ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

" PROGRAMA DIGITAL ´SIREP´ EN LENGUAJE C (SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS) "

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO ELECTRICO EN LA ESPECIALIDAD DE
SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

LUIS ROSENDO BONILLA GUEVARA

QUITO
MARZO DE 1993

CERTIFICO QUE EL PRESENTE
TRABAJO HA SIDO ELABORADO
POR LUIS BONILLA GUEVARA.

ING. HELENA VASS.
DIRECTORA DE TESIS

A G R A D E C I M I E N T O

A la Ingeniera Helena Vass por
su ayuda desinteresada.

D E D I C A T O R I A

A toda mi familia.
Con amor.

I N D I C E

PAG

CAPITULO I

INTRODUCCION

CAPITULO II

REALIZABILIDAD DE REDES

CAPITULO III

SINTESIS INTEGRADA DE FUNCIONES DE EXCITACION

CAPITULO IV

SINTESIS INTEGRADA DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

CAPITULO V

MANUAL Y USO DEL PROGRAMA SIREP

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.- ANTECEDENTES

El problema de la síntesis parte de la formulación matemática del comportamiento de la función de red pasiva y conduce a la determinación de las redes que cumplen con dicha función. Este problema no tiene solución única por lo que se consideran diferentes respuestas (según el tipo de función a sintetizar).

La síntesis integrada es en definitiva la búsqueda de estructuras de red, para un tipo de comportamiento dado a los (dos o más) terminales de la red; dichas estructuras de red, con los valores de cada uno de los elementos, se los obtiene gracias a que la relación de polinomios se expresan en forma de la transformada de la Laplace (en la frecuencia s).

FRECUENCIA COMPLEJA s.- La variable de frecuencia compleja s, es un número complejo expresado por :

$$s = \sigma + jw$$

donde:

σ es la parte real o también se denomina como frecuencia nepperiana.

w es la parte imaginaria o frecuencia angular de la red.

CEROS DE TRANSMISION.- Son los ceros de cualquier función de transferencia T(s) del tipo respuesta - excitación. Se tiene un cero en el infinito si el grado del numerador P(s) es menor al grado del denominador Q(s). En sí, existen n - **m** ceros de transmisión en el infinito, siendo m el grado del polinomio numerador y n el grado del polinomio denominador.

TIPOS DE ENERGIA .- Para el estudio de energías en cada elemento de una red pasiva (R, L, C), se parte del desarrollo :

En una resistencia R :

$$P_{(t)} = v_{(t)}\, i_{(t)}$$

$$P_{(t)} = R i^2 = G v^2 \qquad \text{ec. 1.1.}$$

P(t) => potencia instantánea

En una inductancia L :

$$P_{(t)} = L\,i\,\frac{d}{dt}(i) = \phi\frac{d}{dt}(\phi)$$

$$P_{(t)} = \frac{d}{dt}(\omega) \quad ; \quad \omega = \frac{1}{2}L\,i^2 \qquad \text{ec. 1.2.}$$

W(t) => energía almacenada instantánea

En un capacitor C :

$$P_{(t)} = C\,v\,\frac{d}{dt}(v) = S\,q\,\frac{d}{dt}(q)$$

$$P_{(t)} = \frac{d}{dt}(\omega) \quad ; \quad \omega = \frac{1}{2}C\,v^2$$

ec. 1.3.

W(t) => energía almacenada instantánea

La energía magnética almacenada en un inductor (L) viene dada por :

$$\tau = \frac{1}{2}L\,i^2 \qquad \text{ec. 1.4.}$$

Al tomar en cuenta todos los inductores se obtiene :

$$\frac{d}{dt}\left(T\right) = \sum_{r=1}^{l}\sum_{s=1}^{l} L_{rs}\, i_r \frac{d}{dt}\left(i_s\right)$$

$$T = \int \sum_{r=1}^{l}\sum_{s=1}^{l} L_{rs}\, i_r \frac{d}{dt}\left(i_s\right) dt$$

$$T = \sum_{r=1}^{l}\sum_{s=1}^{l} L_{rs} \int i_r \frac{d}{dt}\left(i_s\right) dt$$

$$T = \sum_{r=1}^{l}\sum_{s=1}^{l} L_{rs} \left(i_r\, i_s - \int i_s \, d\, i_r \right)$$

ec. 1.5.

de ec.1.2.

siendo $L_{rs} = L_{sr}$

$$T = \sum_{r=1}^{l}\sum_{s=1}^{l} L_{rs}\, i_r\, i_s - \sum_{r=1}^{l}\sum_{s=1}^{l} L_{rs} \int i_s \, d\, i_r$$

$$T = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^{l}\sum_{s=1}^{l} L_{rs}\, i_r\, i_s$$

ec. 1.6.

La energía eléctrica almacenada en los capacitores (C) tiene la misma fórmula matemática que la de los inductores; por lo tanto, se tiene en cuenta el mismo análisis y se obtiene :

$$V = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^{l} \sum_{s=1}^{l} C_{rs} V_r V_s \qquad \text{ec. 1.7.}$$

En cambio la energía disipada por todas las resistencias es:

$$F = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^{l} \sum_{s=1}^{l} R_{rs} i_r i_s \qquad \text{ec. 1.8.}$$

Siendo F una medida de velocidad de disipación y T y V son energías, que puede ser escrita en función de potencias instantáneas como:

$$P_{(t)} = \frac{d}{dt}(T) + 2F + \frac{d}{dt}(V) \qquad \text{ec. 1.9.}$$

Las formas cuadráticas son de gran importancia para la realizabilidad de funciones de red.

Por lo tanto una expresión de primer grado es una forma lineal y una de segundo grado es la llamada forma cuadrática.

De las expresiones :

$$\sum_{k=1}^{n} a_k x_k \quad ; \quad \sum_{i,k=1}^{n} a_{ik} x_k x_i$$

(a) (b)

ec. 1.10.

la ecuación 1.10a es una forma lineal sobre las variables x_1, $x_2, \ldots, x_n$; mientras que la ecuación 1.10b es una forma cuadrática sobre las variables x_1, $x_2, \ldots, x_n$. Asumiendo en estas formas que los a´s son reales.

Por lo tanto, dependiendo de las formas cuadráticas y del análisis de lazos para una red pasiva, tenemos:

$$E_r = \sum_{i=1}^{l} \left(L_{ri}\, s + R_{ri} + \frac{S_{ri}}{s} \right) I_i$$

$$E_r \dot{I}_r = \dot{I}_r \sum_{i=1}^{l} \left(L_{ri}\, s + R_{ri} \frac{S_{ri}}{s} \right) I_i$$

$$\sum_{r=1}^{l} E_r \dot{I}_r = \sum_{r=1}^{l} \sum_{i=1}^{l} \left[L_{ri} I_r I_i \right] s + \sum_{r=1}^{l} \sum_{i=1}^{l} R_{ri} I_r I_s + \sum_{r=1}^{l} \sum_{j=1}^{l} \left[S_{ri} I_r I_i \right] \frac{1}{s}$$

$$\sum_{r=1}^{l} E_r \dot{I}_r = T' s + F' + \frac{V'}{s}$$

$$E_1 \neq 0 \; ; \; \sum_{r=2}^{l} Er = 0$$

$$E_1 \, \dot{I}_1 = \tau' s + F' + \frac{V'}{s}$$

$$\left(E_1 \, \dot{I}_1 \right) \frac{1}{|I|^2} = \left(\tau' s + F' + \frac{V'}{s} \right) \frac{1}{|I|^2}$$

$$\frac{E_1}{I_1} = \tau o \, s + Fo + \frac{Vo}{s} = Z_{(s)}$$ ec. 1.11.

$$Y_{(s)} = Vo\, s + Fo + \frac{\tau o}{s}$$

ec. 1.12.

1.2.- OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es realizar un programa digital, con características didácticas, tipo usuario , para la síntesis integrada de redes eléctricas pasivas. Determinará si una función de red a ser sintetizada cumple con las funciones reales y positivas, que a su vez se sintetizará como una función de excitación y/o de transferencia, obteniendo como resultado la estructura de red pasiva lineal, con la combinación de los elementos pasivos.

La función de red es analizada por cada una de las propiedades de la función real y positiva. Si dicha función satisface todas las propiedades se puede iniciar la síntesis integrada de funciones de excitación, que son estudiadas de cuatro formas o métodos :

- Síntesis de la forma Z (impedancia)
- Síntesis de la forma Y (admitancia)
- Síntesis de la forma Serie
- Síntesis de la forma Paralelo

De igual manera se analiza las matrices reales positivas, por los cuales cada elemento a_{ij} en definitiva deben cumplir con las propiedades de las funciones reales y positivas. La síntesis de funciones de transferencia se desarrolla en base a los métodos de los ceros de transmisión en el infinito y en el origen.

1.3.- ALCANCE

Se divide al presente trabajo en seis capítulos, los cuales se describen en forma breve:

En el Capítulo I, se da una visualización al problema de la síntesis integrada de redes eléctricas pasivas. Algunas acotaciones de interés para el desarrollo posterior del presente trabajo.

En el Capítulo II, se describe las propiedades para las funciones reales y positivas, el estudio de las matrices reales positivas, acotaciones y propiedades de las funciones de excitación de redes bipolares.

En el Capítulo III, se presenta el análisis y los métodos para el desarrollo de la síntesis integrada de funciones de excitación, con cada uno de las formas descritas anteriormente en el literal 1.2.

En el Capítulo IV, se expone el análisis y los métodos para el desarrollo de la síntesis integrada de funciones de transferencia de las diferentes combinaciones de elementos pasivos.

El Capítulo V, se desarrolla el manual y uso del programa con cada una de las pantallas necesarias para un tipo de función seleccionada; tiene además comparación de ejemplos y las restricciones al programa.

Y finalmente el Capítulo VI, incluye los comentarios y conclusiones obtenidos en el desarrollo del trabajo, bibliografía y un grupo de apéndices.

C A P I T U L O II

REALIZABILIDAD DE REDES

2.1.- CONCEPTO DE FUNCION REAL Y POSITIVA

La función de red de un sistema está definida como una función de s, representada por la relación de la transformada de la Laplace de una respuesta (o salida) y la transformada de la Laplace de una excitación (o entrada). Existiendo dos tipos de funciones de interés, siendo : la función de excitación (de un par de terminales) y la función de transferencia (de dos pares terminales), cada una de ellas puede tener dimensiones de impedancia, admitancia o adimensional. Para una función de excitación la entrada y la salida son medidos en el mismo par de terminales como vemos en la figura 2.1.a. Para una función de transferencia la entrada y la salida son medidos a dos diferentes pares de terminales.

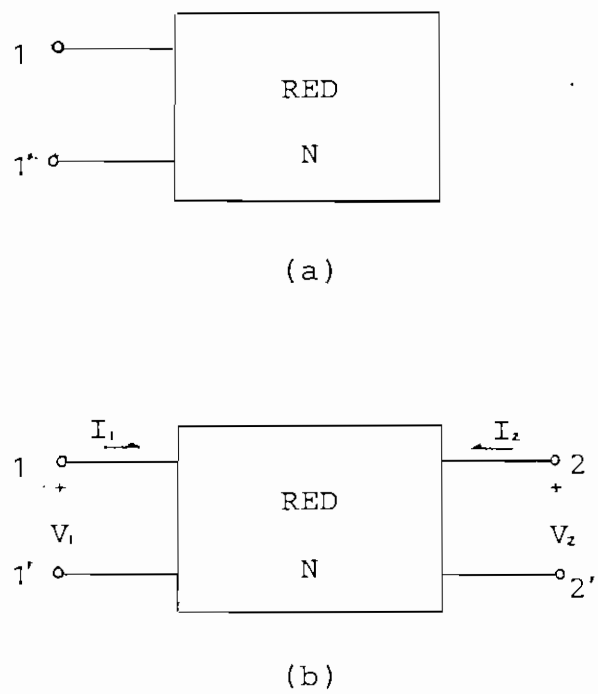


FIG. 2.1.

En cada par de terminales (1-1´ ó 2-2´) de la figura 2.1.b. se puede determinar el voltaje y la corriente, por lo tanto, las impedancias y admitancias de excitación en el punto 1-1´son:

$$Z(s)_{11'} = \frac{V1(s)}{I1(s)}$$

$$Y(s)_{11'} = \frac{I1(s)}{V1(s)}$$

Estas impedancias y admitancias de excitación pueden ser representadas por la relación de dos polinomios reales P(s) y Q(s):

$$F_{(s)} = \frac{P_{(s)}}{Q_{(s)}} = \frac{a_0 s^m + a_1 s^{m-1} + \ldots + a_{m-1} s + a_m}{bo\, s^n + b_1 s^{n-1} + \ldots + b_{n-1} s + b_n}$$

ec. 2.1.

con los a´s y b´s coeficientes constantes reales y positivos, los exponentes **m´s** y **n´s** sean finitos. Mas adelante se verá que esto cumple con una de las propiedades de las Funciones Reales y Positivas.

Para el caso en que el polinomio del numerador P(s) = 0 se tiene m raíces de P(s) y si el polinomio del denominador Q(s) = 0 se tiene n raíces de Q(s); si los valores de ao $\neq$ 0 y bo $\neq$ 0 se puede escribir F(s) de la siguiente forma:

$$F_{(s)} = \frac{a_0}{b_0} \frac{(s + z_1)(s + z_2)\ldots(s + z_m)}{(s + p_1)(s + p_2)\ldots(s + p_n)}$$

ec. 2.2.

donde H = ao / bo es el factor de escala o multiplicador.

A todos los valores de z´s de P(s) se les denominan ceros de la función de red y los valores de p´s de Q(s) se les denominan polos de la función de red.

Lo fundamental dentro del desarrollo de la síntesis de redes es el concepto de real positiva. Se define a una función F(s) como función real y positiva si satisface las siguientes condiciones :

1.- F(s) es real para s real; esto es, $F(\sigma)$ es puramente real.
2.- Re $[F(s)] \geq 0$ para Re $\{s\} \geq 0$

Donde, la primera condición puede ser chequeada por inspección, sin embargo esto requiere simplemente que todcs los coeficientes de F(s) sean reales; esta condición asigna el término " real " en la designación de real y positiva. En cambio la segunda condición introduce la parte " positiva " de la designación, esta requiere que todos los puntos se encuentren en el eje imaginario o en la mitad izquierda del plano s.

Si F(s) es real y positiva y es representada por $F = u(\sigma,w) + jv(\sigma,w)$, entonces:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{(u+jv)} = \frac{u}{(u^2+v^2)} - j\frac{v}{(u^2+v^2)}$$

ec. 2.3.

Ya que para una función real y positiva F,u ≥ 0 para $\sigma \geq 0$, la parte real de 1/F es del mismo modo no negativa en el la mitad izquierda del plano y sobre el eje j.

Por lo tanto estas dos condiciones definen a la Función Real y Positiva.

2.1.1.- PROPIEDADES DE LA FUNCION REAL Y POSITIVA (CONDICIONES NECESARIAS)

Propiedad i.- Los coeficientes de P(s) y Q(s) deben ser reales y positivos.

$$F_{(s)} = \frac{P_{(s)}}{Q_{(s)}} = \frac{a_0}{b_0}\, \frac{s^m\left(1+\frac{a_1}{a_0 s}+\frac{a_2}{a_0 s^2}+\ldots+\frac{a_m}{a_0 s^m}\right)}{s^n\left(1+\frac{b_1}{b_0 s}+\frac{b_2}{b_0 s^2}+\ldots+\frac{b_n}{b_0 s^n}\right)}$$

ec. 2.4.

donde : $a_0, a_1, a_2, \ldots, a_m \geq 0$
$b_0, b_1, b_2, \ldots, b_n \geq 0$

Con F(s) real cuando s es real y H = ao/bo real y positivo.

Cuando se tienen polos o ceros complejos debe existir los polos o ceros conjugados de tal manera que al hacer el producto, los coeficientes no sean números complejos; caso contrario, no se considera como un polo o un cero de la función de red.

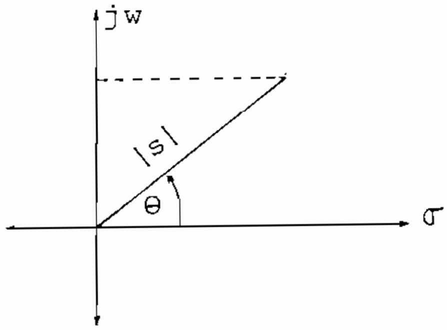
Propiedad ii.- La parte real de todos los polos y ceros de F(s) debe ser negativa o cero.

Propiedad iii.- Los polos y ceros de F(s) que estén en el eje imaginario deben ser simples y conjugados.

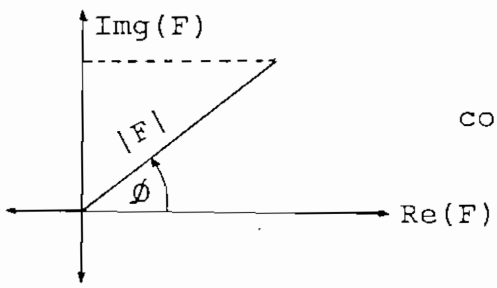
Propiedad iv.- El grado del numerador y denominador de F(s) difieren a lo más en uno.

Si consideramos valores grandes de s, se tiene:

$$F_{(s)} \approx \frac{a_0}{b_0} s^{m-n} \qquad \text{ec. 2.5.}$$



$$\cos\theta = \frac{Re(s)}{|s|}$$



$$\cos\phi = \frac{Re(F)}{|F|}$$

$$\phi = Arg\,\frac{a_0}{b_0}\,s^{m-n} = Arg\,\frac{a_0}{b_0}\,|s|^{m-n}\,e^{j(m-n)\theta}$$

$$\phi = (m-n)\,\theta$$

$$\cos\phi \geq \cos\theta$$

$$|\phi| \leq |\theta|$$

$$|m-n| \leq 1$$

$m - n$ debe tener valores de : 1, 0 , -1

Propiedad v.- Los términos de más bajo grado de los polinomios del numerador y denominador difieren en lo más en uno.

Si se considera valores pequeños de s, se tiene:

$$F_{(s)} \approx \frac{a_{n-2}s^2 + a_{n-1}s + a_n}{b_{n-2}s^2 + b_{n-1}s + b_n} \qquad \text{ec. 2.6.}$$

Para que $F_{(s)} = 0,1,-1$ tenemos : $a_n, b_n \neq 0 \Rightarrow F_{(s)} = \frac{a_n}{b_n}$

$$a_n \neq 0, b_n = 0 \Rightarrow F_{(s)} = \frac{a_{n-1}\ s}{b_n}$$

$$a_n = 0, b_n \neq 0 \Rightarrow F_{(s)} = \frac{a_n}{b_{n-1}\ s}$$

Se Concluye : a) No debe existir polos ni ceros en la mitad derecha del plano s.

b) En el eje e imaginario los polos deben ser simples, no es permitido polos y ceros de multiplicidad mayor a uno.

c) Para que b) se cumpla debe cumplir con $Re\{F(s)\} \geq 0$ para $0 \leq w \leq \infty$.

A una Función real y positiva se le puede expresar también como un cociente de dos polinomios de Hurwitz, los mismos que se definen como un polinomio que no tiene ceros en el semiplano de la derecha.

En el polinomio de Hurwitz no le deben faltar las potencias de s entre los términos de mayor a menor grado, sí y solo si faltan todos los términos pares o impares.

Se puede considerar que F(s) puede ser expresado como:

$$F(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} = \frac{M1(s) + N1(s)}{M2(s) + N2(s)}$$

ec. 2.7.

Siendo : M1(s), M2(s) las partes par de P(s) y Q(s).
N1(s), N2(s) las partes impar de P(s) y Q(s).

El polinomio de P(s) puede ser expresado como el cociente entre M1(s) y N1(s) denominado como r(s).

Cuando M1(s) es mayor que N1(s) la fracción es : M1(s) / N1(s) y viceversa.

$$P(s) = r(s) = \frac{M1(s)}{N1(s)} \quad : \quad M1(s) > N1(s)$$

$$P(s) = r(s) = \frac{N1(s)}{M1(s)} \quad : \quad N1(s) > M1(s)$$

Obteniendo la expresión de fracciones continuas :

$$F_{(s)} = d_1 s + \cfrac{1}{d_2 s + \cfrac{1}{d_3 s + \cfrac{1}{d_4 s + \cfrac{1}{d_5 s + \cfrac{1}{d_6 s + \cfrac{1}{d_7 s + \ddots + \cfrac{1}{d_n s}}}}}}}$$

ec. 2.8.

donde $d_1, d_2, d_3, \ldots, d_n$ son valores reales y positivos, cumpliendo con el polinomio de Hurwitz.

2.2. CONCEPTO MATRIZ REAL POSITIVA.

Las matrices reales positivas representan a inmitancias (impedancias o admitancias) de funciones reales y positivas. En sí, una matriz es real positiva si cada elemento a_{ik} cumple con las propiedades de las funciones reales y positivas.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & a_{2n} & \ldots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

donde a_{ik} es un polinomio formado por P(s)/Q(s).

Las formas cuadráticas asociadas con las matrices reales positivas son:

$$\sum_{i,k=1}^{p} Z_{ik} I_i I_k \qquad \text{ec. 2.9.}$$

$$\sum_{i,k=1}^{p} Y_{ik} V_i V_k \qquad \text{ec. 2.10.}$$

donde las Z_{ik} y Y_{ik} son impedancias de circuitos abiertos y admitancia de cortocircuitos respectivamente. Nuevamente las variable en las formas cuadráticas son complejas debido a la simetría de [Z] y de [Y], cada una de las formas es fácilmente ubicada y es igual a la suma aritmética de dos formas con variables reales.

Las ecuaciones 2.9 y 2.10 pueden ser derivadas en unos pocos pasos. Por ejemplo, si la red descrita por las ecuaciones de lazo 1 es analizada sobre la base de solamente p lazos que contienen fuentes de voltaje dan:

$$[Z]*[I] = [V]$$

ec. 2.11.

donde [Z] es una matriz de orden $p \leq 1$. Si se multiplica a ambos lados por $\underline{I}$ se obtiene la forma cuadrática de la ecuación 2.9 en el lado izquierdo y en el lado derecho y se obtiene la expresión 2.12 :

$$s\,To + Fo + \frac{Vo}{s}$$

ec. 2.12.

De este modo se tiene la ecuación :

$$\sum_{i,k=1}^{p} Z_{ik}\, I_i\, I_k = s\,To + Fo + \frac{Vo}{s}$$

ec. 2.13.

y analizando en la base de nodos se obtiene :

$$\sum_{i,k=1}^{p} Y_{ik}\, V_i\, V_k = s\,Vo' + Fo' + \frac{To'}{s}$$

ec. 2.14.

Las formas cuadráticas son entonces funciones positivas reales, para probar esto los sumatorios

$$\Sigma\, Z_{ik}\, a_i\, a_k = Z(s) \quad y \quad \Sigma\, Y_{ik}\, a_i\, a_k = Y(s)$$

ec. 2.15.

deben ser satisfechas para todos los valores finitos de las variables reales $a_1, a_2, a_3, \ldots, a_p$, donde Z y Y son impedancias y admitancias de dos polos, respectivamente, esto es Z y Y son funciones positivas reales.

Existe tres importantes operaciones para las matrices positivas reales que conservan su carácter positivo real invariable, esto es, son nuevas matrices positivas reales. Sean [W] y [V] matrices positivas reales de orden **n** cuyos elementos son funciones racionales. Las operaciones que conducen a las nuevas matrices positivas reales son:

1- Suma: esto es [W]+[V] es una matriz positiva real.

2.- La forma inversa, si existe; es decir [W] es no singular, $[W]^{-1}$ es matriz positiva real.

3.- La multiplicación por otra matriz de orden **n** [A]*[W]*[A]´, siendo también matriz positiva real; donde [A]´ es la transpuesta de la matriz [A].

La primera propiedad sigue directamente la forma de la definición de matrices real positiva. Para demostrar la segunda propiedad se considera la forma cuadrática asociada con [W], denominada, $[x]'*[W]*[x]$, donde [x] es un vector columna arbitrario de números reales. Ahora que $[W]*[W]^{-1} = [U]$, con [U] matriz unitaria, se puede sustituir esto en la forma cuadrática de modo que $[x]'*[W]*[W]^{-1}*[W]*[x]$, por lo cual [W] es simétrica, $[x]'*[W]'*[W]^{-1}*[W]*[x]$.

