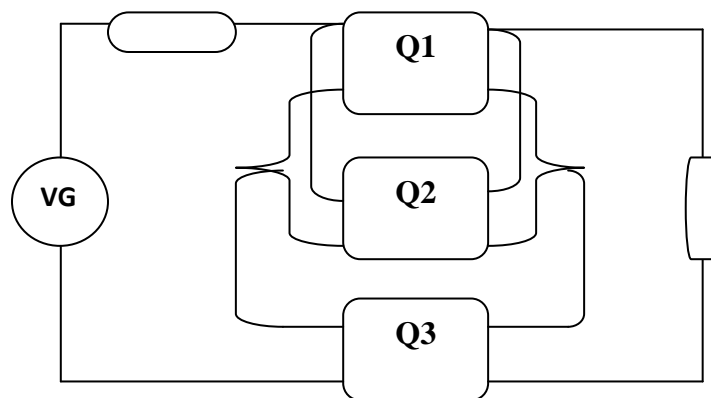


Figura 4.14. Conexión del ejemplo numero 3.

En la *netlist* se describe este circuito de la siguiente manera:

```
.SUBCKT l 1 3 2 3
r1 1 3 r1
r2 1 2 r1
.ENDS

.SUBCKT u 1 3 2 3
r1 1 3 r1
r2 1 2 r1
.ENDS

.SUBCKT e 1 3 2 3
r1 1 2 r1
r2 2 3 r1
c1 1 2 c1
.ENDS

.ecuacion (-l-!-u-)-#-(-e-)
.ENDS

.vg V
.ENDS
.Rg r1
.ENDS
.Zc r1
.ENDS
```

Figura 4.15. Archivo texto ejemplo N° 3.

Donde:

Q1 es .SUBCKT L

Q2 es .SUBCKT U

Q3 es .SUBCKT E

Los resultados fueron los siguientes:

```
*****  
*                      UNIVERSIDAD DE LOS ANDES                      *  
*                      FACULTAD DE INGENIERIA                        *  
*                      ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA              *  
*                      *                                           *  
* ANALISIS SIMBOLICO DE CIRCUITOS ELECTRICOS. PARTE 3: Cuadripolos *  
*                      *                                           *  
* Luis Arturo Moreno Diaz.                                         *  
*                      *                                           *  
* Francisco J. Viloria M.                                          *  
*                      *                                           *  
*                      *                                           *  
* Version 1.0, abril, 2017                                         *  
* Version 1.1, diciembre, 2019                                    *  
* Version 1.2, septiembre, 2020                                    *  
*****
```

Lista de elementos:

Subcircuitos:						
elemento	nodo+	nodo-	cont+	cont-		
L	1	3	2	3		
		elemento		nodo+	nodo-	valor
		R1		1	3	R1
		R2		1	2	R1
U	1	3	2	3		
		elemento		nodo+	nodo-	valor
		R1		1	3	R1
		R2		1	2	R1
E	1	3	2	3		
		elemento		nodo+	nodo-	valor
		R1		1	2	R1
		R2		2	3	R1
		C1		1	2	C1

Figura 4.16. Salida por pantalla ejemplo N° 3.

```

L -----
Matriz Yind 3x3
  (2)/(R1)  (-1)/(R1)  (-1)/(R1)
  (-1)/(R1)  (1)/(R1)  0
  (-1)/(R1)  0  (1)/(R1)

Matriz cuadripolo

L 2x2
  (2)/(R1)  (-1)/(R1)
  (-1)/(R1)  (1)/(R1)

U -----
Matriz Yind 3x3
  (2)/(R1)  (-1)/(R1)  (-1)/(R1)
  (-1)/(R1)  (1)/(R1)  0
  (-1)/(R1)  0  (1)/(R1)

Matriz cuadripolo

U 2x2
  (2)/(R1)  (-1)/(R1)
  (-1)/(R1)  (1)/(R1)

E -----
Matriz Yind 3x3
  ((1 + (S*C1*R1)))/(R1)  (-(1 + (S*C1*R1)))/(R1)  0
  (-1 + (S*C1*R1)))/(R1)  ((2 + (S*C1*R1)))/(R1)  (-1)/(R1)
  0  (-1)/(R1)  (1)/(R1)

Matriz cuadripolo

E 2x2
  ((1 + (S*C1*R1)))/(R1)  (((-S*C1*R1) - 1))/(R1)
  (((-S*C1*R1) - 1))/(R1)  ((2 + (S*C1*R1)))/(R1)

-----cuadripolo equivalente-----
|

transformacion del cuadripolo L

|          (2)/(R1) |
|          (-1)/(R1) |
|          (-1)/(R1) |
|          (1)/(R1) |