Si ahora se sustituye $[g] = [W]*[x]$, donde [g] es un vector arbitrario de números reales, en la forma cuadrática que preside, se obtiene $[g]'*[W]^{-1}*[g]$; la cual es igual a la forma original $[x]'*[W]*[x]$. Hasta aquí, la forma original es positiva real, por lo tanto $[g]'*[W]^{-1}*[g]x]'$ es positiva real.

Para probar la tercera propiedad, se sigue idéntico análisis al que se realizó para demostrar la segunda propiedad.

Estas tres operaciones son muy importantes porque con ellas se puede formular la síntesis de redes de varios terminales.

TEOREMA 2.1.- Las condiciones necesarias y suficientes para que una matriz simétrica de orden n de funciones racionales $[W_{ik}(s)]$ sea positiva real son :

1. Cada elemento de la matriz tiene coeficientes reales.

2. Cada elemento de la matriz no tiene polos en el semiplano derecho y no tiene polos de orden múltiple en el eje j.
3. La parte real para s = jw debe ser no negativa para todo w, en otras palabras, si para cada i y k, $W_{ik}(jw)$ es separada en sus componentes rectangulares
$W_{ik}(jw) = r_{ik}(jw) + jx_{ik}(jw)$, la matriz

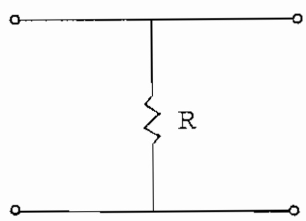
$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{2n} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

es semidefinida positiva.

Puesto que ningún elemento de una matriz semidefinida positiva puede ser infinito. Cada uno de elemento de rik(w) no debe tener polos para w real.

Cuando la matriz relaciona a una red de dos polos, esta prueba es simplificada. Por ejemplo, para una red RC la sumatoria $\Sigma\, W_{ik} \cdot a_i \cdot a_k$,debe tener las propiedades de una impedancia RC de dos polos, esto es, los elementos de la matriz deben tener solamente polos simples sobre en eje real, y el residuo de cada uno de aquellos polos para todos los valores de las variables reales a_1, a_2, $a_3,\ldots,a_n$, deben ser no negativas.

Si una impedancia de circuito abierto [Z] es positiva real, pero singular, la inversa o sea la matriz de admitancia de cortocircuito [Y], no existe.



Cuadripolo para [Z] positiva real, no existe [Y]
FIG. 2.2

2.3. SINTESIS DE REDES POR INSPECCION.

Si se desea sintetizar una impedancia bipolar igual a la constante 6, se podría inmediatamente dibujar un circuito que consiste de una simple resistencia con un valor de 6 Ohmios. También, por supuesto, se puede dibujar un circuito que conste de dos resistencias en paralelo, cada una igual a 12 Ω; o usar 6 resistencias en una red en serie, cada una de valor 1 Ω. Así, se puede tener un número infinito de combinaciones.

Las diferentes soluciones podrían parecer triviales, pero permiten ilustrar que el punto del problema en síntesis puede tener un número infinito de soluciones. Similarmente, ahora ya se puede dar cuenta que la admitancia de dos polos de $4s$ es una capacitancia de 4 faradios. Si cada función bipolar podría ponerse en forma de una suma explícita de los elementos, una mera inspección serviría para realizar la síntesis. A esto es lo que se llama síntesis por inspección o síntesis directa.

Si $Z(s) = 4 + 3/s$ es una conexión en serie de una resistencia de 4 Ω con una capacitancia de 1/3 de faradio, aunque el circuito de tres elementos $Y(s) = 2 + s + 2/s$ es una conexión en paralelo de una conductancia de 2 Ω, una capacitancia de 1 faradio y una inductancia de 1/2 henrios.

En el procedimiento de síntesis no se obtiene sumas simples de elementos pasivos, pero existen procesos generales que descomponen una función de dos polos en sumas de redes básicas de dos elementos. En efecto la inspección de funciones racionales que corresponde a redes de 3 ó 4 elementos es también fácil y útil.

Consideremos la combinación de dos elementos RL, fig. 2.3.a, cuya impedancia es:

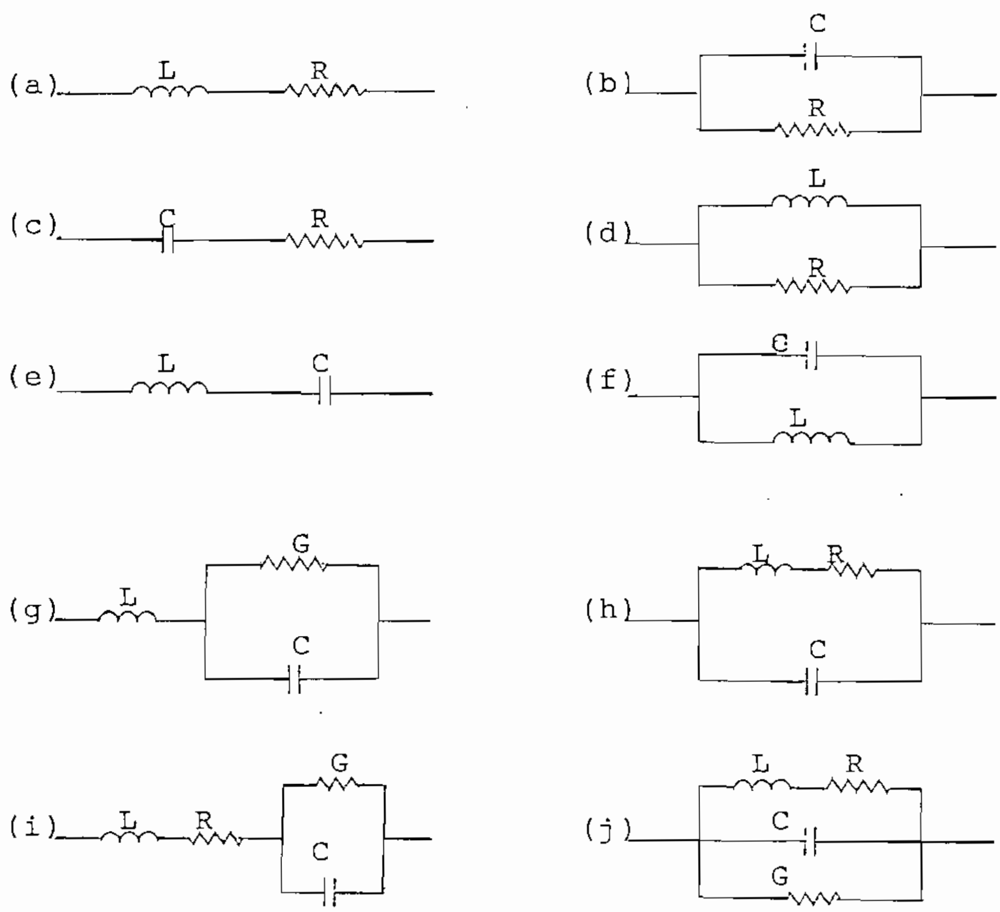
$$Z = Ls + R = L(s + R/L)$$

ec. 2.16.

la cual tiene una admitancia :

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{L\ (\ s + R/L\ )}$$

ec. 2.17.



Estructuras simples de dos, tres y cuatro elementos
FIG. 2.3.

Una función de semejante forma matemática que la ecuación 2.17. esta dada por la impedancia de la fig. 2.3.b :

$$Z = \frac{1}{Cs + 1/R} = \frac{1}{C(s + 1/RC)}$$

ec. 2.18.

Está claro que la función de ecuación 2.18. tiene un polo en $s = -1/RC$ y un cero en el infinito, se tiene la frecuencia crítica para Z y Y que están en el eje real negativo.

La primera función básica racional de interés esta dada, sin embargo, por:

$$f_{RCZ} = \frac{H}{s - s1}$$

ec. 2.19.

donde **s1** es negativo.

Las otras configuraciones de dos elementos RC y RL también produce funciones de Z y Y con una frecuencia real crítica, en ambos casos el origen viene hacer un punto crítico adicional. La admitancia para la fig. 2.3.c, es:

$$Y = \frac{s}{R(s + 1/RC)} \qquad \text{ec. } 2.20.$$

mientras que la impedancia fig. 2.3.d está dado por:

$$Z = \frac{R\,s}{s + R/L} \qquad \text{ec. } 2.21.$$

La segunda función básica para dos polos con puntos críticos en el eje real negativo y en el origen es :

$$f_{RCY} = \frac{H\,s}{s - s1} \qquad \text{ec. } 2.22.$$

donde, otra vez s_1 es negativo. El subíndice, sirve como un recordatorio de la función que representa la admitancia de la red básica RC (que consta de dos elementos).

Las estructuras LC de fig. 2.3.e y f producen funciones con frecuencias críticas en el eje j. Para la serie de circuitos en la fig. 2.3.e la admitancia es :

$$Y = \frac{s}{L(s^2 + 1/LC)} \qquad \text{ec. 2.23.}$$

y la impedancia del circuito en paralelo de fig. 2.3.f se evalúa como:

$$Z = \frac{s}{C(s^2 + 1/LC)} \qquad \text{ec. 2.24.}$$

Estas funciones conducen a una función básica de dos elementos,

$$f_{LC} = \frac{H\ s}{s^2 + W_1^2} \qquad \text{ec. 2.25.}$$

la cual tiene ceros en el origen y en el infinito y polos conjugados en $\pm\ jW_1$.

Las estructuras anteriores de dos elementos tienen sus frecuencias críticas restringidas a una línea recta en el plano s, tanto en el real no positivo o el eje imaginario. Para una distribución más general de las frecuencias críticas, puede verse en la fig. 2.3. g a la j.

La fig. 2.3.g a la j conducen a una cuarta función racional simple de interés:

$$f_{RLC} = \frac{H\,(s - s1)}{(s-s2)(s-\bar{s}2)} \qquad \text{ec. 2.26.}$$

donde s_1 es negativa, mientras que s_2 es compleja .

2.4. PROPIEDADES DE LA FUNCION DE EXCITACION DE REDES DE UN PAR DE TERMINALES CON ELEMENTOS RL, RC Y LC.

Una función de red es Función de Excitación si la respuesta y la excitación se refieren a los mismos terminales; caso contrario, si la respuesta y la excitación se refieren a diferentes terminales es una Función de Transferencia. Estas dos funciones a la vez cumplen con las propiedades de funciones reales y positivas.

Se debe tener presente que las siguientes propiedades, de los diferentes casos, se las enuncia con la ayuda del estudio de las energías descritas en el capítulo I.

2.4.1.- CASO 1 : PROPIEDADES DE LA RED RL (FUNCION DISIPATIVA)

La energía eléctrica almacenada es igual a cero (Vo = 0) por la ausencia del elemento capacitivo (C), lo cual la ecuación 1.11 : Z(s) = To*s + Fo + Vo/s , queda:

$$Z(s) = To*s + Fo$$

y análogamente Y(s):

$$Y(s) = Fo + To/s$$

Por lo tanto el valor de s se obtiene para:

- Z(s) = 0 s = - Fo/To que son los ceros de Z(s) o los polos de Y(s).

- Y(s) = 0 s = - To/Fo que son los polos de Z(s) o los ceros de Y(s).

Propiedad i .- La función de excitación debe tener los ceros y los polos sobre el eje real negativa.

Para valores de s reales y negativos la función de impedancia será puramente real.

Para enunciar las dos siguientes propiedades se recurre a la derivada de Z(s) y Y(s) con respecto a s, con $s = \sigma + jw$, lo cual da:

$$\frac{d\,Z(s)}{ds} = To > 0$$

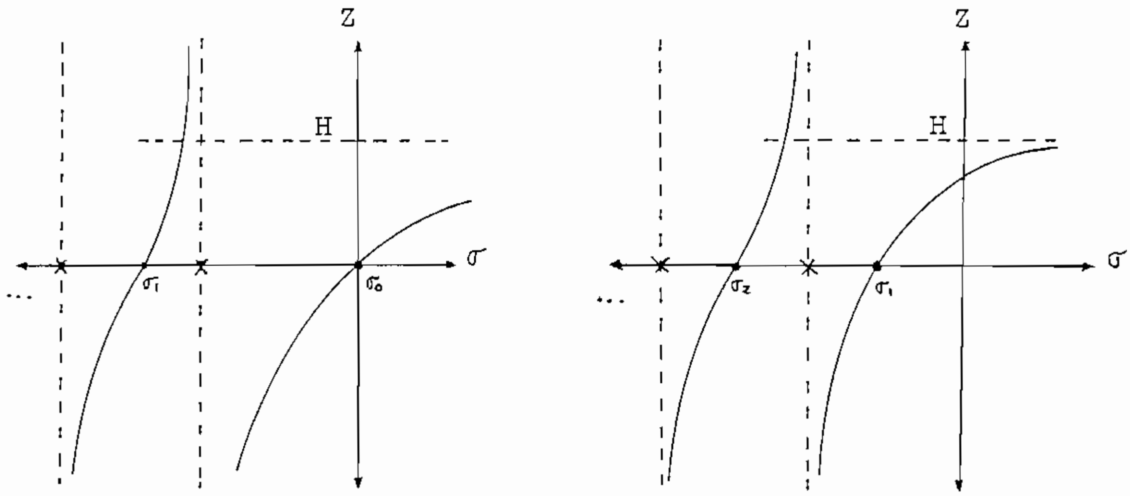
$$\frac{d\,Y(s)}{ds} = -\,To/s^2 < 0$$

Propiedad ii.- La pendiente de la función de Z(s) de excitación de una red RL graficada vs. valores reales de s es siempre positiva.

Propiedad iii.- La pendiente de la función de Y(s) de excitación de una red RL graficada vs. valores reales de s es siempre negativa.

Propiedad iv.- Los ceros y polos de una función de excitación de una red RL se encuentran alternados.

De la fig. 2.4. se tiene que los polos y ceros deben ir alternados y ser simples.



X :POLO • :CERO

Polos y ceros van alternados

FIG. 2.4.

Además, en los puntos cuando s = 0 y s = ∞ no pueden ser polo tampoco cero respectivamente. Lo que sucede es que a frecuencia cero la inductancia (L) es idéntico a un corto circuito y a frecuencia cercano al infinito es un circuito abierto. Por lo tanto en el origen del plano s es bien un cero o un valor finito para Z(s) o al infinito tiene un polo o un valor finito. Lo cual ayuda a enunciar la siguiente propiedad.

Propiedad v.- En el infinito (a frecuencia crítica alta) la función de excitación de una red RL es un polo, de lo contrario Z(∞) es un número positivo diferente de cero y finito.

Propiedad vi.- En el origen (a frecuencia crítica baja) la función de excitación de una red RL es un cero, de lo contrario Z(0) es un número positivo diferente de cero y finito.

Los dos casos restantes por ser análogos al primer caso, descrito anteriormente, se enuncian sin mucho detalle.

2.4.2.- CASO 2 : PROPIEDADES DE LA RED RC (FUNCION DISIPATIVA)

Por la ausencia del elemento inductivo (L) se tiene que To = 0, por lo cual la ecuación 1.11 :
Z(s) = To*s + Fo + Vo/s queda de la forma :

$$Z(s) = Fo + Vo/s$$

análogamente

$$Y(s) = Fo + Vo*s$$

Por lo tanto el valor de s se obtiene para:

- Z(s) = 0 s = - Vo/Fo que son los ceros de Z(s) o los polos de Y(s).

- Y(s) = 0 s = - Fo/Vo que son los polos de Z(s) o los ceros de Y(s).

Propiedad i .- La función de excitación debe tener los ceros y los polos sobre el eje real imaginario.

Al derivar la Z(s) y Y(s) con respecto a **s** para obtener el gráfico Z(s) vs **s** ó Y(s) vs s, se encuentra que:

$$\frac{d\,Z(s)}{ds} = - Vo/s^2 > 0$$

$$\frac{d\,Y(s)}{ds} = Vo < 0$$

Propiedad ii.- La pendiente de la función de Z(s) de excitación de una red RC gráfica valores reales de $s = -\sigma$ siempre negativa.

Propiedad iii.- La pendiente de la función de Y(s) de excitación de una red RC gráfica valores reales de $s = - \sigma$ siempre positiva.

Propiedad iv.- Los ceros y polos de una función de excitación de una red RC se encuentran alternados.

Propiedad v.- En el infinito (a frecuencia crítica alta) la función de excitación de una red RC es un cero, de lo contrario $Z(\infty)$ es un número positivo diferente de cero y finito.

Propiedad vi.- En el origen (a frecuencia crítica baja) la función de excitación de una red RC es un polo, de lo contrario Z(0) es un número positivo diferente de cero y finito.

2.4.3.- CASO 3 : PROPIEDADES DE LA RED LC (FUNCION NO DISIPATIVA)

Por la ausencia del elemento resistivo (R) la F = 0, por lo cual la ecuación 1.11 queda:

$$Z(s) = To*s + Vo/s$$

análogamente

$$Y(s) = To/s + Vo*s$$

Se obtiene el valor de s para:

- $Z(s) = 0$ $s = \pm j \sqrt{Vo/To}$ que son los ceros de Z(s) o los polos de Y(s).

- $Y(s) = 0$ $s = \pm j \sqrt{To/Vo}$ que son los polos de Z(s) o los ceros de Y(s).

Propiedad i .- La función de excitación debe tener los ceros y los polos sobre el eje real imaginario y son simples.

Se reemplaza s = jw y se deriva la nueva función X(w) con respecto a w, para $-\infty < w < \infty$:

$$Z(s) = To + Vo/s \quad \longrightarrow \quad Z(jw) = jTo\, w - j\, Vo/w$$

$$X(w) = To\, w - Vo/w$$

$$\Rightarrow \frac{d\, X(w)}{d\, w} = To + Vo/w^2 > 0$$

Propiedad ii.- La pendiente de la función de reactancia o suceptancia de una red LC graficada vs la frecuencia w es siempre positiva.

Propiedad iii. Los ceros y polos de una función de excitación de una red LC se encuentran alternados.

Propiedad iv.- En el origen la función de excitación de una red LC es un cero o polo, y en infinito un cero o polo.

De la ecuación 2.7. F(s) puede ser representada por la parte par P [F(s)] y la parte impar I [F(s)]:

$$F(s) = P\,[F(s)] + I\,[F(s)]$$

Se sabe además que:

$$Re\{F(s)\} = P\,[F(s)], \text{ y}$$
$$Img\{F(s)\} = j\,I\,[F(s)]$$

$$P\,[F(s)] = \frac{M1(s)*M2(s) - N1(s)*N2(s)}{M2^2(s) - N2^2(s)}$$

ec. 2.27.

Para P [F(s)] = 0

$$M1(s)*M2(s) - N1(s)*N2(s) = 0$$

con $M1(s) = N2(s)$ se reemplaza en 2.7.
$M2(s) = N1(s)$ se reemplaza en 2.7.

donde F(s)

$$F(s) = N1(s) / M2(s)$$
$$F(s) = M1(s) / N2(s)$$

Propiedad v.- Los polinomios de F(s), tanto P(s) como Q(s), deben ser par e impar o a su vez impar y par respectivamente.

Propiedad vi.- La suma de los polinomios de F(s) tanto P(s) como Q(s) de una red LC es un polinomio de Hurwitz.

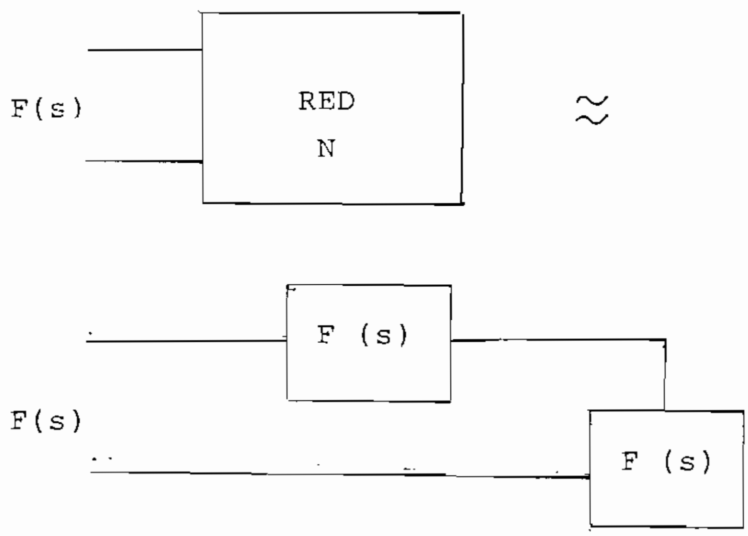
En la tabla 2.1. se resumen los tres casos mencionados.

T A B L A 2.1.

CASO 1 RL		CASO 2 RC		CASO 3 LC	
$s = 0$	$s = \infty$	$s = 0$	$s = \infty$	$s = 0$	$s = \infty$
CTE. CERO CTE. CERO	POLO CTE. CTE. POLO	POLO CTE. CTE. POLO	CTE. CERO CTE CERO	POLO POLO CERO CERO	POLO CERO CERO POLO

2.5. REALIZACIONES DE LA FUNCION DE EXCITACION DE REDES BIPOLARES.

La función de excitación es realizable si cumple con todas y cada una de las propiedades anteriores. Una manera apropiada para determinar los valores de los elementos de los cuales está compuesta la red de excitación F(s), es descomponer como una suma de nuevas funciones de excitación; por ejemplo : $F_1(s)$ y $F_2(s)$ (ver figura 2.5) siendo éstas seleccionadas apropiadamente. De esta manera se puede seguir el proceso hasta tener todos los valores de los elementos que conforman la red de excitación F(s).



$$F(s) = F_1(s) + F_2(s)$$

FIG 2.5.

Para poder descomponer a la red de excitación F(s) en sus nuevas funciones es necesario un análisis de las cinco clases de "retiros".

Con F(s) igual a :

$$F_{(s)} = \frac{P_{(s)}}{Q_{(s)}} = \frac{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \ldots + a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \ldots + b_1 s} \qquad \text{ec. 2.28.}$$

a la cual se le aplica las operaciones de los retiros; los mismos que se describen a continuación :

1) Retiro de una constante: De F(s) se resta un número real (ϵ) cuyo valor es : $\epsilon = a_m/b_m$ siendo a_m y b_m los coeficientes de las potencias más altas de s. Por lo tanto :

$$F_1(s) = \epsilon.$$

Con la conexión de la fig. 2.5.

2) Retiro de un polo al origen: De F(s) se toma los coeficientes de las potencias mas bajas, ao y b_1, siendo: $P_o = a_o/b_1$ denominando como un capacitor de valor:

$C = 1 / P_o$ por lo tanto :

$$F_1(s) = P_o/s.$$

3) Retiro de un polo al infinito: El polinomio del numerador de F(s) debe ser mayor que el polinomio del denominador de F(s), de tal forma que se tenga un inductor cuyo valor calculado por los coeficientes de las potencias más altas de s es: $P_i = a_m/b_m$ y $L = P_i$ por lo tanto:

$$F_1(s) = P_i * s.$$

4) Retiro de polos imaginarios conjugados: Las formas de los factores conjugados en el polinomio del denominador de F(s) es $(s^2 + W_1^2)$, que tiene los polos de F(s) iguales a :

$s = \pm jW_1$, lo cual :

$$F_1(s) = \frac{K * s}{(s^2 + W_1^2)}$$

indica una red en paralelo de una inductancia y un capacitor.

$$F_1(s) = \frac{K*s}{(s^2 + W_1^2)} = (sL) \; || \; (1/sC) = \frac{s/C}{s^2+1/LC}$$

ec. 2.29.

donde : $K = 1/C$ y $W_1^2 = 1/LC$.

5) Retiro de polos reales; El polinomio del denominador de Z(s) debe tener la forma $(s + \sigma_1)$ lo cual $F_1(s)$ se expresa de dos formas, a saber:

a) $F_1(s) = \dfrac{K*s}{(s + \sigma_1)}$

b) $F_1(s) = \dfrac{K}{(s + \sigma_1)}$ ec. 2.30.

La ecuación 2.30.a indica una red en paralelo de R y L.

$$F(s) = (R) \; || \; sL = \frac{s*R}{s + R/L}$$ ec. 2.31.

donde : $K = R$ y $\sigma_1 = R/L$.

La ecuación 2.30.b es una red en paralelo de R y C.

$$F(s) = (R) \; || \; 1/sC = \frac{1/sC}{s + 1/RC}$$ ec. 2.32.

donde : $K = 1/C$ y $\sigma_1 = 1/RC$.

Estos análisis de los retiros de F(s) es una herramienta de gran ayuda para la síntesis de las formas Z y las formas Y, las mismas que se detallan en el capítulo III.

C A P I T U L O   III

SINTESIS INTEGRADA DE FUNCIONES DE EXCITACION

3.1.- PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA EVALUAR LAS FUNCIONES REALES Y POSITIVAS.

Una vez que se analizado las propiedades para las funciones reales y positivas (capítulo II), se establece un procedimiento para evaluar las funciones reales y positivas.

PARTE A.

Toda función de red puede ser expresada como la relación de dos polinomios (ecuación 2.1.), siendo sus coeficientes constantes reales y positivas.

Sea g(t) la excitación y f(t) la respuesta de la red pasiva de la figura 3.1.

FIG. 3.1.

la relación de g(t) y f(t) en el tiempo es una ecuación diferencial :

$$B_n \frac{d^n}{dt^n} f(t) + B_{n-1} \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} f(t) + B_{n-2} \frac{d^{n-2}}{dt^{n-2}} f(t) + \ldots + B_0 f(t) =$$

$$A_n \frac{d^n}{dt^n} g(t) + A_{n-1} \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} g(t) + A_{n-2} \frac{d^{n-2}}{dt^{n-2}} g(t) + \ldots + A_0 g(t)$$

ec. 3.1.

Se puede expresar a g(t) y f(t) en magnitudes fasoriales :

$$f(t) = F\, e^{st}$$

$$g(t) = G\, e^{rt}$$

ec. 3.2.

donde : F y G son magnitudes complejas
s y r son frecuencias complejas

Se considera que las frecuencias s y r son iguales para esta red.

Al reemplazar las ecuaciones 3.2. en 3.1. se obtiene :

$$B_n S^n F e^{st} + B_{n-1} S^{n-1} F e^{st} + B_{n-2} S^{n-2} F e^{st} + \ldots + B_o F e^{st} =$$

$$A_n S^n G e^{st} + A_{n-1} S^{n-1} G e^{st} + A_{n-2} S^{n-2} G e^{st} + \ldots + B_o G e^{st}$$

$$F e^{st} \left(B_n S^n + B_{n-1} S^{n-1} + B_{n-2} S^{n-2} + \ldots + B_o \right) =$$

$$G e^{st} \left(A_n S^n + A_{n-1} S^{n-1} + A_{n-2} S^{n-2} + \ldots + A_o \right)$$

$$\underset{\text{respuesta}}{\underset{\downarrow}{f(t)}} = \underbrace{\frac{A_n s^n + A_{n-1} s^{n-1} + \ldots + A_1 s + A_n}{B_n s^n + B_{n-1} s^{n-1} + \ldots + B_1 s + B_n}}_{\text{función de red}} \underset{\text{excitación}}{\underset{\downarrow}{g(t)}}$$

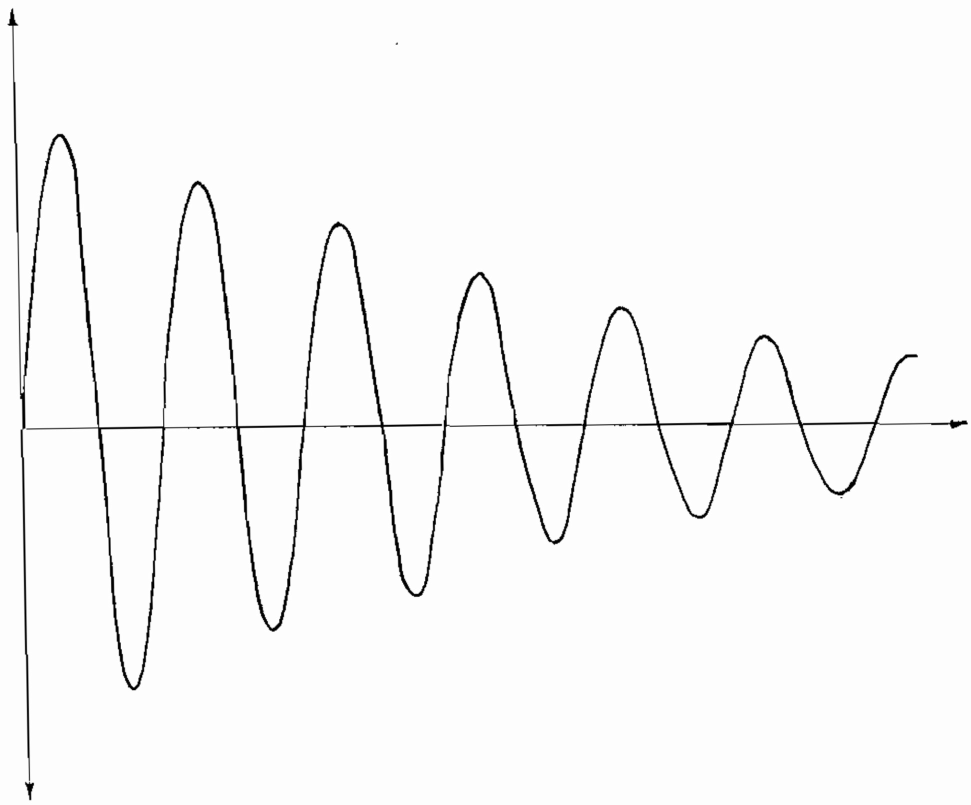
Los coeficientes del polinomio del numerador P(s), como también los coeficientes del denominador Q(s) deben ser positivos, es decir, que s se evalúe para valores negativos.

Se considera a f(t) :

$$f(t) = F e^{st}$$

$$f(t) = F e^{\sigma t} \; F e^{j\omega t}$$

donde, se considera a $e^{j\omega t}$ como fasor giratorio y a $e^{\sigma t}$ como la magnitud que decrece en forma exponencial. La representación para $\sigma < 0$ es:

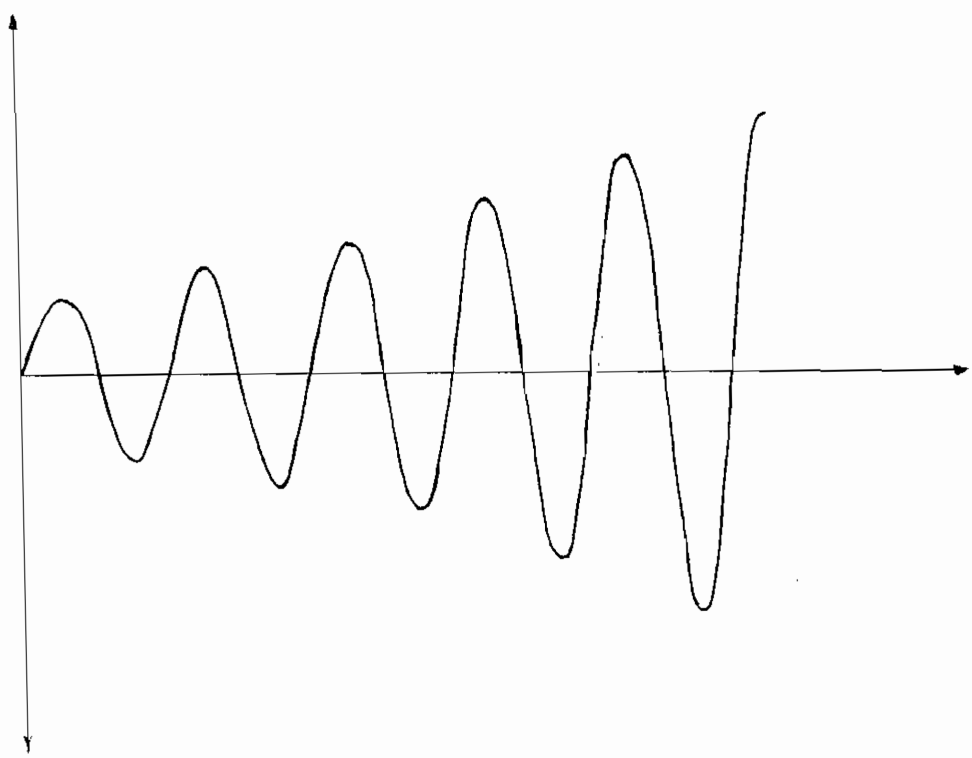


La energía almacenada en la red se disipa

FIG. 3.2.

Con esta representación existe estabilidad en el sistema y por lo tanto sus raíces del polinomio son negativas y se encuentran en el semiplano izquierdo .

Para cuando se tiene $\sigma > 0$ la representación es:



La respuesta de la red es creciente

FIG. 3.3.

se observa que esta representación es inestable (no existen potencias infinitas) y sus raíces del polinomio son positivas y se encuentran en el semiplano derecho.

PARTE B.

A la función de red se la puede expresar como un polinomio de Hurwitz, es decir, se comprueba que la ubicación de los ceros y los polos de la función de red sea la correcta. En la ecuación 2.8. se observa que todos los d_i deben ser positivos para cumplir con el criterio de Hurwitz, caso contrario esta función de red no es función real positiva.

3.2.- SINTESIS INTEGRADA DE FUNCIONES DE EXCITACION DE REDES DE UN PAR DE TERMINALES CON ELEMENTOS RL, RC Y LC.

Después del estudio de las propiedades y de las realizaciones de las funciones de excitación de redes de un par de terminales (Capítulo II), se prosigue con la síntesis integrada del conjunto de combinaciones de las funciones de excitación.

Es aquí donde la síntesis de redes por inspección no es factible y a la vez imposible de realizar, necesitando de procesos analíticos para que sea realizable.

Estos procesos se clasifican en cuatro realizaciones básicas de funciones de excitación para elementos RL, RC y LC. Dos de éstas son determinadas por las expansiones de fracciones parciales (de la forma Z y de la forma Y) desarrollados por Foster, que marcan el comienzo de la síntesis de redes.

El segundo par de estos procesos son desarrollados por Cauer; éstos corresponden a las expansiones de fracciones continuas (de la forma Serie y de la forma Paralelo).

3.2.1.- SINTESIS DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA).

PRIMERA COMBINACION : RED RL

Se expresa a F(s) para una red RL como:

$$F_{(s)} = H \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots\ldots(s+\sigma_m)}{(s+\sigma_2)(s+\sigma_4)\ldots\ldots(s+\sigma_n)} \qquad \text{ec. 3.3.}$$

Con ayuda de las operaciones de los retiros (Capítulo II) se escribir F(s) :

$$F(s) = \epsilon + Pi*s + \sum_{i} \frac{Ki * s}{(s + \sigma_1)}$$

Con : ϵ retiro de una constante,

Pi retiro de un polo al infinito

$\frac{Ki * s}{(s + \sigma_1)}$ retiro de polos reales

Con evaluaciones en :

$$F_{(s)} = \epsilon \quad \Rightarrow \quad \epsilon = F_{(s)} \Big/ s=0$$

$$F_{(s)} = \frac{K_i\ s}{s-\sigma_i} \quad \Rightarrow \quad K_i = \frac{s+\sigma_i}{s} F_{(s)} \Big/ s=-\sigma_i$$

$$\Rightarrow \quad Pi = \lim_{s \to \infty} \frac{F_{(s)}}{s}$$

Al desarrollar, se tiene :

$$\epsilon = H \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots\ldots(s+\sigma_m)}{(s+\sigma_2)(s+\sigma_4)\ldots\ldots(s+\sigma_n)} \Big/ s=0$$

$$\epsilon = H \frac{(\sigma_1)(\sigma_3)\ldots\ldots(\sigma_m)}{(\sigma_2)(\sigma_4)\ldots\ldots(\sigma_n)}$$

$$K_2 = \frac{s+\sigma_2}{s} \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots\ldots(s+\sigma_m)}{(s+\sigma_2)(s+\sigma_4)\ldots\ldots(s+\sigma_n)} \Big/ s=-\sigma_2$$

$$K_2 = \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots\ldots(s+\sigma_m)}{s(s+\sigma_4)(s+\sigma_6)\ldots\ldots(s+\sigma_n)} \Big/ s=-\sigma_2$$

$$K_4 = \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots\ldots(s+\sigma_m)}{s(s+\sigma_2)(s+\sigma_6)\ldots\ldots(s+\sigma_n)} \Big/ s=-\sigma_4$$

$$\vdots$$

$$K_n = \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots\ldots(s+\sigma_m)}{s(s+\sigma_2)(s+\sigma_4)\ldots\ldots(s+\sigma_{n-2})} \Big/ s=-\sigma_n$$

$$P_i = \lim_{s \to \infty} \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots\ldots(s+\sigma_m)}{s(s+\sigma_2)(s+\sigma_4)\ldots\ldots(s+\sigma_n)}$$

Siendo la red que corresponde a F(s) de la ecuación 3.3. la siguiente :

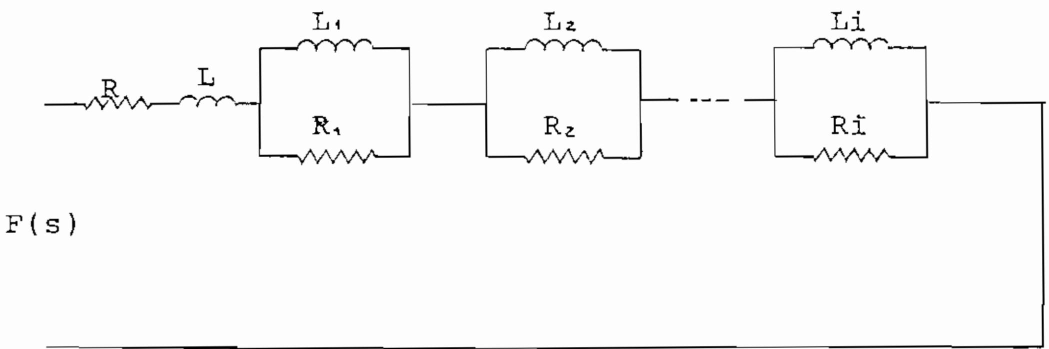


FIG. 3.4.

Cuyos valores de cada elemento se calculan :

$R = \epsilon$, $R_i = K_i$, $L = P_i$ y $L_i = K_i / W_i$

SEGUNDA COMBINACION : RED RC

La forma más adecuada de F(s) para una red RC es:

$$F_{(s)} = H \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots(s+\sigma_m)}{s(s+\sigma_2)(s+\sigma_4)\ldots(s+\sigma_n)}$$

Que también se puede escribir F(s) como:

$$F(s) = \epsilon + Po/s + \sum_i \frac{Ki}{(s+\sigma_i)} \qquad \text{ec. 3.4.}$$

Con : ϵ retiro de una constante,

Po/s retiro de un polo al origen

$\dfrac{Ki}{(s+\sigma_i)}$ retiro de polos reales

Con evaluaciones de :

$$F_{(s)} = \epsilon \qquad \Rightarrow \qquad \epsilon = F_{(s)} \big/_{s=\infty}$$

$$F_{(s)} = \frac{K_i}{s+\sigma_i} \qquad \Rightarrow \qquad K_i = (s+\sigma_i)\, F_{(s)} \big/_{s=-\sigma_i}$$

$$\Rightarrow \quad Po = \lim_{s\to 0} s\, F_{(s)}$$

La red que corresponde a F(s) de la ecuación 3.4. es :

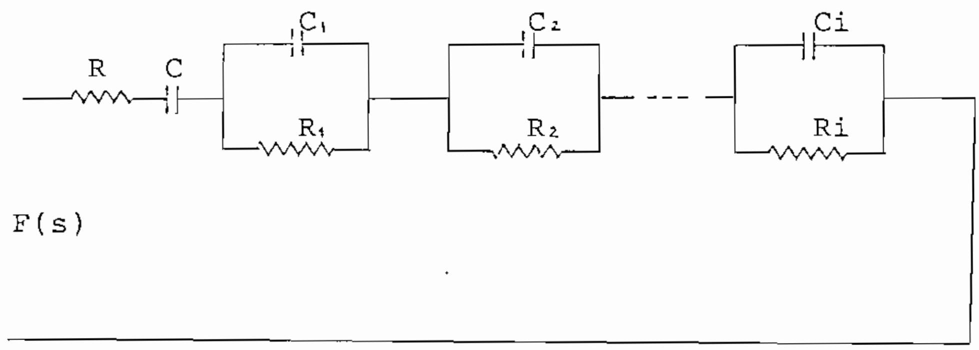


FIG. 3.5.

Donde los valores de los elementos se calculan :

$R = \epsilon$, $Ri = Ki/\sigma_i$, $C = 1/Po$ y $Ci = 1/Ki$

TERCERA COMBINACION : RED LC

La forma más adecuada de F(s) para una red LC es:

$$F_{(s)} = H \frac{(s^2+\omega_1^2)(s^2+\omega_3^2)\ldots(s^2+\omega_m^2)}{s(s^2+\omega_2^2)(s^2+\omega_4^2)\ldots(s^2+\omega_n^2)}$$

Que también se puede escribir F(s) como:

$$F(s) = Po/s + Pi*s + \sum_{i} \frac{Ki*s}{(s^2 + Wi^2)}$$

ec. 3.5.

Con : Po/s retiro de un polo al origen

Pi*s retiro de un polo al infinito

$\dfrac{Ki*s}{(s^2 + Wi^2)}$ retiro de polos imaginarios conjugados

Evaluando en :

$$F_{(s)} = Po/s \quad \Rightarrow \quad Po = s\, F_{(s)} \Big/_{s=0}$$

$$F_{(s)} = \frac{s\, K_i}{s^2 + w_i^2} \quad \Rightarrow \quad K_i = \frac{s^2 + w_i^2}{s}\, F_{(s)} \Big/_{s^2 = -w_i^2}$$

$$\Rightarrow \quad Pi = \lim_{s \to \infty} F_{(s)} \Big/_{s^2 = -w_i^2}$$

Al desarrollar se tiene :

$$Po = H\, s\, \frac{(s^2 + w_1^2)(s^2 + w_3^2) \ldots (s^2 + w_m^2)}{s\,(s^2 + w_2^2)(s^2 + w_4^2) \ldots (s^2 + w_n^2)} \Big/_{s=0}$$

$$Po = H\, \frac{(w_1^2)(w_3^2) \ldots (w_m^2)}{(w_2^2)(w_4^2) \ldots (w_n^2)}$$

$$K_2 = \frac{s^2+\omega_2^2}{s}\;\frac{(s^2+\omega_1^2)(s^2+\omega_3^2)\ldots(s^2+\omega_m^2)}{(s^2+\omega_2^2)(s^2+\omega_4^2)\ldots(s^2+\omega_n^2)}\Bigg/_{s^2=+\omega_2^2}$$

$$K_2 = \frac{(s^2+\omega_1^2)(s^2+\omega_3^2)\ldots(s^2+\omega_m^2)}{s^2(s^2+\omega_4^2)(s^2+\omega_6^2)\ldots(s^2+\omega_n^2)}\Bigg/_{s^2=+\omega_2^2}$$

$$K_4 = \frac{(s^2+\omega_1^2)(s^2+\omega_3^2)\ldots(s^2+\omega_m^2)}{s^2(s^2+\omega_2^2)(s^2+\omega_6^2)\ldots(s^2+\omega_n^2)}\Bigg/_{s^2=+\omega_4^2}$$

$$\vdots$$

$$K_n = \frac{(s^2+\omega_1^2)(s^2+\omega_3^2)\ldots(s^2+\omega_m^2)}{s^2(s^2+\omega_2^2)(s^2+\omega_4^2)\ldots(s^2+\omega_{n-2}^2)}\Bigg/_{s^2=+\omega_n^2}$$

La red que corresponde a F(s) de la ecuación 3.5. es :

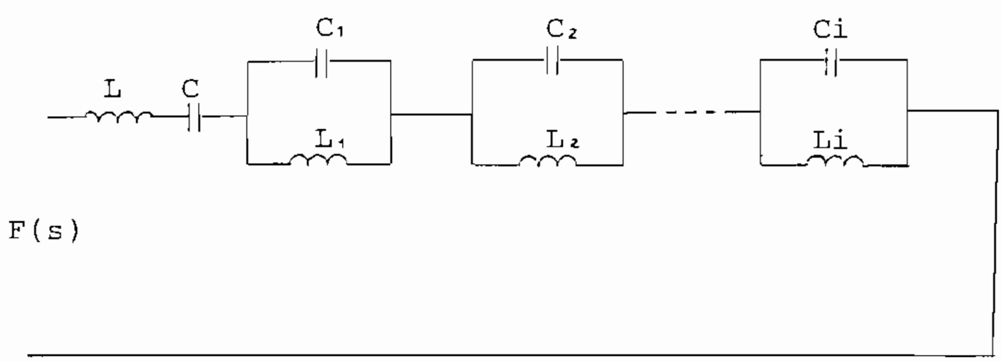


FIG. 3.6.

Con los valores de cada elemento iguales a :
L = Pi , $Li = Ki/Wi^2$, C = 1/Po y Ci = 1/Ki

3.2.2.- SINTESIS DE LA FORMA Y (ADMITANCIA).

Las tres combinaciones siguientes para la forma Y son análogas a las anteriores de la forma Z.

PRIMERA COMBINACION : RED RL

Se escribir F(s) :

$$F(s) = \epsilon + Pi*s + \sum_i \frac{Ki * s}{(s + \sigma_i)}$$

ec. 3.3.

Análogamente Y(s) :

$$Y(s) = \epsilon + Po/s + \sum_i \frac{Ki}{(s + \sigma_i)}$$

ec. 3.6.

Con : ϵ retiro de una constante,

Po/s retiro de un polo al origen

$\frac{Ki}{(s + \sigma_i)}$ retiro de polos reales

Evaluados en :

$$Y_{(s)} = Po / s \quad \Rightarrow \quad Po = s\, Y_{(s)} \Big/_{s = 0}$$

$$Y_{(s)} = \frac{K_j}{s + \sigma_j} \quad \Rightarrow \quad K_i = (s + \sigma_i)\; Y_{(s)} \Big/_{s = -\sigma_i}$$

$$\Rightarrow \quad \epsilon = \lim_{s \to \infty} Y_{(s)}$$

Siendo la red que corresponde a Y(s) de la ecuación 3.6. la siguiente :

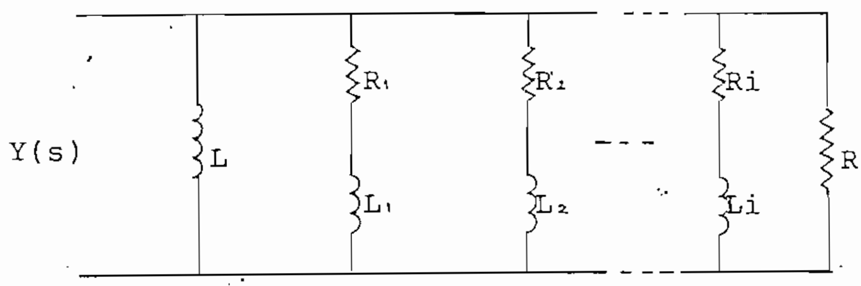


FIG. 3.7.

Los valores de cada elemento se calculan de :
$R = 1/\epsilon$, $Ri = \sigma_i/Ki$, $L = Po$ y $Li = 1/Ki$

SEGUNDA COMBINACION : RED RC

La forma más adecuada de Y(s) para una red RC es:

$$Y_{(s)} = H \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots\ldots(s+\sigma_m)}{(s+\sigma_2)(s+\sigma_4)\ldots\ldots(s+\sigma_n)}$$

Que también se puede escribir Y(s) como:

$$Y(s) = \epsilon + Pi*s + \sum_i \frac{Ki*s}{(s + \sigma_i)}$$
ec. 3.7.