```

Figura 4.17. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 3.

```

transformacion del cuadripolo U
|
|          (2)/(R1) |
|
|          (-1)/(R1) |
|
|          (-1)/(R1) |
|
|          (1)/(R1) |

-----TRANSFORMADA MATRIZ Y-----

resultado paralelo/paralelo de los cuadripolos U,L

|
|          (4)/(R1) |
|
|          (-2)/(R1) |
|
|          (-2)/(R1) |
|
|          (2)/(R1) |

transformacion del cuadripolo E
-----TRANSFORMADA MATRIZ Y-----
el determinante es: |          ((1 + (S*C1*R1)))/(R1^2) |

matriz de Y a Z

| (((2*R1) + (R1^2*S*C1)))/(1 + (S*C1*R1)) | |          R1 |
|          R1 | |          R1 |

transformacion del cuadripolo R
-----TRANSFORMADA MATRIZ Y-----
el determinante es: |          (4)/(R1^2) |

matriz de Y a Z

|          0.5*R1 | |          0.5*R1 |
|          0.5*R1 | |          R1 |

```

Figura 4.18. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 3.

 resultado serie/serie de los cuadripolos E,R

$$\begin{array}{l} | ((2.5*R1) + (1.5*R1^2*S*C1))/((1 + (S*C1*R1))) | \\ | \qquad \qquad \qquad 1.5*R1 | \\ | \qquad \qquad \qquad 1.5*R1 | \\ | \qquad \qquad \qquad 2*R1 | \end{array}$$

-----Resultado final,cuadripolo equivalente expresado en admitancia -----

$$\begin{array}{l} | ((8 + (8*S*C1*R1))/((11*R1) + (3*R1^2*S*C1))) | \\ | ((-6 - (6*S*C1*R1))/((3*R1^2*S*C1) + (11*R1))) | \\ | ((-6 - (6*S*C1*R1))/((3*R1^2*S*C1) + (11*R1))) | \\ | ((10 + (6*R1*S*C1))/((11*R1) + (3*R1^2*S*C1))) | \end{array}$$

-----Resultados del Circuito-----

-----Admitancia de entrada-----

$$((4 + (4*S*C1*R1))/((7*R1) + (3*R1^2*S*C1)))$$

-----Corriente de Salida-----

$$((-2*V*S*C1*R1) - (2*V))/((11*R1) + (7*R1^2*S*C1))$$

-----Voltaje de Thevenin-----

$$((3*V) + (3*V*S*C1*R1))/(7 + (5*R1*S*C1))$$

Figura 4.19. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 3.

-----Impedancia de Thevenin-----

$$\frac{(((3*s\wedge 2*c1\wedge 2*r1\wedge 2) + (8*s\wedge 2*c1\wedge 2*r1*v) + (11*s*c1*r1) + (8*s*c1*v)))}{(((10*r1*s\wedge 2*c1\wedge 2) + (14*s*c1)))}$$

----- I2/I1 -----

-0.5

----- V2/Vg -----

$$(((2*s*c1*r1) + 2))/((11 + (7*r1*s*c1)))$$

----- IN -----

$$(((6*v) + (6*v*s*c1*r1)))/(((3*r1\wedge 2*s*c1) + (11*r1) + (8*v*r1*s*c1) + (8*v)))$$

Figura 4.20. Continuación de salida por pantalla ejemplo N° 3.

www.bdigital.ula.ve

CONCLUSION

Se logró expandir el programa de AnSIRE con el nuevo algoritmo de la teoría de cuadripolos y el equivalente de Thevenin y Norton.

Se logró crear un algoritmo para la reducir un cuadripolo complejo a un cuadripolo de matriz con dimensión 2×2 con el método de matriz de admitancia indefinida.

Para resolver y obtener el equivalente de varios cuadripolos interconectados se creó un algoritmo el cual está contenido en la función 3.5, que ayudó a realizar esta operación de manera sencilla tomando del archivo texto una ecuación introducida por el usuario y así procesarla para obtener los resultados del equivalente del cuadripolo esperado.

Para el equivalente de Thevenin y Norton se agregaron sus respectivas ecuaciones al programa. Estas ecuaciones las podemos encontrar en el capítulo 2.

www.bdigital.ula.ve

BIBLIOGRAFIA

- [1] William Hart, Hayt. Análisis de circuitos en ingeniería. Quinta edición. 1920-1999.
- [2] James W. Nilson y Susan A. Riedel. Circuitos Eléctricos. Séptima edición. 2005.
- [3] Fernando Bianchi. Guia de la Universidad Tecnologica Nacional. Cuadripolo versión 3.1. Facultad Regional Rosario. Electro-tenía. Marzo 2010.
- [4] <https://pablin.com.ar/electronica/cursos/introao1/analisis.html>
- [5] Marcelo Tapia. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Programas para el cálculo de funciones de red usando la matriz de admitancia indefinida. Quito, Abril, 1986.
- [6] Charles K. Alexander, Matthew N.O.Sadiku. Fundamentos de circuitos eléctricos. Tercera edición.
- [7] M. E Van Valkenburg. Análisis de redes. Tercera edición 1999.
- [8] Ing Helena Vass. Guia de circuitos eléctricos III. Quito 1988.
- [9] Robert Spence. Linear active networks.