Con : ϵ retiro de una constante,

$Pi*s$ retiro de un polo al infinito

$\frac{Ki*s}{(s + \sigma_i)}$ retiro de polos reales

Evaluados en :

$$\epsilon = Y_{(s)} \Big/ s = 0$$

$$Y_{(s)} = \frac{s\,K_i}{s + \sigma_i} \quad \Rightarrow \quad K_i = \frac{s + \sigma_i}{s} Y_{(s)} \Big/ s = -\sigma_i$$

$$Pi = \lim_{s \to \infty} \frac{Y_{(s)}}{s}$$

La red que corresponde a Y(s) de la ecuación 3.7. es la siguiente :

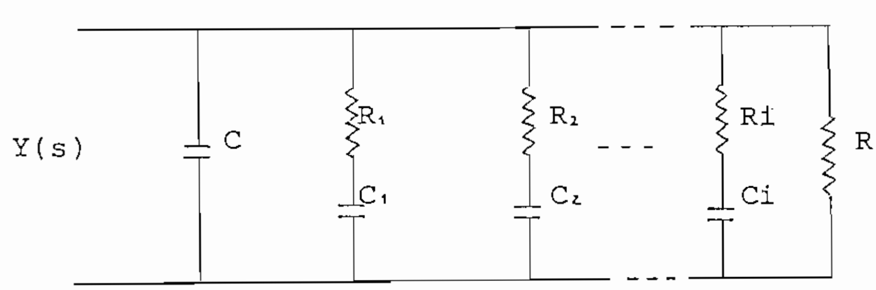


FIG. 3.8.

Los valores de los elementos se calculan :
$R = 1/\epsilon$, $Ri = 1/Ki$, $C = Pi$ y $Ci = Ki/\sigma_1$

TERCERA COMBINACION : RED LC

La fórmula más adecuada para la red LC es :

$$Y_{(s)} = H \frac{(s^2+\omega_1^2)(s^2+\omega_3^2)\ldots\ldots(s^2+\omega_m^2)}{s(s^2+\omega_2^2)(s^2+\omega_4^2)\ldots\ldots(s^2+\omega_n^2)}$$

Se puede escribir Y(s) cómo:

$$Y(s) = Pi*s + Po/s + \sum_i \frac{Ki*s}{(s^2 + W_1^2)}$$

ec. 3.8.

Con : Po/s retiro de un polo al origen

Pi*s retiro de un polo al infinito

$\frac{Ki*s}{(s^2 + W_1^2)}$ retiro de polos imaginarios conjugados

Evaluados en :

$$Y_{(s)} = Po / s \qquad \Rightarrow \qquad Po = s\, Y_{(s)} \Big/_{s=0}$$

$$Y_{(s)} = \frac{K_j\, s}{s + \sigma_j} \qquad K_j = \frac{s+\sigma_j}{s}\; Y_{(s)} \Big/_{s^2 = -\omega_j^2}$$

$$Pi = \lim_{s \to \infty} \frac{Y_{(s)}}{s} = \frac{a_m}{b_n}$$

La red que corresponde a Y(s) de la ecuación 3.8. es :

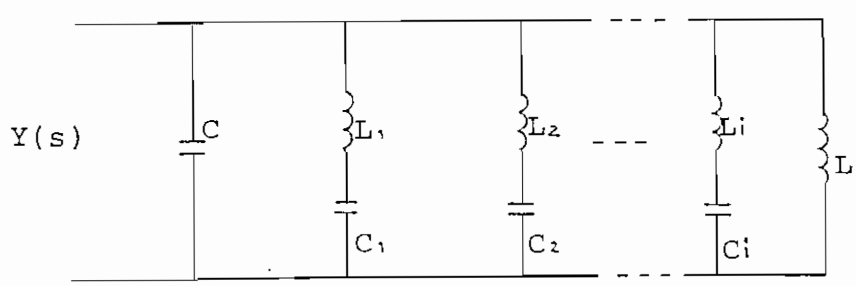


FIG. 3.9.

Los valores de los elementos se calculan :
$C = Pi$, $Ci = Ki/Wi^2$, $L = 1/Po$ y $Li = 1/Ki$

3.2.3.- SINTESIS DE LA FORMA SERIE.

PRIMERA COMBINACION : RED RL

Se conoce que :

$$F(s) = F_1(s) + F_2(s)$$

el proceso a seguir para la síntesis de la forma serie es el siguiente : con F(s) se retira un polo al infinito $s = \infty$, se toma a $F_1(s)$ como una inductancia, como $F_2(s)$ tiene un cero en $s = \infty$ se invierte, se encuentra $Y'(s)$ que a su vez tiene un polo en $s = \infty$

$$Y'(s) = Y_1(s) + Y_2(s)$$

se toma a $Y_1(s)$ como una resistencia, se invierte $Y_2(s)$ por tener un cero en $s = \infty$, encontrando $F'(s)$. Y así sucesivamente hasta que el proceso termine. De éste proceso se tiene el desarrollo de F(s) en expansiones de fracciones continuas:

$$F_{(s)} = K_1 s + \cfrac{1}{K_2 + \cfrac{1}{K_3 s + \cfrac{1}{K_4 + \cfrac{1}{K_5 s + \cfrac{1}{K_6 + \cfrac{1}{K_7 s + \vdots}}}}}}$$

donde los Ki impares son inductancias y los Ki pares son resistencias.

En este caso se ordena el polinomio del numerador con los coeficientes de grado mayor al de grado menor, para que sea dividido para el polinomio del denominador ordenado con los coeficientes de grado mayor al de grado menor. Ver capítulo V, literal 5.3. y Apéndice A.

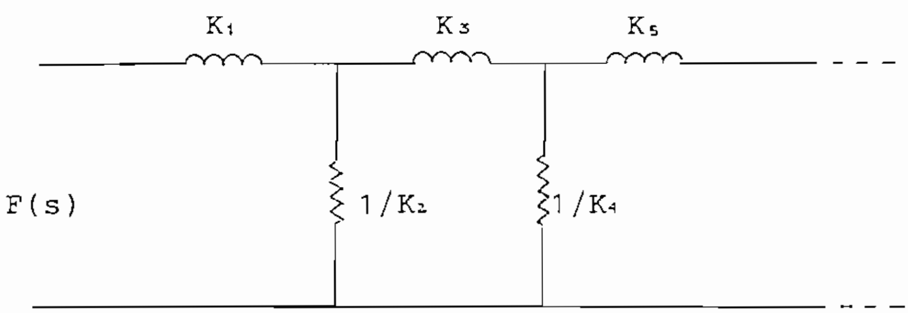


FIG. 3.10.

Siendo sus valores:

$L_1 = K_1$	$R_2 = 1/K_2$
$L_3 = K_3$	$R_4 = 1/K_4$
..	..
..	..
etc.	etc.

Se tendrá una inductancia como primer elemento, si $s = \infty$ es un polo.

Se tendrá una resistencia como primer elemento, si $s = \infty$ es una constante.

Se tendrá una inductancia como último elemento, si $s = 0$ es un cero.

Se tendrá una resistencia como último elemento, si $s = 0$ es una constante.

SEGUNDA COMBINACION : RED RC

En esta combinación, para una red RC, el análisis es similar al análisis anterior, por lo tanto el desarrollo de F(s) en expansiones de fracciones continuas es :

$$F_{(s)} = K_1 + \cfrac{1}{K_2 s + \cfrac{1}{K_3 + \cfrac{1}{K_4 s + \cfrac{1}{K_5 + \cfrac{1}{K_6 s + \cfrac{1}{K_7 + \vdots}}}}}}$$

donde los Ki impares son resistencias y los Ki pares son capacitores.

También, se da el mismo ordenamiento de los coeficientes como de la primera combinación. Ver capítulo V, literal 5.3. y Apéndice A.

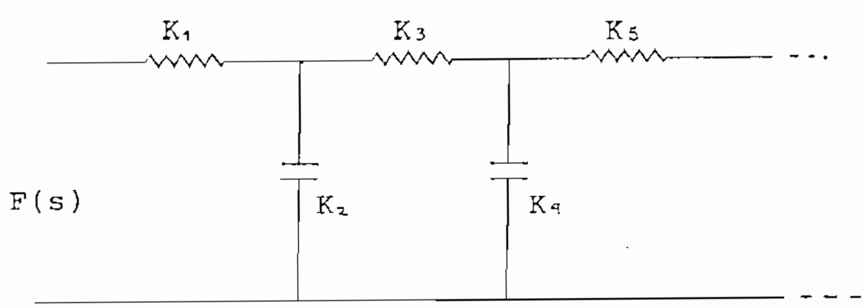


FIG. 3.11.

Siendo sus valores:

$R_1 = K_1 \qquad C_2 = K_2$

$R_3 = K_3 \qquad C_4 = K_4$

.. ..

.. ..

etc. etc.

Se tendrá una resistencia como primer elemento, si s = ∞ es una constante.

Se tendrá un capacitor como primer elemento, si s = ∞ es un cero.

Se tendrá un capacitor como último elemento, si s = 0 es un polo.

Se tendrá una resistencia como último elemento, si s = 0 es una constante.

TERCERA COMBINACION : RED LC

Sigue siendo el mismo análisis de las dos combinaciones anteriores. Y también el ordenamiento de los polinomios, es decir, del grado mayor al de grado menor; por lo tanto, el desarrollo de F(s) en expansiones de fracciones continuas es :

$$F_{(s)} = K_1 s + \cfrac{1}{K_2 s + \cfrac{1}{K_3 s + \cfrac{1}{K_4 s + \cfrac{1}{K_5 s + \cfrac{1}{K_6 s + \cfrac{1}{K_7 s + \vdots}}}}}}$$

donde los Ki impares son inductancias y los Ki pares son capacitores.

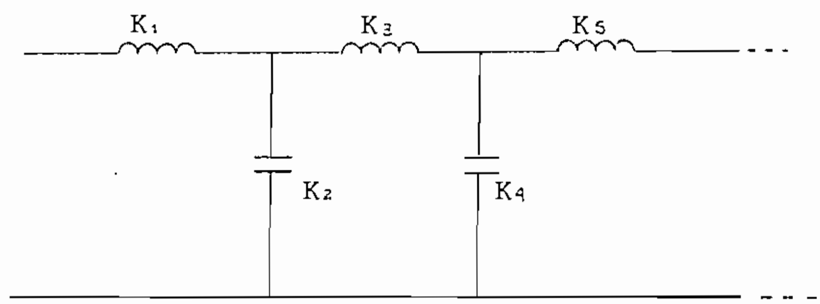


FIG. 3.12.

Siendo sus valores:

$L_1 = K_1$	$C_2 = K_2$
$L_3 = K_3$	$C_4 = K_4$
..	..
..	..
etc.	etc.

3.2.4.- SINTESIS DE LA FORMA PARALELO.

El análisis para esta forma Paralelo es similar al de la Forma Serie, con la diferencia que el ordenamiento de los coeficientes del numerador y del denominador es de menor grado al mayor grado. Ver capítulo V, literal 5.3. y Apéndice A.

PRIMERA COMBINACION : RED RL

El desarrollo de F(s) en expansiones de fracciones continuas es :

$$F_{(s)} = K_1 + \cfrac{1}{\cfrac{K_2}{s} + \cfrac{1}{K_3 + \cfrac{1}{\cfrac{K_4}{s} + \cfrac{1}{K_5 + \cfrac{1}{\cfrac{K_6}{s} + \cfrac{1}{K_7 + \vdots}}}}}}$$

donde los Ki impares son resistencias y los Ki pares son inductancias.

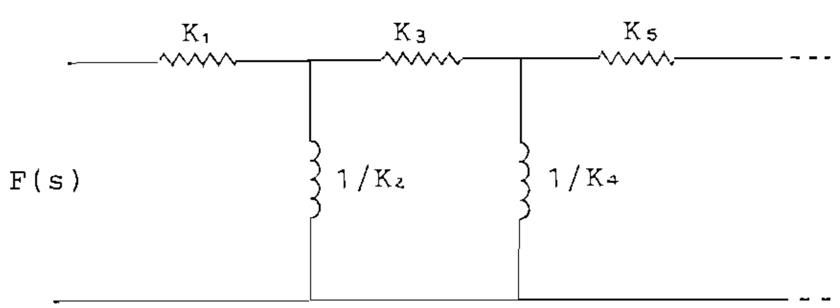


FIG. 3.13.

Siendo sus valores:

$R_1 = K_1$	$L_2 = 1/K_2$
$R_3 = K_3$	$L_4 = 1/K_4$
..	..
..	..
etc.	etc.

Se tendrá una inductancia como primer elemento, si $s = 0$ es un cero.

Se tendrá una resistencia como primer elemento, si $s = 0$ es una constante.

Se tendrá una inductancia como último elemento, si $s = \infty$ es un polo.

Se tendrá una resistencia como último elemento, si $s = \infty$ es una constante.

SEGUNDA COMBINACION : RED RC

Su desarrollo de F(s) en expansiones de fracciones continuas es :

$$F_{(s)} = \frac{K_1}{s} + \cfrac{1}{K_2 + \cfrac{1}{\cfrac{K_3}{s} + \cfrac{1}{K_4 + \cfrac{1}{\cfrac{K_5}{s} + \cfrac{1}{K_6 + \cfrac{1}{\cfrac{K_7}{s} + \vdots}}}}}}$$

donde los Ki impares son capacitores y los Ki pares son resistencias.

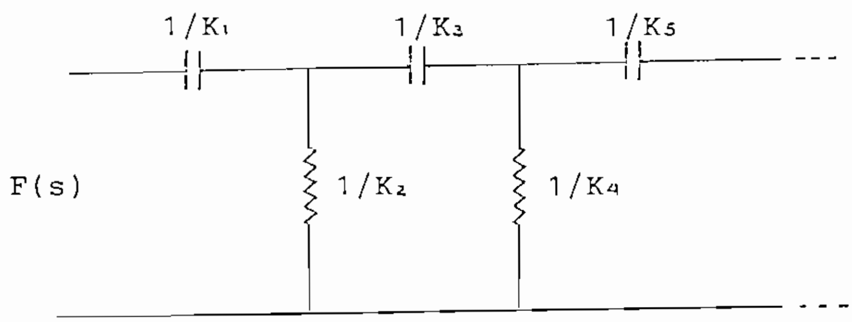


FIG. 3.14.

Siendo sus valores:

$C_1 = 1/K_1$	$R_2 = 1/K_2$
$C_3 = 1/K_3$	$R_4 = 1/K_4$
..	..
..	..
etc.	etc.

Se tendrá un capacitor como primer elemento, si $s = 0$ es un cero.

Se tendrá un resistencia como primer elemento, si $s = 0$ es una constante.

Se tendrá un capacitor como último elemento, si $s = \infty$ es un cero.

Se tendrá una resistencia como último elemento, si $s = \infty$ es una constante.

TERCERA COMBINACION : RED LC

De igual forma el desarrollo de F(s) en expansiones de fracciones continuas es :

$$F_{(s)} = \frac{K_1}{s} + \cfrac{1}{\frac{K_2}{s} + \cfrac{1}{\frac{K_3}{s} + \cfrac{1}{\frac{K_4}{s} + \cfrac{1}{\frac{K_5}{s} + \cfrac{1}{\frac{K_6}{s} + \cfrac{1}{\frac{K_7}{s} + \vdots}}}}}}$$

donde los Ki impares son capacitores y los Ki pares son inductancias.

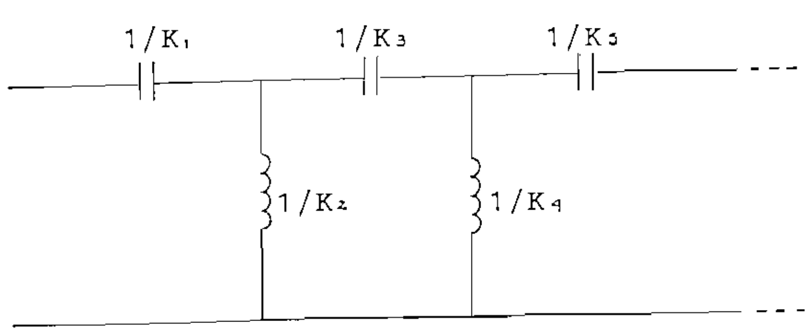


FIG. 3.15.

Siendo sus valores:

$C_1 = 1/K_1$ $\quad\quad$ $L_2 = 1/K_2$

$C_3 = 1/K_3$ $\quad\quad$ $L_4 = 1/K_4$

.. $\quad\quad$ ..

.. $\quad\quad$ ..

etc. $\quad\quad$ etc.

En el apéndice A se encuentran los circuitos para cada uno de las cuatro formas de síntesis de funciones de excitación.

C A P I T U L O IV

SINTESIS INTEGRADA DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

4.1.- PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA EVALUAR LAS MATRICES REALES POSITIVAS.

Los procedimientos generales para evaluar las funciones reales y positivas (capítulo III) son también válidos para evaluar cada elementos a_{ij} que conforman la matriz real positiva, por lo tanto, se hace referencia a ellos. A continuación se enuncian algunas consideraciones adicionales, previo el estudio de la síntesis integrada de funciones de transferencia.

Los parámetros de red para un cuadripolo, figura 4.1. son:

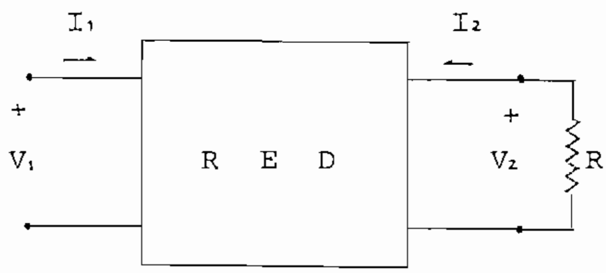


FIG. 4.1.

$$Z11 = \left.\frac{V1}{I1}\right|_{I2=0}$$ Impedancia de excitación (entrada).

$$Z21 = \left.\frac{V2}{I1}\right|_{I2=0}$$ Impedancia de transferencia.

$$Z22 = \left.\frac{V2}{I2}\right|_{I1=0}$$ Impedancia de excitación (salida).

$$Y11 = \left.\frac{I1}{V1}\right|_{V2=0}$$ Admitancia de excitación (entrada).

$$Z11 = \left.\frac{I2}{V1}\right|_{V2=0}$$ Admitancia de transferencia.

$$Z11 = \left.\frac{I2}{V2}\right|_{V1=0}$$ Admitancia de excitación (salida).

ec. **4.1.**

Para que estos parámetros sean sintetizados como cuadripolo (tipo escalera) deben cumplir con las condiciones de realizaciones físicas que se detallan a continuación :

Condición 1 : Z_{22} y Z_{11} deben ser funciones de excitación físicamente realizables, satisfacer las propiedades de funciones de excitación analizadas en el Capítulo II.

Condición 2 : Los polos de Z_{22}, Z_{21}, Z_{11}, y los ceros de Z_{22}, Z_{11} si no están en el eje imaginario jw, están en el semiplano izquierdo del plano s; aquellos en el eje jw son simples.

Condición 3 : En general los polos de Z_{21} son también polos de Z_{22} y Z_{11}, pero Z_{22} o Z_{11} pueden tener otros polos que aquellos que tienen Z_{21}.

Condición 4 : Todos los coeficiente en los numeradores y denominadores de Z_{22}, Z_{21} y Z_{11} no son negativos, los coeficiente del numerador de Z_{21} no son mayores que los correspondiente coeficientes de Z_{22}, Z_{11}; los denominadores de éstos parámetros no son los mismos.

Condición 5 : Sí Z_{22} o Z_{11} es una función de excitación de una red LC y por lo tanto es una relación de polinomios impares y pares de s, entonces Z_{21} debe también ser una relación de polinomios pares e impares de s

Las condiciones dadas para los Z_{22}, Z_{21} y Z11 cumplen también para los parámetros de Y_{22}, Y_{21} y Y11.

4.2.- SINTESIS INTEGRADA DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA DE REDES DE DOS PARES DE TERMINALES CON ELEMENTOS RL, RC, LC, RLC.

Las funciones de transferencia T(s) difieren de las funciones de excitación F(s) en dos aspectos:

Primero.- La regla que gobierna la diferencia de grados de los polinomios del numerador y denominador es :

> " El numerador puede ser de cualquier grado menor que el denominador (incluyendo el grado cero) ".

Segundo.- Los ceros pueden localizarse en el semiplano derecho del plano s. Para el presente estudio, se considerará que las " funciones de transferencia son de fase mínima, es decir, los ceros se ubicarán sólo en el semiplano izquierdo del plano s ".

De acuerdo a los métodos de las corrientes de malla y de los voltajes de nodos, se puede escribir las ecuaciones (ver figura 4.1.) :

$$I_1 = Y_{11}*V_1 + Y_{12}*V_2$$
$$I_2 = Y_{21}*V_1 + Y_{22}*V_2$$

$$V_1 = Z_{11}*I_1 + Z_{12}*I_2$$
$$V_1 = Z_{21}*I_1 + Z_{22}*I_2$$

ec. 4.2.

Además $-I_2 = V_2/R_2$

$$Z(s)' = \frac{V2}{I1} = R_2 \left[\frac{Z21}{R2 + Z22} \right]$$

$$A(s) = \frac{I2}{I1} = - \left[\frac{Z21}{R2 + Z22} \right]$$

$$Y(s)' = \frac{I2}{V1} = -1/R_2 \left[\frac{-Y21}{1/R2 + Y22} \right]$$

$$G(s) = \frac{V2}{V1} = \left[\frac{-Y21}{1/R2 + Y22} \right]$$

ec. **4.3.**

El parámetro $-Y_{21}$ no tiene coeficientes negativos en su numerador y denominador, se usa en vez de Y_{21}; se adopta el signo menos porque Y_{21} es negativa en cualquier red.

Para obtener una función de transferencia T(s) dada, se tiene que sintetizar un conjunto de parámetros de la ecuación 4.3, que son físicamente realizable. Se tiene en cuenta que $R_2 = 1\ \Omega$. Ver figura 4.1.

Se puede enunciar los requerimientos para poder sintetizar una función de transferencia :

TABLA 4.1.

Si desea obtener	Se tiene que sintetizar
$Z(s)' = V_2 / I_1$	Z_{21} , Z_{22}
$A(s) = I_2 / I_1$	Z_{21} , Z_{22}
$Y(s)' = I_2 / V_1$	Y_{21} , Y_{22}
$G(s) = V_2 / V_1$	Y_{21} , Y_{22}

$Z(s)' = V_2/I_1$ Función de transferencia de impedancia

$A(s) = I_2/I_1$ Función de transferencia de corriente

$Y(s)' = I_2/V_1$ Función de transferencia de admitancia

$G(s) = V_2/V_1$ Función de transferencia de voltaje

Es necesario enumerar las condiciones que debe cumplir una función de transferencia T(s) para ser sintetizada, las cuales son :

1) La función de transferencia T(s) es también una relación entre dos polinomios con coeficientes reales de s.

2) Los polos de la funciones de transferencia T(s) descrita anteriormente, están en el plano izquierdo de s.

3) En los polinomios de T(s) :
   - Los coeficientes del numerador y denominador no deben ser negativos.
   - Los coeficientes del numerador no deben ser mayores que los correspondientes coeficientes de igual exponente del denominador.

El método básico para la síntesis de funciones de transferencia T(s) con redes escalera, tanto para los Z_{ij} como para los Y_{ij}, se enuncia en tres pasos :

PASO 1.- Se determina los parámetros Z_{22}, Z_{21} de una función T(s). Se toman los parámetros de las ecuaciones 4.3., con R2 = 1Ω de la figura 4.1.

El Z_{21} (o $-Y_{21}$) se escoge para que tenga el mismo denominador de Z_{22} (o $-Y_{22}$).

PASO 2.- Se establece posibles configuraciones de red de los ceros de transmisión (esto es los ceros de Z_{21} (o $-Y_{21}$) que se obtuvo en el paso 1). Ver apéndice B (Modelos de red).

PASO 3.- Se sintetiza Z_{22} como impedancia de excitación Zk (o Y_{22} como admitancia de excitación Yk). Con una de las configuraciones determinadas.

Para predecir las configuraciones se sigue el siguiente procedimiento:

- Se halla los ceros de transmisión, que son los ceros de Z21 o - Y21
- Se usan las selecciones del apéndice B (modelos de red).

4.2.1.- PROPIEDADES DE REDES TIPO ESCALERA

Propiedad i.- Una red escalera sin inductancias mutuas (sin acoplamiento mutuo) puede ser:

a) Red equivalente T con 3 impedancias o 3 admitancias.

b) Un equivalente Π con 3 admitancias o 3 impedancias (teniendo en cuenta las transformadas delta / triángulo).

Propiedad ii.- En una red escalera sin inductancias mutuas :

a) Todos los coeficientes del numerador y denominador de Z_{21}, Z_{11} , Z_{22} o Y_{21}, Y_{11} , Y_{22}, no son negativos

b) Los numeradores de Z_{21} no son mayores en grado a Z_{11}, y Z_{22}, teniendo el mismo denominador. Lo mismo sucede para los elementos Y_{21}, Y_{11} , Y_{22}.

Propiedad iii.- Con la resistencia R_2, se define:

a) Todos los coeficientes del numerador de las expresiones de la ecuación 4.3 no deben ser negativas.

b) Los coeficientes del numerador no son mayores que los correspondientes coeficientes del denominador.

A continuación se detallan los tres desarrollos para la síntesis integrada de funciones de transferencia T(s), se basa su desarrollo a los ceros de transmisión de la función de red.

4.2.2.- PRIMER DESARROLLO: CON CEROS DE TRANSMISION IMAGINARIOS PUROS, EN EL ORIGEN E INFINITO. RED LC.

La forma más apropiada de expresar la T(s) de la red LC (numerador solo con potencias par (o impar) y denominador con potencias impar (o pares)), es :

$$T_{(s)} = H \frac{(s^2+w_1^2)(s^2+w_3^2)\ldots\ldots(s^2+w_m^2)}{(s^2+w_2^2)(s^2+w_4^2)\ldots\ldots(s^2+w_n^2)}$$

ec. 4.4.

En base a los procedimientos seguido en el literal 4.1., se puede describir los pasos a seguir :

PASO 1.- Obtención de Z_{21}, Z_{22} (o $-Y_{21}$, Y_{22}), de la función de transferencia con $R_2 = 1\ \Omega$ o con casos especiales de $R_2 = \infty$ o $R_2 = 0$.

En $Z(s)'$ y $A(s)$ se encuentran los Z_{21}, Z_{22} mientras que en $Y(s)'$ y $G(s)$ están los Y_{21}, Y_{22} .

Para los parámetros $Z(s)'$ y $A(s)$:

a) Cuando el numerador es par:

$$Z(s)' = H \frac{P(s)}{Q(s)} \qquad y \qquad A(s) = -H \frac{P(s)}{Q(s)}$$

$$A(s) = - \left[\frac{Z21}{R2 + Z22} \right] \qquad \text{según ec. 4.3.}$$

$$A(s) = -H \frac{M1(s)}{M2(s) + N2(s)} = -H \frac{M1(s)/N2(s)}{1 + M2(s)/N2(s)}$$

$$Z_{21} = H\ M1(s)/N2(s)$$
$$Z_{22} = M2(s)/N2(s)$$

ec. 4.5.

donde : M1(s),M2(s),N1(s) y N2(s) son descritas de acuerdo a la ecuación 2.7.

b) Cuando el numerador es impar:

$$A(s) = -H \frac{N1(s)}{M2(s) + N2(s)} = -H \frac{N1(s)/M2(s)}{1 + N2(s)/M2(s)}$$

$$Z_{21} = H \quad N1(s)/M2(s)$$
$$Z_{22} = N2(s)/M2(s) \qquad \text{ec. 4.6.}$$

Para los parámetros Y(s)´ y G(s) :

a) Cuando el numerador es par:

$$-Y_{21} = H \quad M1(s)/N2(s)$$
$$Y_{22} = M2(s)/N2(s) \qquad \text{ec. 4.7.}$$

b) Cuando el numerador es impar:

$$-Y_{21} = H \quad N1(s)/M2(s)$$
$$Y_{22} = N2(s)/M2(s) \qquad \text{ec. 4.8.}$$

PASO 2.- Se predice las posibles configuraciones de redes según los ceros de transmisión (los ceros Z_{21} o Y_{21}).

Dados Z_{21} y Z_{22}, debe cumplir con las figuras 4.2.a. y 4.2.b. y a la vez tienen el mismo denominador.

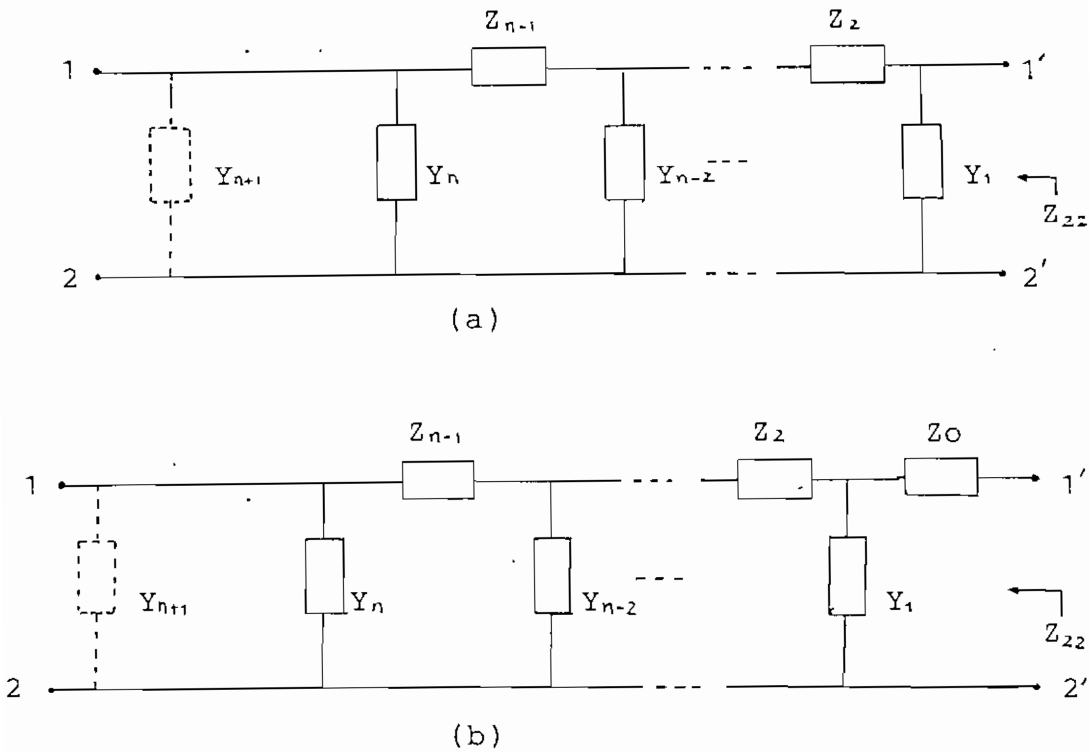


FIG. 4.2.

Lo que se debe tener en cuenta, es :

- Debe haber una rama paralela en los tramos izquierdos de la red.

- Los polos de todas las ramas serie Z_i, con excepción de Z_o en el extremo derecho, son ceros de transmisión.

- Los polos de todas las ramas paralelas Y_j, son ceros de transmisión.

Si se da los parámetros $-Y_{21}$ y Y_{22} se debe cumplir con las figuras 4.3.a. y 4.3.b.

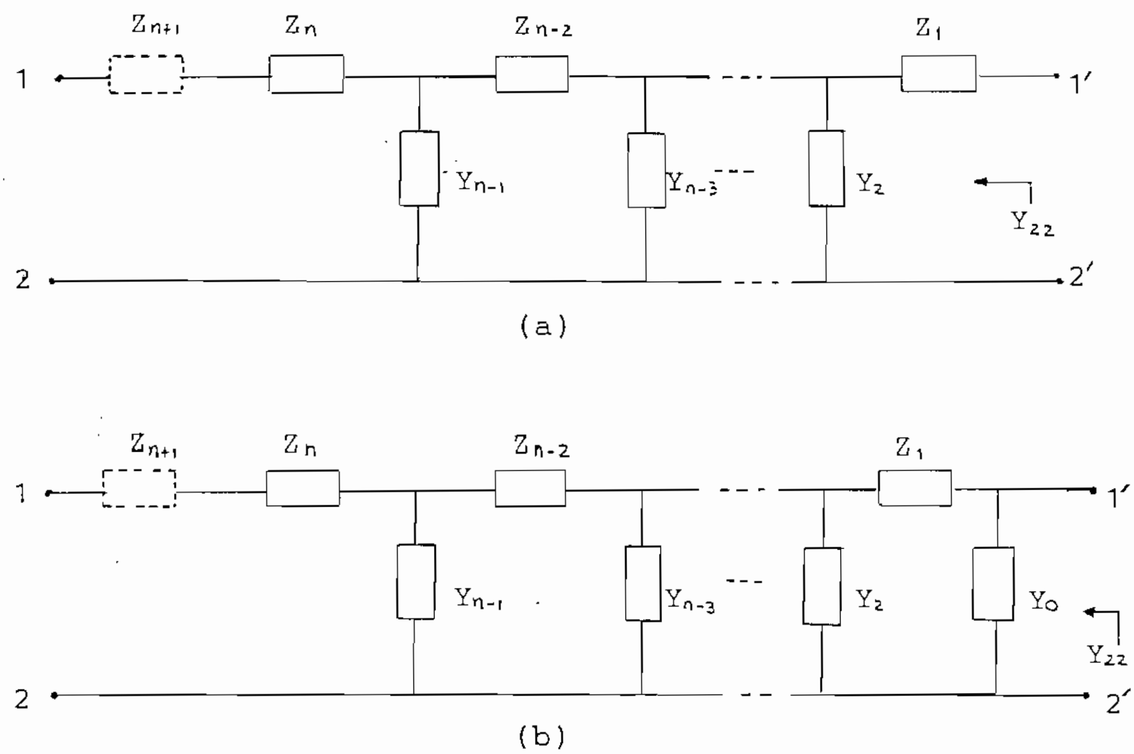


FIG. 4.3.

Lo cual indica que:

- Debe haber una rama serie en el extremo izquierdo de la red.
- Los polos de todas las ramas serie Zi son ceros de transmisión.
- Los polos de las ramas paralelas Yj, con excepción de Yo en el extremo derecho, son ceros de transmisión.

Paso 3.- Se procede a sintetizar la configuración preestablecida.

Se selecciona una configuración de acuerdo al modelo que se requiera. En el apéndice B se encuentran los diferentes modelos de red para su selección.

4.2.2.1.- MODELO DE RED 1-LC.

Ver apéndice B (modelos de red).

"Se desea sintetizar una Z_k de excitación LC como una sección del modelo 1-LC dejando una Z_{k+1} a ser sintetizada. Esta sección es productora de los K-ésimos ceros de transmisión de la red y es responsable para el par de ceros de transmisión en $s = \pm jw_k$."

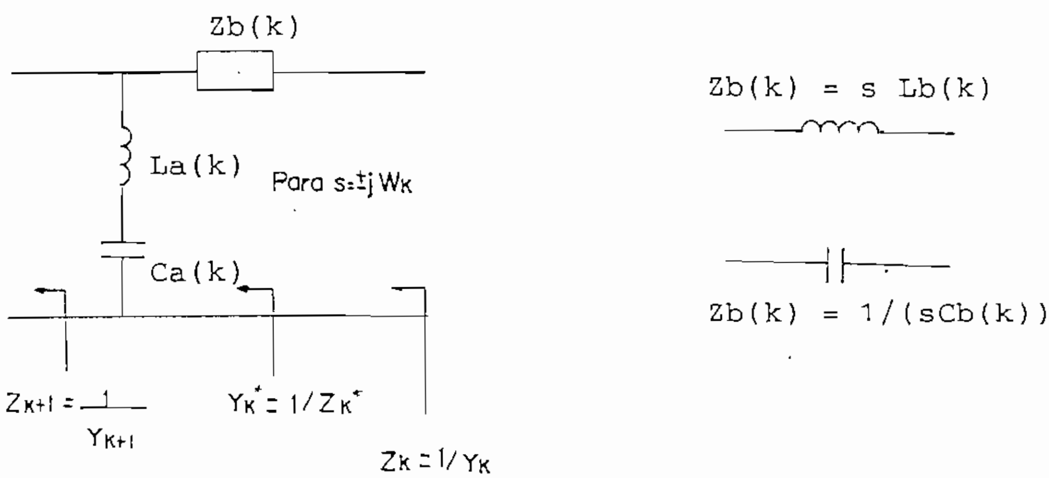


FIG. 4.4.

PRIMER PASO :

Si Z_k $(jw_k) = j\ X_k$, se tendrá que la rama $Z_b(k)$ es :

Inductiva si:

$X_k \geq 0$

$Lb(k) = X_k/Wk$

$Zb(k) = s\ Lb(k)$

Capacitiva si:

$X_k < 0$

$$Cb(k) = \frac{1}{Wk\ |\ X_k\ |}$$

$$Zb(k) = \frac{1}{s\ Cb(K)}$$

SEGUNDO PASO :

Se halla $Z_k{}^*$ o $Y_k{}^*$

$Z_k = Zb(k) + Z_k{}^*$ --> $Z_k{}^* = Z_k - Zb(k)$

$Y_k{}^* = 1/Z_k{}^*$

$Y_k{}^* = Ya(k) + Y_{k+1}$

$$Y_k{}^* = \frac{Mk\ s}{s^2 + Wk^2} + Y_{k+1}$$

Siendo el valor de la constante M_k :

$$Mk = \lim_{s \to jw_k} \left[\frac{s^2 + Wk^2}{s} * Y_k{}^* \right]$$

Los valores de los elementos de $Y_a(k)$ son :

$L_a(k) = 1 / M_k$ $\qquad$ $C_a(k) = M_k / W_k{}^2$

TERCER PASO :

Si se conoce $Y_a(k)$, se obtiene la Y_{k+1}

$$Y_{k+1} = Y_k^* - Ya(k)$$

$$Z_{k+1} = 1 / Y_{k+1}$$

En este momento se puede comenzar a sintetizar la otra sección.

CUARTO PASO :

Se puede avanzar a éste paso cuando la síntesis es para los ceros de transmisión en $s = 0$ y $s = \infty$.

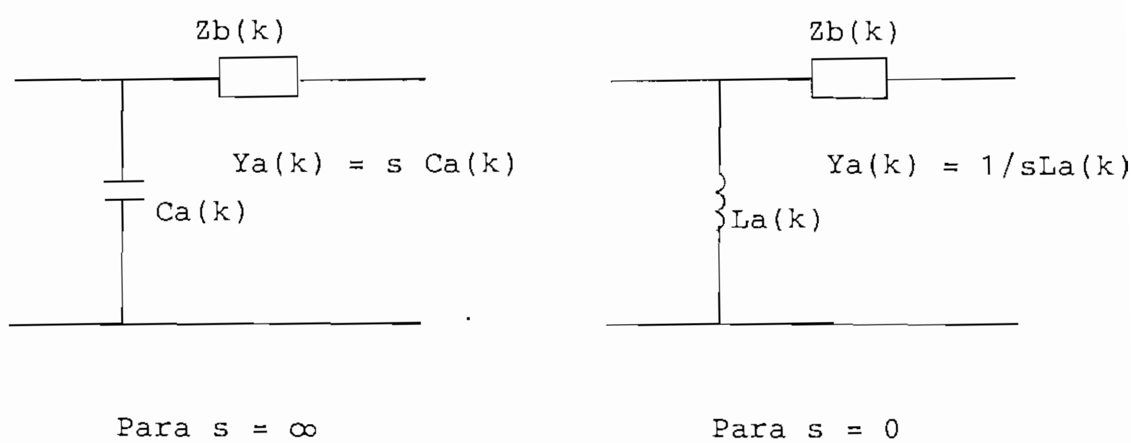


FIG. 4.5.

Para $Y_a(k) = s{*}C_a(k)$ el polo es $s = \infty$:

$Y_a(k) = s{*}C_a(k)$ en vez de $Y_a = \dfrac{Mk\ s}{s^2 + Wk^2}$

$$C_a(k) = \lim_{s\to\infty} \left[\frac{1}{s} Y_k{}^* \right] \quad \text{en vez de :}$$

$$Mk = \lim_{s\to j\omega_K} \left[\frac{s^2 + Wk^2}{s} * Y_k{}^* \right]$$

y con $Y_a(k) = 1/[s*L_a(k)]$ el polo es $s = 0$.

$$Y_a(k) = 1/\ s*L_a(k) \qquad \text{en vez de} \qquad Y_a = \frac{Mk\ s}{s^2 + Wk^2}.$$

$$L_a(k) = \frac{1}{\lim_{s\to 0} (s*Y_k{}^*)} \quad \text{en vez de :}$$

$$Mk = \lim_{s\to j\omega_K} \left[\frac{s^2 + Wk^2}{s} * Y_k{}^* \right]$$

4.2.2.2.- MODELO DE RED 2-LC.

Ver apéndice B (modelos de red).

"Se desea sintetizar una Z_k de excitación LC como una sección del modelo 2-LC dejando una Z_{k+1} a ser sintetizada. Esta sección es productora de los K-ésimos ceros de transmisión de la red y es responsable para el par de ceros de transmisión en $s = \pm\ jw_k$."

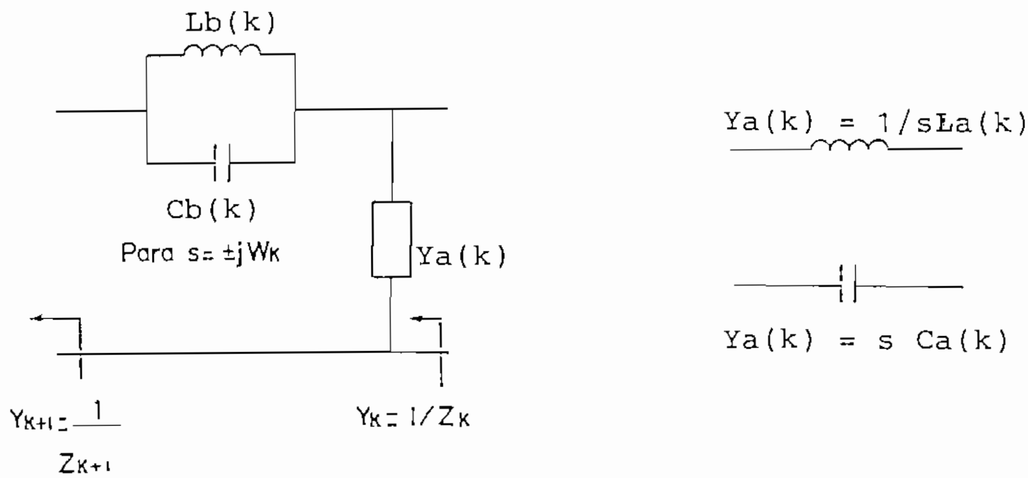


FIG. 4.6.

PRIMER PASO :

Si $Y_k\ (jw_k) = j\ B_k$, se tendrá que la rama $Y_a(k)$ es :

Capacitiva si:

$B_k \geq 0$

$Ca(k) = B_k/Wk$

$Ya(k) = s\ Ca(k)$

Inductiva si:

$B_k < 0$

$$La(k) = \frac{1}{Wk\ |\ B_k\ |}$$

$$Ya(k) = \frac{1}{s\ La(K)}$$

SEGUNDO PASO :

Se halla Z_k^* o Y_k^*

$Y_k^* = Y_k - Ya(k)$

$Z_k^* = 1/Y_k^*$

$$Z_k^* = Zb(k) + Z_{k+1}$$

$$Z_k^* = \frac{Nk\ s}{s^2 + Wk^2} + Z_{k+1}$$

Siendo el valor de la constante N_k :

$$Nk = \lim_{s \to j\omega_k} \left[\frac{s^2 + Wk^2}{s} * Z_k^* \right]$$

Sus valores de los elementos de $Z_b(k)$, son :

$$L_b(k) = N_k / W_k^2 \qquad C_b(k) = 1 / N_k$$

TERCER PASO :

Si se conoce $Z_b(k)$, se obtiene la Z_{k+1}.

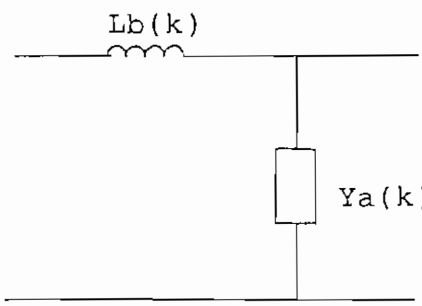
$$Z_{k+1} = Z_k^* - Zb(k)$$

$$Y_{k+1} = 1 / Z_{k+1}$$

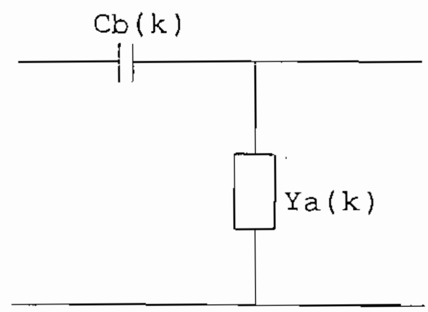
En este momento se puede comenzar a sintetizar la otra sección.

CUARTO PASO :

Se avanza a éste paso cuando la síntesis es para los ceros de transmisión en $s = \infty$ y $s = 0$.



Para s = ∞



Para s = 0

FIG. 4.7.

Para $Z_b(k) = s*L_b(k)$ el polo es $s = \infty$:

$Z_b(k) = s*L_b(k)$ en vez de $Z_b = \dfrac{Nk\ s}{s^2 + Wk^2}$

$L_b(k) = \lim\limits_{s \to \infty} \left[\dfrac{1}{s} Z_k{}^* \right]$ en vez de :

$Nk = \lim\limits_{s \to j\omega_k} \left[\dfrac{s^2 + Wk^2}{s} * Z_k{}^* \right]$

y con $Z_b(k) = 1/[s*C_b(k)]$ el polo es $s = 0$.

$Z_b(k) = 1/\ s*C_b(k)$ en vez de $Z_b = \dfrac{Nk\ s}{s^2 + Wk^2}$

$C_b(k) = \dfrac{1}{\lim\limits_{s \to 0} (s*Z_k{}^*)}$ en vez de :

$Nk = \lim\limits_{s \to j\omega_k} \left[\dfrac{s^2 + Wk^2}{s} * Z_k{}^* \right]$

Entonces, la regla que sigue éste primer desarrollo es :

- Hallamos Z_{21}, Z_{22} (o $-Y_{21}$, Y_{22}), con los método descritos en éste literal.
- Se determina los ceros de transmisión de Z_{21} (o $-Y_{21}$).
- Se predice la configuración de acuerdo a las técnicas.
- Se prosigue con los casos especiales ($s = 0$ y $s = \infty$).

4.2.3.- SEGUNDO DESARROLLO: CON CEROS DE TRANSMISION REALES NEGATIVOS, EN EL ORIGEN E INFINITO. REDES RC, RCL.

La forma más apropiada de las funciones de transferencia Z(s)´ y Y(s)´ de la red RC es:

$$Y_{(s)}' = H \frac{(s+\beta_1)(s+\beta_3)\,.....\,(s+\beta_n)}{(s+\sigma_2)(s+\sigma_4)\,.....\,(s+\sigma_m)} \qquad \text{ec. 4.9.}$$

$$Z_{(s)}' = H \frac{(s+\sigma_2)(s+\sigma_4)\,.....\,(s+\sigma_m)}{(s+\beta_1)(s+\beta_3)\,.....\,(s+\beta_n)} \qquad \text{ec. 4.10.}$$

para $\beta_1 < \sigma_2 < \beta_3 < \ldots$

En cambio para una red RL, se tiene :

$$Z_{(s)}' = H\,\frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\,.....\,(s+\sigma_n)}{(s+\beta_2)(s+\beta_4)\,.....\,(s+\beta_m)} \qquad \text{ec. } 4.11.$$

$$Y_{(s)}' = H\,\frac{(s+\beta_2)(s+\beta_4)\,.....\,(s+\beta_m)}{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\,.....\,(s+\sigma_n)} \qquad \text{ec. } 4.12.$$

para $\beta_1 < \sigma_2 < \beta_3 < \ldots$

En los dos casos los polos y ceros están intercalados en el eje real negativo. Se usa igual número de factores lineales o polinomios del mismo grado en el numerador y denominador.

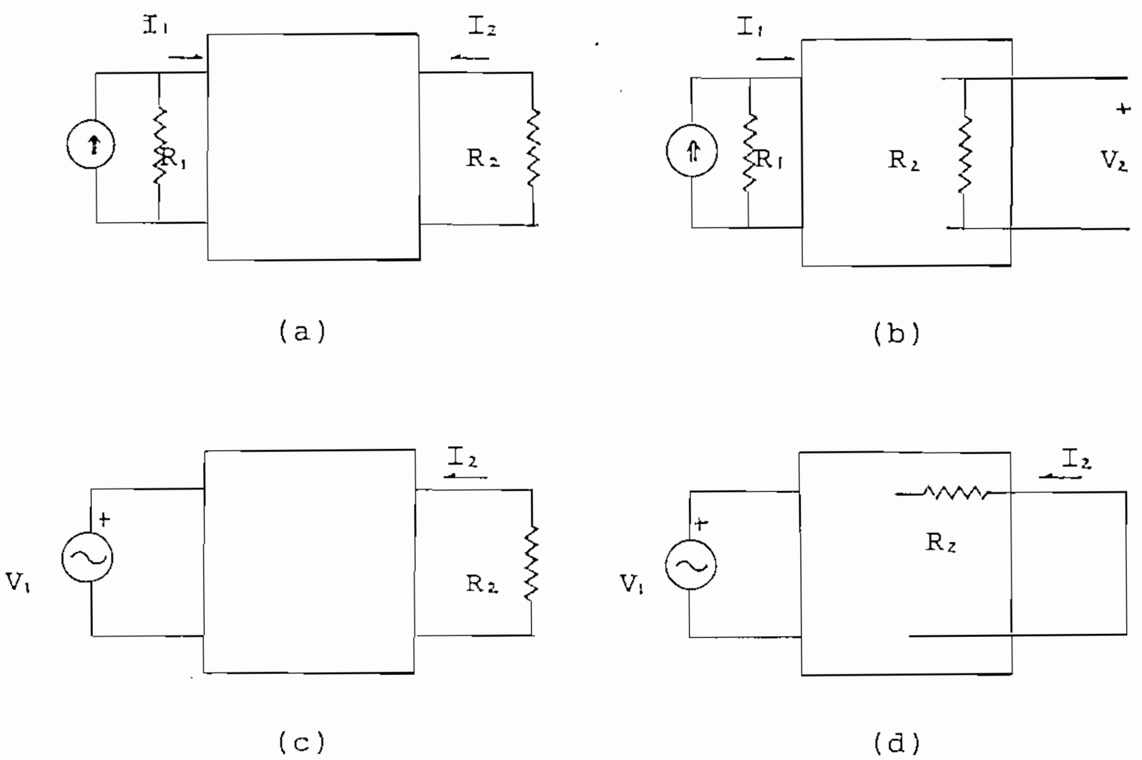


FIG. 4.8.

PASO 1.- Obtención de Z_{21}, Z_{22} (o $-Y_{21}$, Y_{22}), de la función de transferencia con R_2 considerada como parte del circuito, ver fig. 4.8.

Para cuando se tiene $Z(s)'$ y $A(s)$ se encuentran los Z_{21}, Z_{22}, los mismos que se seleccionan de acuerdo a la red.

Se escoge :

$$Z(s)' = H\,\frac{P(s)}{Q(s)} \qquad y \qquad A(s) = -H\,\frac{P(s)}{Q(s)}$$

$$Z_{21} = Z(s)' = H\,\frac{P(s)}{Q(s)} \qquad y \qquad Z_{22} = \frac{R(s)}{Q(s)}$$

ec. 4.13.

Para cuando la red es RC, Z_{22} debe ser una función de transferencia igual a la ecuación 4.14.

$$Z_{22} = \frac{R(s)}{Q(s)} = M\,\frac{(s+\beta_2)(s+\beta_4)\ldots\ldots(s+\beta_m)}{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\ldots\ldots(s+\sigma_n)} \qquad \text{ec. 4.14.}$$

para $\beta_1 < \sigma_2 < \beta_3 < \ldots$

Donde $M = 1$ o cualquier valor positivo apropiado.

En cambio si la red es RL, Z_{22} toma la forma de la ecuación 4.15.

$$Z_{22} = \frac{R(s)}{Q(s)} = M \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\,.....\,(s+\sigma_n)}{(s+\beta_2)(s+\beta_4)\,.....\,(s+\beta_m)} \qquad \text{ec. 4.15.}$$

para $\sigma_1 < \beta_2 < \sigma_3 < \ldots$

Donde M = 1 o cualquier valor positivo apropiado.

Mientras que en $Y(s)'$ y $G(s)$ están los Y_{21}, Y_{22}. De idéntica manera se selecciona de acuerdo a la red.

Siendo,

$$G(s) = H \frac{P(s)}{Q(s)} \qquad \text{y} \qquad Y(s)' = -H \frac{P(s)}{Q(s)}$$

$$-Y_{21} = H \frac{P(s)}{Q(s)} \qquad \text{y} \qquad Y_{22} = \frac{R(s)}{Q(s)}$$

ec. 4.16.

Para cuando la red es RC, Y_{22} debe ser una función de transferencia igual a la ecuación 4.17.

$$Y_{22} = \frac{R(s)}{Q(s)} = M \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3)\,.....\,(s+\sigma_n)}{(s+\beta_2)(s+\beta_4)\,.....\,(s+\beta_m)} \qquad \text{ec. 4.17.}$$

para $\sigma_1 < \beta_2 < \sigma_3 < \ldots$

Donde M = 1 o cualquier valor positivo apropiado.

En cambio si la red es RL, Y_{22} toma la forma de la ecuación 4.18.

$$Y_{22} = \frac{R(s)}{Q(s)} = M \frac{(s+\beta_2)(s+\beta_4).....(s+\beta_m)}{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3).....(s+\sigma_n)} \qquad \text{ec. } 4.18.$$

para $\beta_1 < \sigma_2 < \beta_3 < ...$

Donde M = 1 o cualquier valor positivo apropiado.

Si el polinomio del denominador Q(s) resulta ser demasiado grande, en cuanto a los coeficientes y con factores no reales, con relación al numerador P(s) se tendrá una red del modelo RLC.

4.2.3.1.- MODELO DE RED 1-RC.

Ver apéndice B (modelos de red).

"Se desea sintetizar una Z_k de excitación RC como una sección del modelo 1-RC dejando una Z_{k+1} a ser sintetizada. Esta sección es productora de los K-ésimos ceros de transmisión de la red y es responsable para el par de ceros de transmisión en s = $-\sigma_k$."

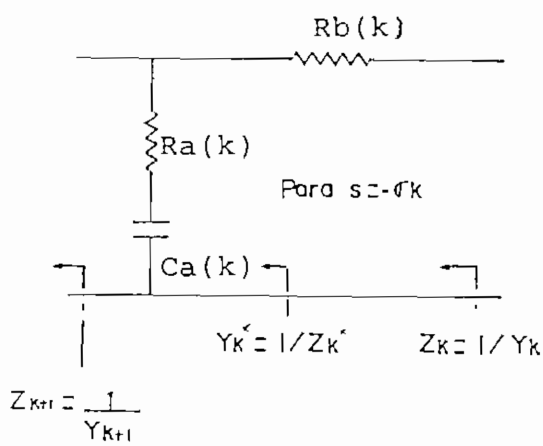


FIG. 4.9.

PRIMER PASO :

Si $Z_k(-\sigma_k) \geq 0$, se tendrá que la rama $R_b(k) = Z_k(-\sigma_k)$.

Si $Z_k(-\sigma_k) < 0$, no es realizable la síntesis.

$$Zk = Rb_{(k)} + Z_k^*$$

$$Ya_{(k)} = \frac{Mk\ s}{s + \sigma_k} = \infty$$

$$Za(k) = \left.\frac{1}{Ya_{(k)}} = 0\ \right|_{s=-\sigma_k}$$

$$Z_k^*(-\sigma_k) = 0 \quad \text{--->} \quad Za(-\sigma_k) = 0$$

SEGUNDO PASO :

Se halla Z_k^* o Y_k^*

$$Zk = Zb_{(k)} + Z_k^*$$

$$Z_k^* = Z_k - Rb_{(k)}$$

$$Y_k^* = 1/\ Z_k^*$$

$$Y_k^* = \frac{Mk\ s}{s + \sigma_k} + Y_{k+1}$$

$$Y_k^* = \frac{\{\ 1/Ra(k)\ \}\ s}{s + 1/RaCa} + Y_{k+1}$$

Siendo el valor de la constante M_k :

$$M_k = \lim_{s \to -\sigma_k} \frac{s + \sigma_k}{s} * Y_k^*$$

Siendo los valores de los elementos de $Y_a(k)$:

$R_a(k) = 1 / M_k$ $\qquad$ $C_a(k) = M_k / \sigma_k$

TERCER PASO :

Si se conoce $Y_a(k)$, se obtiene la Y_{k+1}

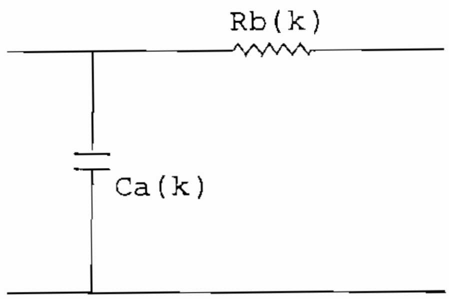
$$Y_{k+1} = Y_k^* - Y_a(k)$$

$$Z_{k+1} = 1 / Y_{k+1}$$

En este momento se puede comenzar a sintetizar la otra sección k+1.

CUARTO PASO :

Se puede avanzar a éste paso cuando la síntesis es para los ceros de transmisión en $s = \infty$.



Para $s = \infty$

FIG. 4.10.

Para $Y_a(k) = s*C_a(k)$ el cero es $s = \infty$:

$Y_a(k) = s*C_a(k)$ en vez de $Y_a = \dfrac{Mk\ s}{s + \sigma_k}$

$C_a(k) = \text{L i m}\ \dfrac{1}{s}\ Y_k*$ en vez de :

$C_a(k) = \dfrac{Mk\ s}{\sigma_k}$

4.2.3.2.- MODELO DE RED 2-RC.

Ver apéndice B (modelos de red).

"Se desea sintetizar una Y_k (o $Z_k = 1/Y_k$) de excitación RC como una sección del modelo 2-RC dejando una Y_{k+1} a ser sintetizada. Esta sección es productora de los K-ésimos ceros de transmisión de la red y es responsable para el par de ceros de transmisión en $s = -\sigma_k$."

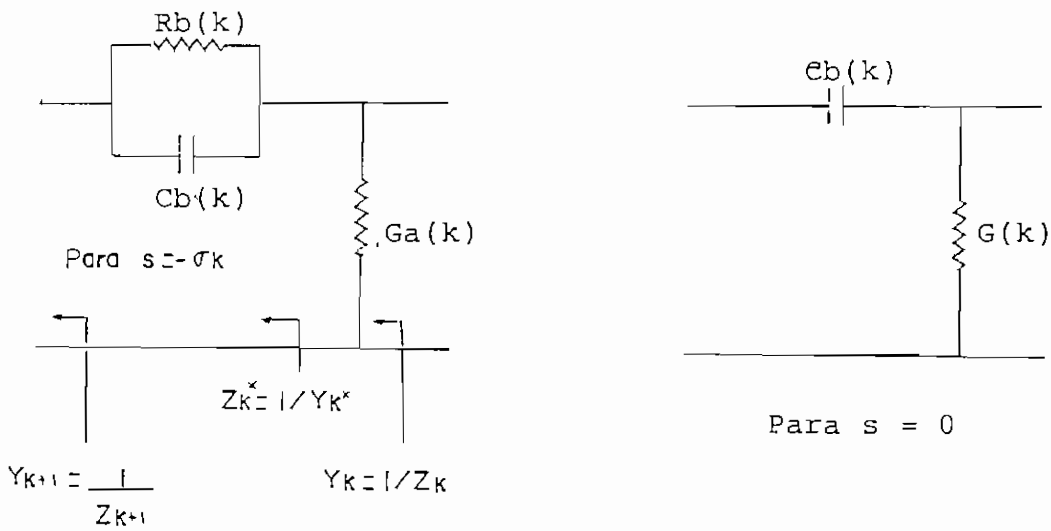


FIG. 4.11.

PRIMER PASO :

Si $Y_k(-\sigma_k) \geq 0$, se tendrá que la rama $G_a(k) = Y_k(-\sigma_k)$.

Si $Y_k(-\sigma_k) < 0$, no es realizable la síntesis.

$$Y_k = G_{a(k)} + Y_k^*$$

$$Z_{b(k)} = \frac{N_k\, s}{s + \sigma_k} = \infty$$

SEGUNDO PASO :

Se halla Z_k^* o Y_k^*

$$Z_k^* = Z_{b(k)} + Z_{k+1}$$

$$Z_k^* = \frac{N_k\, s}{s + \sigma_k} + Z_{k+1}$$

$$Z_k^* = \frac{1/Cb(k)}{s + 1/RbCb} + Z_{k+1}$$

Siendo el valor de la constante N_k :

$$Nk = \lim_{s \to -\sigma_k} \left(s + \sigma k\right) * Z_k^*$$

Los valores de los elementos de $Z_b(k)$ son :

$$C_b(k) = 1 / N_k \qquad R_b(k) = N_k / \sigma_k$$

TERCER PASO :

Si se conoce $Z_b(k)$, se obtiene la Z_{k+1}

$$Z_{k+1} = Z_k^* - Zb(k)$$

$$Y_{k+1} = 1 / Z_{k+1}$$

En este momento se puede comenzar a sintetizar la otra sección k+1.

CUARTO PASO :

Se avanzará a este paso cuando la síntesis es para los ceros de transmisión en s = 0. Como es similar al caso anterior se escribe :

$Z_b(k) = 1 / s*C_b(k)$ en vez de $Z_b = \dfrac{Nk}{s + \sigma_k}$

$C_a(k) = \dfrac{1}{\lim\limits_{s \to 0} (s \quad Zk^*)}$ en vez de :

$C_a(k) = 1/Nk$

La misma regla descrita en el literal 4.2.2. sirve para este desarrollo :

- Se halla Z_{21}, Z_{22} (o $-Y_{21}$, Y_{22}), con los métodos descritos en éste literal.
- Se determina los ceros de transmisión de Z_{21} (o $-Y_{21}$).
- Se predice la configuración de acuerdo a las técnicas.
- Se prosigue con los casos especiales ($s = 0$ y $s = \infty$).

4.2.4.- TERCERO DESARROLLO: CON CEROS DE TRANSMISION REALES NEGATIVOS, EN EL ORIGEN E INFINITO. REDES RL, RLC.

La expresión más apropiada de las funciones de transferencia Z(s)´ y Y(s)´ de la red RL es:

$$Z_{(s)}' = H \frac{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3).....(s+\sigma_n)}{(s+\beta_2)(s+\beta_4).....(s+\beta_m)} \qquad \text{ec. 4.19.}$$

$$Y_{(s)}' = H \frac{(s+\beta_2)(s+\beta_4).....(s+\beta_m)}{(s+\sigma_1)(s+\sigma_3).....(s+\sigma_n)} \qquad \text{ec. 4.20.}$$

para $\beta_1 < \sigma_2 < \beta_3 < \ldots$

En los dos casos los polos y ceros están intercalados en el eje real negativo. Se usa igual número de factores lineales o polinomios del mismo grado en el numerador y denominador.

Los pasos dados en el literal 4.2.3.- sirven de igual forma para este estudio, por lo tanto, se los toma en cuenta y no se los vuelve a repetir.

4.2.4.1.- MODELO DE RED 1-RL.

Ver apéndice B (modelos de red).

"Se desea sintetizar una Z_k de excitación RL como una sección del modelo 1-RL dejando una Z_{k+1} a ser sintetizada. Esta sección es productora de los K-ésimos ceros de transmisión de la red y es responsable para el par de ceros de transmisión en $s = -\sigma_k$."

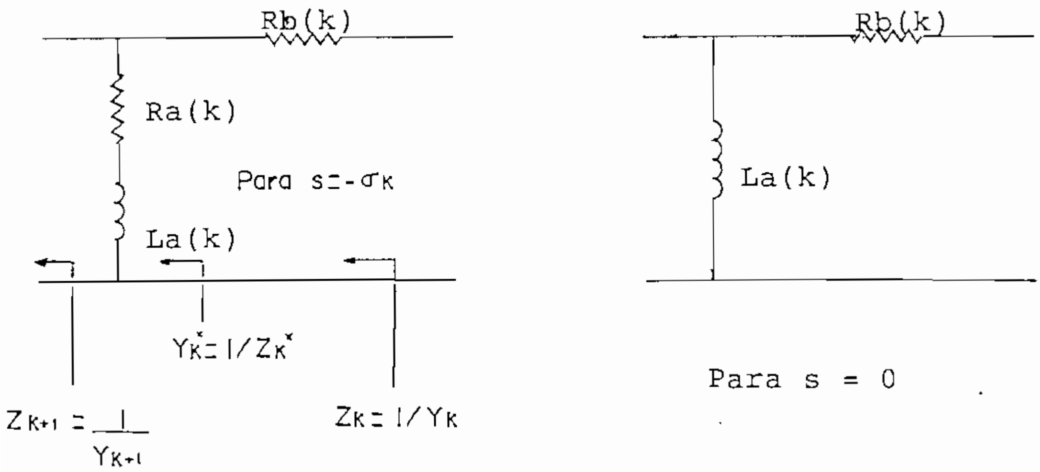


FIG. 4.12.

PRIMER PASO :

Si $Z_k(-\sigma_k) \geq 0$, se tendrá que la rama $R_b(k) = Z_k(-\sigma_k)$.

Si $Z_k(-\sigma_k) < 0$, no es realizable la síntesis (rama resistiva).

Para justificar :

$$Zk = Rb_{(k)} + Z_k^{*}$$

$$Ya_{(k)} = \frac{Nk}{s + \sigma_k} = \infty$$

SEGUNDO PASO :

Se halla Z_k^* o Y_k^*

$$Z_k^* = Z_k - Rb_k$$

$$Y_k^* = \frac{Nk\ s}{s + \sigma_k} + Y_{k+1}$$

$$Y_k^* = \frac{1/La(k)}{s + Ra/La} + Y_{k+1}$$

Siendo el valor de la constante N_k :

$$Nk = \lim_{s \to -\sigma_k} \left(s + \sigma k \right) * Y_k^*$$

Teniendo los valores de los elementos de $Y_a(k)$:

$$L_a(k) = 1 / N_k \qquad R_a(k) = \sigma_k / N_k$$

TERCER PASO :

Si se conoce $Y_a(k)$, se obtiene la Y_{k+1}.

$$Y_{k+1} = Y_k^* - Ya(k)$$

$$Z_{k+1} = 1 / Y_{k+1}$$

En este momento se puede comenzar a sintetizar la otra sección k+1.

CUARTO PASO :

Si la síntesis es para los ceros de transmisión en s = 0, se modifica:

$Y_a(k) = 1 / s*L_a(k)$ en vez de $Y_a(k) = \dfrac{Nk}{s + \sigma_k}$

$L_a(k) = \dfrac{1}{\text{Lim } s \; Yk*}$ en vez de :

$L_a(k) = 1/Nk$

4.2.4.2.- MODELO DE RED 2-RL.

Ver apéndice B (modelos de red).

"Se desea sintetizar una Y_k (o $Z_k = 1/Y_k$) de excitación RC como una sección del modelo 2-RL dejando una Y_{k+1} a ser sintetizada. Esta sección es productora de los K-ésimos ceros de transmisión de la red y es responsable para el par de ceros de transmisión en s = $-\ \sigma_k$."

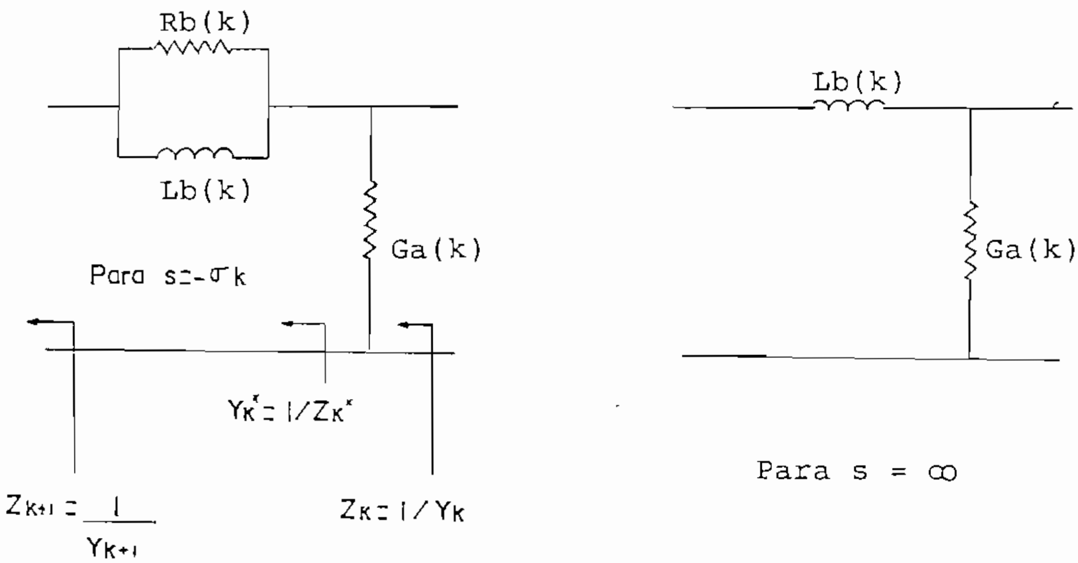


FIG. 4.13.

PRIMER PASO :

Si $Y_k(-\sigma_k) \geq 0$, se tendrá que la rama $G_a(k) = Y_k(-\sigma_k)$

Si $Y_k(-\sigma_k) < 0$, no es realizable la síntesis,(rama resistiva)

SEGUNDO PASO :

Se halla $Z_k{*}$ o $Y_k{*}$

$$Y_k^* = Y_k - Ga_k$$

$$Z_k^* = \frac{Mk\ s}{s + \sigma_k} + Z_{k+1}$$

$$Z_k^* = \frac{Rb(k)\ s}{s + Rb/Lb} + Z_{k+1}$$

Siendo el valor de la constante N_k :

$$Mk = \lim_{s \to -\sigma_k} \left(\frac{s + \sigma k}{s}\right) * Z_k^*$$

Teniendo los valores de los elementos de $Z_b(k)$:

$$R_b(k) = M_k \qquad L_b(k) = M_k / \sigma_k$$

TERCER PASO :

Si se conoce $Z_b(k)$, se obtiene la

$$Z_{k+1} = Z_k^* - Zb(k)$$

$$Y_{k+1} = 1 / Z_{k+1}$$

En este momento se puede comenzar a sintetizar la otra sección k+1.

CUARTO PASO :

Se avanzará a este paso cuando la síntesis es para los ceros de transmisión en $s = \infty$. Como es similar al caso anterior se escribe :

$Z_b(k) = s*L_b(k)$ en vez de $Z_b(k) = \dfrac{M_k}{s + \sigma_k}$

$L_b(k) = \lim_{s \to \infty} \left[\dfrac{1}{s} \; Zk^* \right]$ en vez de :

$L_b(k) = Mk/\sigma_k$

La misma regla descrita en el literal 4.2.2. sirve para este desarrollo :

- Se halla Z_{21}, Z_{22} (o $-Y_{21}$, Y_{22}), con los métodos descritos en éste literal.
- Se determina los ceros de transmisión de Z_{21} (o $-Y_{21}$).
- Se predice la configuración de acuerdo a las técnicas.
- Se prosigue con los casos especiales ($s = 0$ y $s = \infty$).

CAPITULO V

MANUAL Y USO DEL PROGRAMA SIREP

5.1.- OBJETIVO.

Siendo el objetivo del programa SIREP determinar si una función de red dada es función real y positiva y por ende si es sintetizable, como una función de excitación o una función de transferencia, por los métodos analíticos para la síntesis de redes eléctricas pasivas, descritos en los Capítulos II, III y IV. En caso de que la función de red sea sintetizable, el programa obtendrá todos y oada uno de los valores de los elementos que conforman la red (de las funoiones de excitación o de transferencia).

5.2.- DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

Para el desarrollo del programa se ha utilizado el lenguaje de programación C ++ , el mismo que tiene características de tipo estructurado y de ser orientado a objetos, por la facilidad de crear los diferentes archivos ejecutables que se requieren en el proceso del programa. Las pantallas de los menús y de los resultados se presentan en los modos gráfico y texto.

Por ser un programa desarrollado con características didácticas, tipo usuario, consta de un Menú Principal y varios Submenús para cada tipo de función a ser sintetizable. El menú principal tiene cuatro opciones, dos opciones para las funciones (de excitación y de transferencia), una opción para los gráficos de red y la última opción para terminar o salir del programa (al D.O.S.).

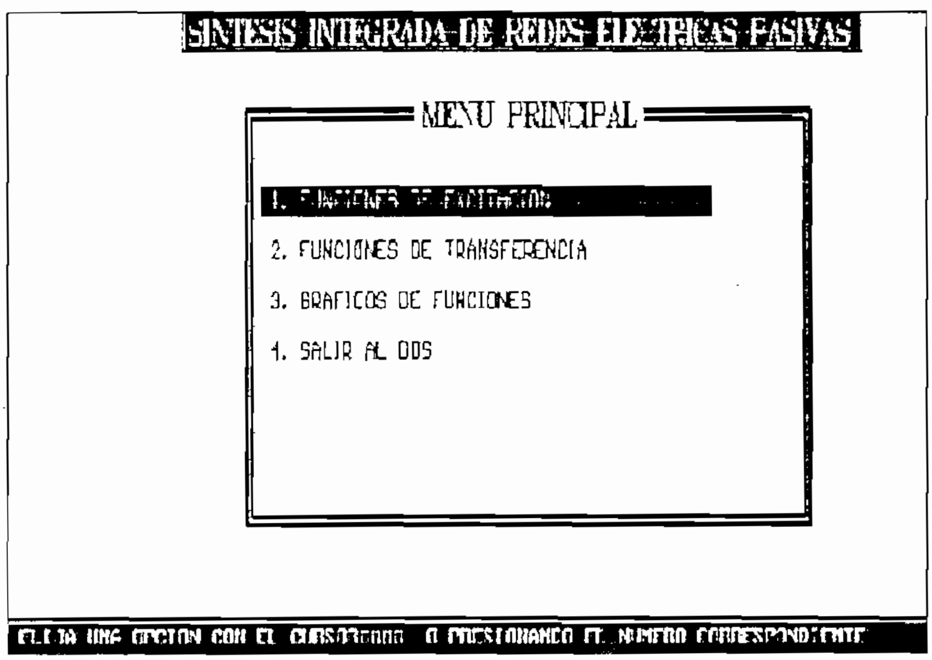


FIG. 5.1

Cuando se opta por la opción de funciones de excitación en el menú principal, se tiene un submenú para los datos de entrada en el que consta de opciones de : ingreso de datos, editar los datos, resolución de la función, regresar al menú principal y la opción de salir directamente al D.O.S.

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

FUNCIONES DE EXCITACION

1. INGRESO DE DATOS

2. EDITAR LOS DATOS

3. RESOLUCION DE LA FUNCION

4. RETORNO AL MENU PRINCIPAL

FIG. 5.2.

El programa, por tener la característica de ser orientado a objetos, consta de subprogramas, los mismos que se indican :

EXCSIREP.EXE.- Realiza el desarrollo automatizado de la síntesis de funciones de excitación. Redes RC, RL y LC.

TRASIREP.EXE.- Realiza el desarrollo automatizado de la síntesis de funciones de transferencia. Redes RC, RL, LC y RLC.

GRAFICOS.EXE.- En este archivo ejecutable se tiene todos los gráficos para las funciones de excitación y de transferencia.

<u>USO Y MANUAL</u>

El programa está diseñado para que se pueda ejecutar en cualquier computador personal. Para ingresar al programa se debe digitar el archivo SIREP.EXE y en forma inmediata aparecerá la "pantalla de presentación". A partir de aquí, se tiene a nuestro alcance el menú principal con las opciones antes mencionadas. Se ingresa a cualquier opción con el número indicado o con las flechas de navegación presionando ENTER.

Si, por ejemplo, en el menú principal se toma la opción 1 = Función de excitación, se está ingresando a los respectivos submenús de dicha función para que se realice la síntesis integrada de las funciones de excitación. El próximo submenú es el de Ingreso de Datos,

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

INGRESO DE DATOS

1. POR TECLADO

2. DE DISCO

FIG. 5.3.

Si las opciones de editar los datos y resolución de la función (figura 5.2.) son digitadas primero sin previo ingreso por la opción de ingreso de datos, el programa indica un aviso intermitente de error, por lo cual se tiene primero que digitar la opción 1 (ingreso de datos).

Al digitar la opción de ingreso de datos la siguiente pantalla pregunta si por teclado o por disco (figura 5.3.). Si se toma la opción por disco se digitará el nombre del archivo grabado (así por ejemplo e1).

Si la opción es por teclado se tiene el siguiente submenú que consta de tres opciones: dos para ingresar el grado del numerador y denominador y uno para realizar el cambio de datos por algún error.

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

INGRESO DE DATOS

INGRESE EL GRADO DEL NUMERADOR 3

INGRESE EL GRADO DEL DENOMINADOR 2

Desea cambiar S/N ===>

FIG. 5.4.

Para ingresar los valores de los coeficientes de los polinomios del numerador y del denominador, se los puede hacer por Listado o en Forma Libre. Si se escoge por listado, los valores de los coeficientes se van digitando desde el de mayor grado al de menor grado, primero sólo los del numerador y luego los del denominador. Ver figura 5.5.

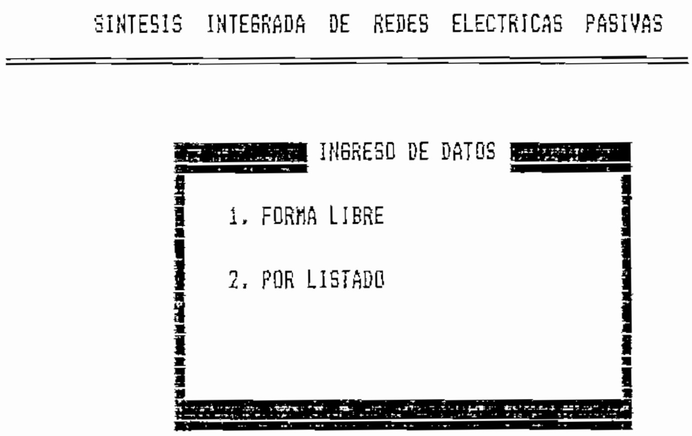


FIG. 5.5.

Pero si lo es en forma libre, se ingresan los valores de los coeficientes indistintamente y en forma arbitraria, teniendo oportunidad de corregir los valores equivocados. Al término de esto se tiene una opción para grabar, si se responde afirmativamente el nombre del archivo para dicha función puede ser cualquier caracter alfanumérico.

El submenú resolución de la función, consta de cinco opciones a saber:

1 = De la forma Z (impedancia).
2 = De la forma Y (admitancia).
3 = De la forma Serie.
4 = De la forma Paralelo y
5 = Retorna al submenú de la fig.5.2.

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RESULTADOS

1. DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)

2. DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)

3. DE LA FORMA SERIE

4. DE LA FORMA PARALELO

5. RETORNAR AL MENU

FIG. 5.6.

El resultado de la síntesis integrada para funciones de excitación en la forma Z, se obtiene digitando el número 1 o con las flechas de navegación, de forma inmediata muestra todos los resultados. Si se desea imprimir los resultados (de la forma Z o de cualquier otra) se presiona la tecla P.

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED LC DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)TIPO: 1

F(s)= 2.00*s^6 + 18.00*s^4 + 46.00*s^2 + 30.00*s^0
1.00*s^5 + 6.00*s^3 + 8.00*s^1

F(s)= (s² + 1.00)(s² + 3.00)(s² + 5.00)
(s)(s² + 2.00)(s² + 4.00)

LOS CEROS SON: ±1.00j ±1.73j ±2.24j

LOS POLOS SON: - 0.00 ±1.41j ±2.00j

L = 2.000 H C = 0.267 F
Capacitancias: C1 = 0.667 F Inductancias: L1 = 0.750 H
C2 = 1.333 F L2 = 0.167 H

Si se ha realizado todas las formas de síntesis para la función de excitación y se desea cambiar algunos valores de los coeficientes de los polinomios de dicha función (manteniendo los mismos exponentes) se toma la opción 5 = retornar al menú de la fig.5.2. y se elige la opción 2 = editar los datos. Los valores de los coeficientes se muestra en la forma libre por ser la más adecuada para poder modificarlos. Se puede entonces, comenzar otra vez con los pasos antes mencionados.

Con la opción de las funciones de transferencia en el menú principal, se ingresa a un submenú de Ingreso de Datos que es igual al de la funciones de excitación, es decir, los pasos a seguir son los antes explicados para la opción 1 de las funciones de excitación (fig.5.2.). Con la diferencia en el submenú de los resultados no existe, puesto que estos se presentan en forma inmediata los resultados después de ingresar los valores de los coeficientes.

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

1. INGRESO DE DATOS

2. EDITAR LOS DATOS

3. RESOLUCION DE LA FUNCION

4. RETORNO AL MENU PRINCIPAL

FIG. 5.7.

En base a estas simples explicaciones (necesarias) el lector puede comprobar los ejemplos que se encuentran literal 5.3. haciendo uso del programa. Después de cada ejercicio desarrollado "manualmente" se añade los resultados obtenidos por el programa.

5.3.- RESOLUCION DE EJEMPLOS - COMPARACION DE RESULTADOS.

Para verificar los resultados obtenidos por el programa SIREP, se desarrolla varios ejemplos, tipo didácticos, tanto para la síntesis de funciones de excitación como para la síntesis de funciones de transferencia.

E . 1

Sea la función F(s) :

$$F(s) = \frac{6 s^2 + 15 s + 6}{6 s^2 + 10 s}$$

Dicha función cumple con las propiedades de las funciones reales y positivas. Sus ceros y polos son :

$$F(s) = \frac{(s + 0.5)(s + 2)}{s(s + 1.67)}$$

ceros : -0.5 ; -2
polos : 0.0 ; -1.67

La función tiene polos y ceros en el eje imaginario siendo simples, conjugados y alternados. Cumple con las funciones de la RED RC TIPO 1.

El desarrollo análitico :

DE LA FORMA Z (Impedancia)

$$P_o = s\,F(s)\Big|_{s=0} \qquad = s\,\frac{(s+0.5)(s+2)}{s\,(s+1.67)}\Big|_{s=0}$$

$$P_o = 1/1.67 \qquad \longrightarrow \qquad C = 1/P_o = 1.67$$

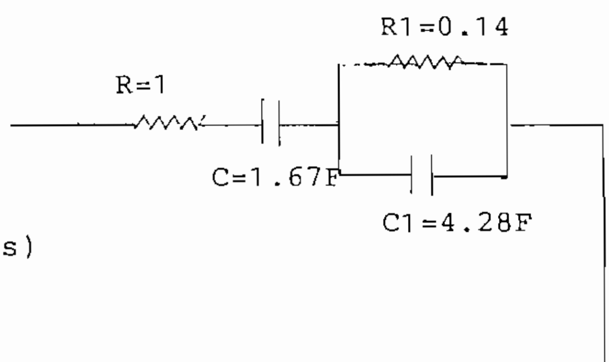
$$K_1 = \frac{(s+1.67)}{1}\;F_{(s)}\Big|_{s=-1.67}$$

$$K_1 = \frac{(-1.17)(0.37)}{-1.67} = 0.231$$

$C_1 = 1/K_1 = 4.286$ F

$R_1 = K_1/\sigma_1 = 0.140$ ohmios

su estructura es la siguiente :



F(s)

DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)

La Y(s) de la función es:

$$Y(s) = \frac{s(s + 1.67)}{(s + 0.5)(s + 2)}$$

$$K_1 = \frac{(s + 0.5)}{s} Y(s) \Big/_{s = -0.5}$$

$$K_1 = 0.777$$

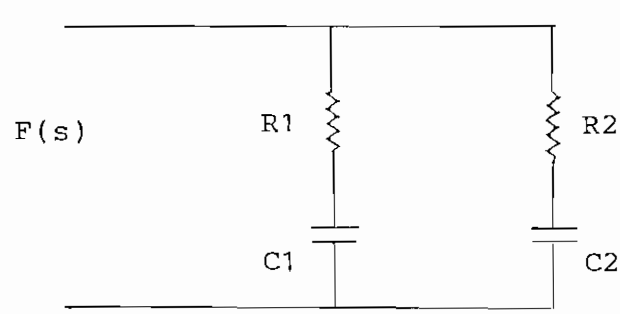
$$K_2 = \frac{(s + 2)}{s} Y(s) \Big/_{s = -2}$$

$$K_2 = 0.222$$

$R_1 = 1/K_1 = 1.286$ ohmios ; $R_2 = 1/K_2 = 4.5$ ohmios

$C_1 = K_1/\sigma_1 = 1.555$ F ; $C_2 = 0.111$ F

La estructura de la función es:



DE LA FORMA SERIE

En la función se ordena los polinomios en forma descendente (de grado mayor a grado menor).

$$\begin{array}{rrr} 6s^2 & +\ 15s & +\ 6 \\ \underline{-6s^2} & \underline{-\ 10s} & \\ & +\ 5s & +\ 6 \end{array} \qquad \begin{array}{|l} \underline{6s^2 + 10s} \\ 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{rr} 6s^2 & +\ 10s \\ \underline{-6s^2} & \underline{-\ 7.2s} \\ & +\ 2.8s \end{array} \qquad \begin{array}{|l} \underline{5s + 6} \\ 1.2s \end{array}$$

$$\begin{array}{rr} 5s & +\ 6 \\ \underline{-5s} & \\ & +\ 6 \end{array} \qquad \begin{array}{|l} \underline{2.8\ s} \\ 1.785 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2.8s \\ \underline{-2.8s} \\ 0.0 \end{array} \qquad \begin{array}{|l} \underline{6} \\ 0.467s \end{array}$$

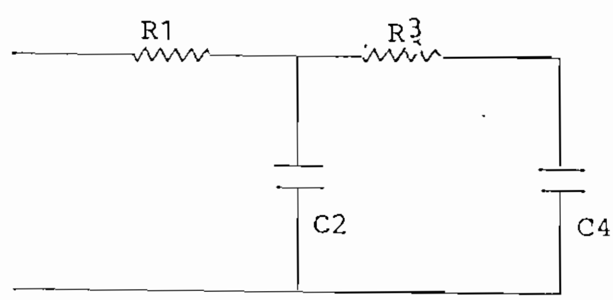
F(s) de la forma en expresiones contínuas es :

$$F_{(s)} = 1 + \cfrac{1}{1.2\,s + \cfrac{1}{1.78 + \cfrac{1}{0.468\,s}}}$$

R_1 = 1 ohmio ; R_3 = 1.786 ohmio

C_2 = 1.20 F ; C_4 = 0.468 F

La estructura de la función es la siguiente :



DE LA FORMA PARALELO

En la función se oredena los polinimios en forma ascendente (de grado menor a grado mayor).

$$\begin{array}{l} 6 + 15s + 6s^2 \\ \underline{-6 - 3.6s \qquad\qquad} \\ \qquad + 11.4s + 6s^2 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{|l} \underline{10s + 6s^2} \\ 0.6/s \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 10s + 6s^2 \\ \underline{-10s - 5.2s^2} \\ \qquad + 0.8s^2 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{|l} \underline{11.4s + 6s^2} \\ 0.877 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 11.4s + 6s^2 \\ \underline{-11.4s \qquad\qquad} \\ \qquad\qquad + 6s^2 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{|l} \underline{0.8s^2} \\ 16.66/s \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 0.8s^2 \\ \underline{-0.8s^2} \\ / \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{|l} \underline{6s^2} \\ 0.123 \end{array}$$

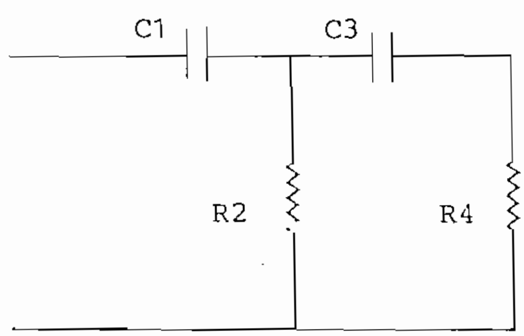
En forma de las expresiones contínuas se tiene :

$$F_{(s)} = 0.6/s + \cfrac{1}{0.877 + \cfrac{1}{16.66/s + \cfrac{1}{0.123}}}$$

C_1 = 1.66 F ; C_3 = 0.065 F

R_2 = 1.14 ohmios ; R_4 = 8.142 ohmios

La estructura de red de la función es :



Si se comprueba éstos valores obtenidos con los datos del programa se observa que son los mismos y por lo tanto la eficiencia del programa es una verdadera.

SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

$$F(s)=\frac{6.00*s^2 + 15.00*s^1 + 6.00*s^0}{6.00*s^2 + 10.00*s^1}$$

$$F(s)=\frac{(s + 0.50)(s + 2.00)}{(s)(s + 1.67)}$$

LOS CEROS SON:

- 0.50
- 2.00

LOS POLOS SON:

- 0.00
- 1.67

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

RED RC DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA) TIPO: 1

R = 1.000 C = 1.667

Capacitancias

C1 = 4.286

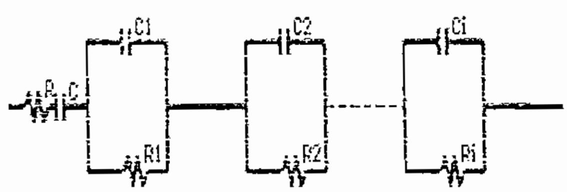
Resistencias

R1 = 0.140

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED RC DE LA FORMA Z

TIPO 1



SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

$$F(s)=\frac{6.00*s^2 + 15.00*s^1 + 6.00*s^0}{6.00*s^2 + 10.00*s^1}$$

$$F(s)=\frac{(s + 0.50)(s + 2.00)}{(s)(s + 1.67)}$$

LOS CEROS SON:
- 0.50
- 2.00

LOS POLOS SON:
- 0.00
- 1.67

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

RED RC DE LA FORMA Y (ADMITNACIA) TIPO: 1

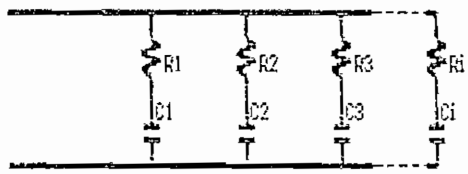
Resistencias
R1 = 1.286
R2 = 4.500

Capacitancias
C1 = 1.556
C2 = 0.111

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED RC DE LA FORMA Y

TIPO 1



SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

$$F(s)=\frac{6.00*s^2 + 15.00*s^1 + 6.00*s^0}{6.00*s^2 + 10.00*s^1}$$

$$F(s)=\frac{(s + 0.50)(s + 2.00)}{(s)(s + 1.67)}$$

LOS CEROS SON:

- 0.50
- 2.00

LOS POLOS SON:

- 0.00
- 1.67

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

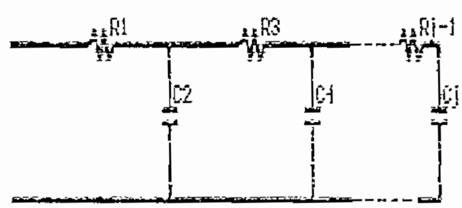
RED RC DE LA FORMA SERIE TIPO: 1

Resistencias:	Capacitancias:
Ri = 1.000	C2 = 1.200
R3 = 1.786	C4 = 0.467

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED RC DE LA FORMA SERIE

TIPO 1



SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

$$F(s)=\frac{6.00*s^2 + 15.00*s^1 + 6.00*s^0}{6.00*s^2 + 10.00*s^1}$$

$$F(s)=\frac{(s + 0.50)(s + 2.00)}{(s)(s + 1.67)}$$

LOS CEROS SON:
*- 0.50
*- 2.00

LOS POLOS SON:
*- 0.00
*- 1.67

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

RED RC DE LA FORMA PARALELO TIPO: 1

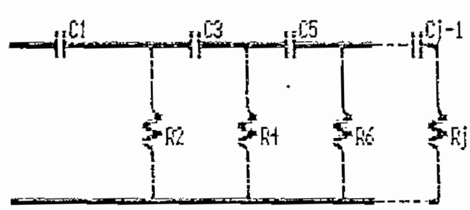
Capacitancias:
C1 = 1.667
C3 = 0.065

Resistencias:
R2 = 1.140
R4 = 8.143

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED RC DE LA FORMA PARALELO

TIPO 1



E . 2

Sea la función F(s) :

$$F(s) = \frac{2 s^6 + 18 s^4 + 46 s^2 + 30}{s^5 + 6 s^3 + 8 s}$$

Dicha función cumple con las propiedades de las funciones reales y positivas. Sus ceros y polos son :

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

ceros : +/- 1.00 j ; +/- 1.73 j ; +/- 2.24 j.
polos : 0.00 ; +/- 1.41 j ; +/- 2.00 j.

La función tiene polos y ceros en el eje imaginario siendo simples, conjugados y alternados; el numerador es par y el denominador es impar. Cumple con las funciones de la RED LC TIPO 1.

El desarrollo análitico para :

DE LA FORMA Z (Impedancia)

$$B = H \frac{W_1^2 \, W_3^2 \; \dots \; W_m^2}{W_2^2 W_4^2 \; \dots \; W_n^2}$$

$$B = 2 \frac{1x3x5}{2x4} = 2$$

$$Po = s\,F(s) \Big/_{s=0} = s \; 2 \frac{(s^2 + 1)(s^2 + 3)(s^2 + 5)}{s\,(s^2 + 2)(s^2 + 4)}$$

$$Po = 15/4 \quad \longrightarrow \quad C = 1/Po = 4/15$$

$$K_1 = \frac{(s^2 + 2)}{s} \; F_{(s)} \Big/_{s^2 = -2}$$

$$K_1 = 2 \frac{(-1)(1)(3)}{-2(2)} = 1.50$$

$$K_2 = \frac{(s^2 + 4)}{s} \; F_{(s)} \Big/_{s^2 = -4}$$

$$K_2 = 2 \frac{(-3)(-1)(1)}{-4(-2)} = 0.75$$

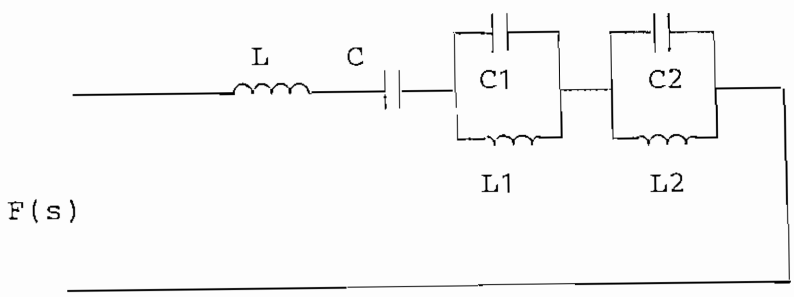
$$C_1 = 1/K_1 = 0.666$$

$$C_2 = 1/K_2 = 1.333$$

$$L_1 = K_1/W_1^2 = 0.750$$

$$L_2 = K_2/W_2^2 = 0.1875$$

su estructura es la siguiente :



DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)

La Y(s) de la función es:

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

$$K_1 = \frac{(s^2+1)}{s} Y(s) \Big/_{s^2=-1}$$

$$K_1 = 0.1875$$

$$K_2 = \frac{(s^2+3)}{s} Y_{(s)} \Big/_{s^2=-3}$$

$$K_2 = 0.125$$

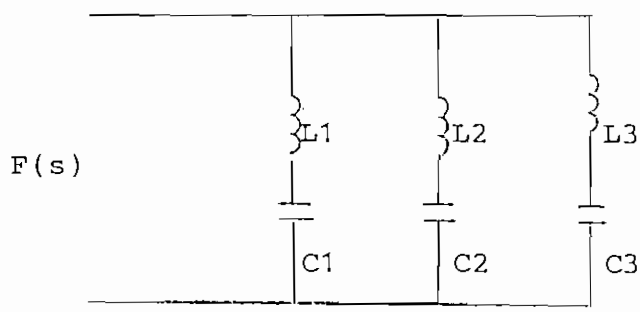
$$K_3 = \left. \frac{(s^2 + 4)\,Y_{(s)}}{s} \right/ s^2 = -5$$

$$K_3 = 0.1875$$

$L_1 = 1/K_1 = 5.333\ H$; $L_2 = 8\ H$; $L_3 = 5.333\ H$

$C_1 = K_1/W_1^2 = 0.1875\ F$; $C_2 = 0.0416\ F$; $C_3 = 0.037\ F$

La estructura de la función es:



DE LA FORMA SERIE

En la función se ordena los polinomios en forma descendente (de grado mayor a grado menor).

$$
\begin{array}{l|l}
2s^6 + 18s^4 + 46s^2 + 30 & s^5 + 6s^3 + 8s \\ \cline{2-2}
-2s^6 - 12s^4 - 16s^2 & 2s^2 \\ \cline{1-1}
 + 6s^4 + 30s^2 + 30 &
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{l|l}
s^5 + 6s^3 + 8s & 6s^4 + 30s^2 + 30 \\ \cline{2-2}
-s^5 - 5s^3 - 5s & 1/6s \\ \cline{1-1}
 + s^3 + 3s &
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{l|l}
6s^4 + 30s^2 + 30 & s^3 + 3s \\ \cline{2-2}
-6s^4 - 18s^2 & 6s \\ \cline{1-1}
 + 12s^2 + 30 &
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{l|l}
s^3 + 3s & 12s^2 + 30 \\ \cline{2-2}
-s^3 - 2.5s & s\,1/12 \\ \cline{1-1}
 + 0.5s &
\end{array}
$$

$$\begin{array}{l|l} 12s^2 \quad + \ 30 & \underline{\ 0.5s\ } \\ \underline{-12s^2} & 24s \\ \qquad + \ 30 & \end{array}$$

$$\begin{array}{l|l} 0.5s & \underline{\ 30\ } \\ \underline{-0.5s} & s/60 \\ 0 & \end{array}$$

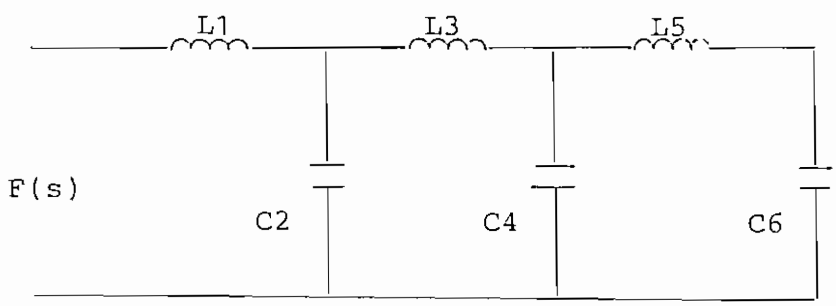
F(s) de la forma en expresiones contínuas es :

$$F_{(s)} = 2\,s + \cfrac{1}{0.166\,s + \cfrac{1}{6\,s + \cfrac{1}{0.08\,s + \cfrac{1}{24\,s + \cfrac{1}{s/60}}}}}$$

$L_1 = 2$ H ; $L_3 = 6$ H ; $L_5 = 24$ H

$C_2 = 0.166$ F ; $C_4 = 0.08$ F ; $C_6 = 1/60$ F

La estructura de la función es la siguiente :



DE LA FORMA PARALELO

En la función se oredena los polinimios en forma ascendente (de grado menor a grado mayor).

$$
\begin{array}{l|l}
30 + 46s^2 + 18s^4 + 2s^6 & 8s + 6s^3 + 5 \\
\hline
\underline{-30 - 22.5s^2 - 3.75s^4} & 3.75/s \\
\quad\quad 23.5s^2 + 14.25s^4 + 2s^6 &
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{rrr|l}
8s & +\ 6s^{3} & +\ 5s & 23.5s^{2} + 14.25s^{4} + 2s^{6} \\
\underline{-8s} & \underline{-\ 4.8s^{3}} & \underline{-\ 0.68s} & 0.34/s \\
 & +1.14s^{3} & +\ 0.32s &
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{rrr|l}
23.5s^{2} & +\ 14.25s^{4} & +\ 2s^{6} & 1.14s^{3} + 0.32s \\
\underline{-23.5s^{2}} & \underline{-\ 6.54s^{4}} & & 20.43/s \\
 & +\ 7.71s^{4} & +\ 2s^{6} &
\end{array}
$$

:

:

:

el proceso continúa (queda para el lector).

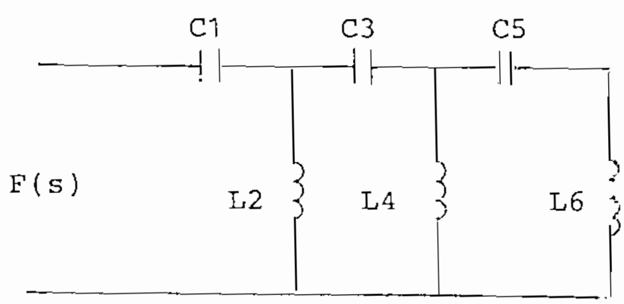
En forma de las expresiones continuas se tiene :

$$
F_{(s)} = 3.75/s + \cfrac{1}{0.34/s + \cfrac{1}{20.43/s + \cfrac{1}{0.148/s + \cfrac{1}{375/s + \cfrac{1}{0.011/s}}}}}
$$

$C_1 = 0.266$ F ; $C_3 = 0.048$ F ; $C_5 = 0.002$ F

$L_2 = 2.941$ H ; $L_4 = 6.756$ H ; $L_6 = 90{,}91$ H

La estructura de red de la función es :



Al comprobar los valores obtenidos con los datos del programa se observa que son los mismos y por lo tanto asevera la eficiencia del mismo.

SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

$$F(s)=\frac{2.00*s^6 + 18.00*s^4 + 46.00*s^2 + 30.00*s^0}{1.00*s^5 + 6.00*s^3 + 8.00*s^1}$$

$$F(s)=\frac{(s^2 + 1.00)(s^2 + 3.00)(s^2 + 5.00)\ 2}{(s)(s^2 + 2.00)(s^2 + 4.00)}$$

LOS CEROS SON:
± 1.00j
± 1.73j
± 2.24j

LOS POLOS SON:
- 0.00
± 1.41j
± 2.00j

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

RED LC DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA) TIPO: 1

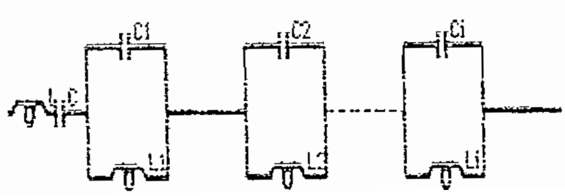
L = 2.000 C = 0.267
Capacitancias
C1 = 0.667
C2 = 1.333

Inductancias
L1 = 0.750
L2 = 0.187

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED LC DE LA FORMA Z

TIPO 1



SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

$$F(s)=\frac{2.00*s^6 + 18.00*s^4 + 46.00*s^2 + 30.00*s^0}{1.00*s^5 + 6.00*s^3 + 8.00*s^1}$$

$$F(s)=\frac{(s^2 + 1.00)(s^2 + 3.00)(s^2 + 5.00)}{(s)(s^2 + 2.00)(s^2 + 4.00)} 2$$

LOS CEROS SON:

± 1.00j
± 1.73j
± 2.24j

LOS POLOS SON:

- 0.00
± 1.41j
± 2.00j

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

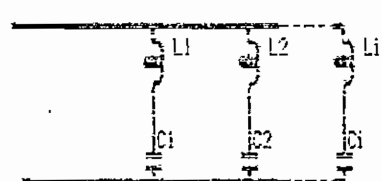
RED LC DE LA FORMA Y (ADMITANCIA) TIPO: 1

Capacitancias
L1 = 5.333
L2 = 8.000
L3 = 5.333
Inductancias
C1 = 0.187
C2 = 0.042
C3 = 0.038

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED LC DE LA FORMA Y

TIPO 1



SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

$$F(s)=\frac{2.00*s^6 + 18.00*s^4 + 46.00*s^2 + 30.00*s^0}{1.00*s^5 + 6.00*s^3 + 8.00*s^1}$$

$$F(s)=\frac{(s^2 + 1.00)(s^2 + 3.00)(s^2 + 5.00)\ 2}{(s)(s^2 + 2.00)(s^2 + 4.00)}$$

LOS CEROS SON:

:± 1.00j
:± 1.73j
:± 2.24j

LOS POLOS SON:

:- 0.00
:± 1.41j
:± 2.00j

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

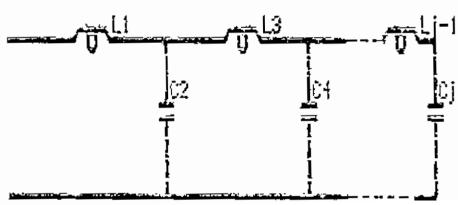
RED LC DE LA FORMA SERIE TIPO: 1

Inductacias:	Capacitancias:
L1 = 2.000	C2 = 0.167
L3 = 6.000	C4 = 0.083
L5 = 24.000	C6 = 0.017

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED LC DE LA FORMA SERIE

TIPO 1



SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

F(s)=2.00*s^6 + 18.00*s^4 + 46.00*s^2 + 30.00*s^0
1.00*s^5 + 6.00*s^3 + 8.00*s^1

$$F(s)=\frac{(s^2+1.00)(s^2+3.00)(s^2+5.00)}{(s)(s^2+2.00)(s^2+4.00)}\ 2$$

LOS CEROS SON:

± 1.00j
± 1.73j
± 2.24j

LOS POLOS SON:

- 0.00
± 1.41j
± 2.00j

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

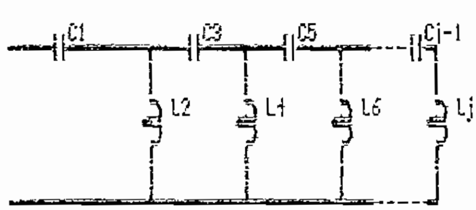
RED LC DE LA FORMA PARALELO TIPO: 1

Capacitancias:	Inductancias:
C1 = 0.267	L2 = 2.938
C3 = 0.049	L4 = 6.721
C5 = 0.003	L6 = 92.667

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED LC DE LA FORMA PARALELO

TIPO 1



E . 3

Sea la función F(s) :

$$F(s) = \frac{6\,s^2 + 10\,s}{6\,s^2 + 15\,s + 6}$$

Dicha función cumple con las propiedades de las funciones reales y positivas. Sus ceros y polos son :

$$F(s) = \frac{(s + 1.67)\,s}{(s + 0.50)\,(s + 2)}$$

ceros : +/- 0 ; - 1.67

polos : - 0.5 ; - 2.00

La función tiene polos y ceros en el eje imaginario siendo simples, conjugados y alternados. Cumple con las funciones de la RED RL TIPO 2.

El desarrollo analítico para :

DE LA FORMA Z (Impedancia)

$$K_1 = \frac{(s + 0.5)}{s} F_{(s)} \Big/_{s = -0.5}$$

$$K_1 = \frac{(1.17)}{(1.5)} = 0.778$$

$$K_2 = \frac{(s + 2)}{s} F_{(s)} \Big/_{s = -2}$$

$$K_2 = \frac{(-0.33)}{(-1.5)} = 0.222$$

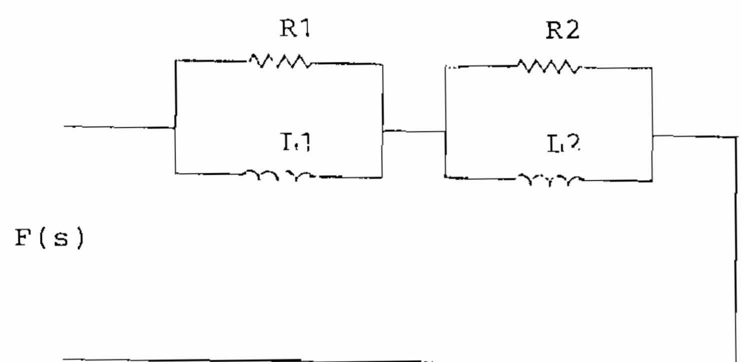
$R_1 = K_1 = 0.778$

$R_2 = K_2 = 0.222$

$L_1 = K_1/\sigma_1 = 1.556$

$L_2 = K_2/\sigma_2 = 0.111$

La estructura de red es :



DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)

La Y(s) de la función es:

$$Y(s) = \frac{(s + 0.5)(s + 2)}{s(s + 1.67)}$$

$$K_1 = \frac{(s + 1.67)}{1} Y(s) \Big/_{s = -1.67}$$

$K_1 = 1/4.28$

$L_1 = 1/K_1 = 4.28$

$R_1 = \sigma_1/K_1 = 7.143$ ohmios

DE LA FORMA SERIE

En la función se ordena los polinomios en forma descendente (de grado mayor a grado menor).

$$\begin{array}{rrr|l} 6s^2 & + 15s & + 6 & 6s^2 + 10s \\ \cline{4-4} -6s^2 & - 10s & & s \\ \hline & + 5s & + 6 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} 6s^2 + 10s & \underline{|\ 5s + 6\ } \\ -6s^2 - 6.12s & s6/5 \\ \hline + 3.88s & \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} 5s + 6 & \underline{|\ 3.88s\ } \\ -5s & 0.56 \\ \hline + 6 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} 3.88s & \underline{|\ 6\ } \\ -3.88s & 0.467 \\ \hline 0.0 & \end{array}$$

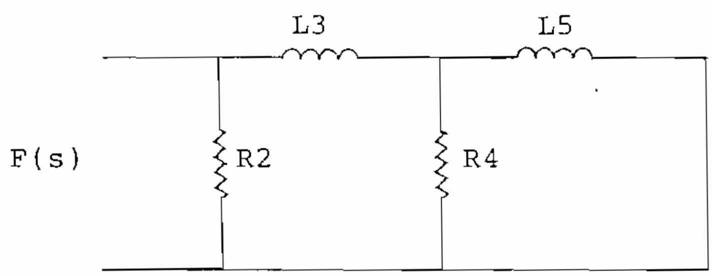
F(s) de la forma en expresiones contínuas es :

$$F_{(s)} = 0 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1.2\ s + \cfrac{1}{0.56 + \cfrac{1}{0.467s}}}}$$

$L_3 = 1.2$ H ; $L_5 = 0.467$ H

$R_2 = 1$ ohmio ; $R_4 = 0.56$ ohmio

Para esta forma la estructura es :



DE LA FORMA PARALELO

En la función se oredena los polinimios en forma ascendente (de grado menor a grado mayor).

$$\begin{array}{l|l} 6 + 15s + 6s^2 & 10s + 6s^2 \\ \hline -6 - 3.6s & (1/1.667)/s \\ \hline \quad 11.4s + 6s^2 & \end{array}$$

$$\begin{array}{l|l} 10s + 6s^2 & 11.4s + 6s^2 \\ \hline -10s - 5.2s^2 & 0.877 \\ \hline \quad + 0.8s^2 & \end{array}$$

$$\begin{array}{l|l} 11.4s + 6s^2 & 0.8s^2 \\ \hline -11.4s & 15.38/s \\ \hline \quad + 6s^2 & \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 0.8s^2 \\ \underline{-0.8s^2} \\ 0.0 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{|l} 6s^2 \\ \hline 0.123 \end{array}$$

En forma de las expresiones contínuas se tiene :

$$F_{(s)} = 0 + \cfrac{1}{0.599/s + \cfrac{1}{0.877 + \cfrac{1}{15.38/s + \cfrac{1}{0.123}}}}$$

R_3 = 0.877 ohmios ; R_5 = 0.123 ohmios

L_2 = 1.667 H ; L_4 = 0.065 H

Al comprobar los valores obtenidos con los datos del programa se observa que son los mismos y por lo tanto asevera la eficiencia del mismo.

SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

$$F(s)=\frac{6.00*s^2 + 10.00*s^1}{6.00*s^2 + 15.00*s^1 + 6.00*s^0}$$

$$F(s)=\frac{(s)(s + 1.67)}{(s + 0.50)(s + 2.00)}$$

LOS CEROS SON:

*- -0.00
*- 1.67

LOS POLOS SON:

*- 0.50
*- 2.00

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

RED RL DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA) TIPO: 2

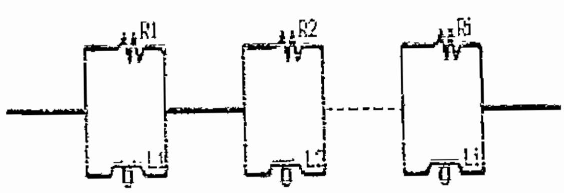
Resistencias
R1 = 0.778
R2 = 0.222

Inductancias
L1 = 1.556
L2 = 0.111

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED RL DE LA FORMA Z

TIPO 2



SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

F(s)=6.00*s^2 + 10.00*s^1
6.00*s^2 + 15.00*s^1 + 6.00*s^0

F(s)=(s)(s + 1.67)
(s + 0.50)(s + 2.00)

LOS CEROS SON:
*- -0.00
*- 1.67

LOS POLOS SON:
*- 0.50
*- 2.00

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

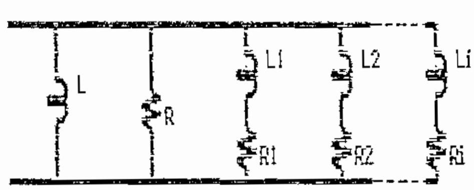
RED RL DE LA FORMA Y (ADMITNACIA) TIPO: 2

R = 1.000 L = 0.600
Resistencias
Li = 4.286
Inductancias
R1 = 7.143

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED RL DE LA FORMA Y

TIPO 2



SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

F(s)=6.00*s^2 + 10.00*s^1
6.00*s^2 + 15.00*s^1 + 6.00*s^0

F(s)=(s)(s + 1.67)
(s + 0.50)(s + 2.00)

LOS CEROS SON:
:- -0.00
:- 1.67

LOS POLOS SON:
:- 0.50
:- 2.00

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

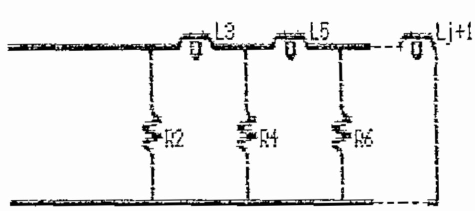
RED RL DE LA FORMA SERIE TIPO: 2

Inductancias:	Resistencias:
R2 = 1.000	L3 = 1.200
R4 = 0.560	L5 = 0.467

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED RL DE LA FORMA SERIE

TIPO 2



SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE EXCITACION

F(s)=6.00*s^2 + 10.00*s^1
6.00*s^2 + 15.00*s^1 + 6.00*s^0

F(s)=(s)(s + 1.67)
(s + 0.50)(s + 2.00)

LOS CEROS SON:
1- -0.00
1- 1.67

LOS POLOS SON:
1- 0.50
1- 2.00

UNIDADES: inductancias:[L]; reistencias:[Ω]; capacitores:[F]

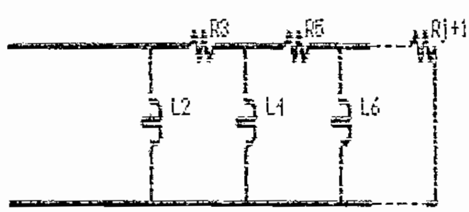
RED RL DE LA FORMA PARALELO TIPO: 2

Resistencias:		Inductancias:
	L2 = 1.667	R3 = 0.877
	L4 = 0.065	R5 = 0.123

SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

RED RL DE LA FORMA PARALELO

TIPO 2



T . 1

Sea la función T(s) :

$$T(s) = \frac{s^4 + 5s^2 + 4}{39s^5 + 11s^4 + 65s^3 + 17s^2 + 20s + 4}$$

Dicha función cumple con las propiedades de las funciones y matrices reales positivas. Sus ceros de transmisión son :

$$-Y_{21}(s) = \frac{(s^2 + 1)(s^2 + 4)}{39s^5 + 65s^3 + 20s}$$

$$Y_{22}(s) = \frac{11s^4 + 17s^2 + 4}{39s^5 + 65s^3 + 20s}$$

ceros de transmisión : +/- 1.00 j ; +/- 2j

La función tiene polos y ceros en el eje imaginario siendo simples, conjugados y alternados; el numerador es par y el denominador es impar. Cumple con las funciones de la RED LC .

El desarrollo análitico es :

PARA LA RAIZ $s = -/+ j$

PASO 1:

$Z_1 = 1/Y_{22}$

$$Z_1(j) = \frac{39(j)^5 + 65(j)^3 + 20(j)}{11(j)^4 + 17(j)^2 + 4} = 3j$$

$Z_1 > 0 \quad \text{--->} \quad L_{b(1)} = 3/1 = 3\ H$

PASO 2 :

$Z_k^* = Z_k - Z_{b(k)}$

$$Z_1^* = Z_1 - Z_{b(1)} = \frac{39s^5 + 65s^3 + 20s}{11s^4 + 17s^2 + 4} - 3s$$

$$Z_1^* = \frac{6s^5 + 14s^3 + 8s}{11s^4 + 17s^2 + 4}$$

$Y_1^* = 1/Z_1^*$

$$M_1 = \lim_{s \to j} \left(\frac{s^2 + 1}{s} \quad \frac{11s^4 + 17s^2 + 4}{(s^2 + 1)(6s^2 + 8s)} \right)$$

$M_1 = 1$

$L_{a(1)} = 1/M_1 = 1\ H$ $\qquad C_{a(1)} = M_1/W_1^2 = 1F$

PASO 3 :

$$Y_{a(1)} = \frac{M_1 \ s}{s^2 + W_1^2} = \frac{s}{s^2 + 1}$$

$$Y_2 = Y_1'' - Ya_{(1)} = \frac{11s^4 + 17s^2 + 4}{6s^5 + 14s^3 + 8s} - \frac{s}{s^2 + 1}$$

$$Y_2 = \frac{5s^2 + 4}{6s^3 + 8s}$$

$$Z_2 = 1/Y_2$$

PARA LA RAIZ $s = +/- 2j$

PASO 1:

$$Z_2\ (2j) = \frac{6(2j)^3 + 8(2j)}{5(2j)^2 + 4} = 2j$$

$Z_1 > 0 \quad \longrightarrow \quad Lb_{(2)} = 2/2 = 1$ H

PASO 2 :

$$Z_2'' = Z_2 - Zb_{(2)} = \frac{6s^3 + 8s}{5s^2 + 4} - 1s$$

$$Z_2'' = \frac{s^3 + 4s}{5s^2 + 4}$$

$$Y_1'' = 1/Z_1''$$

$$M_2 = \lim_{s \to 2j} \left(\frac{s^2 + 4}{s} \quad \frac{5s^2 + 4}{s\ (s^2 + 4)} \right)$$

$$M_2 = 4$$

$La(2) = 1/M_2 = 1/4\ H$ $\quad\quad Ca(2) = M_2/W_2^2 = 1F$

PASO 3 :

$$Ya(2) = \frac{M_2\ s}{s^2 + W_2^2} = \frac{4\ s}{s^2 + 4}$$

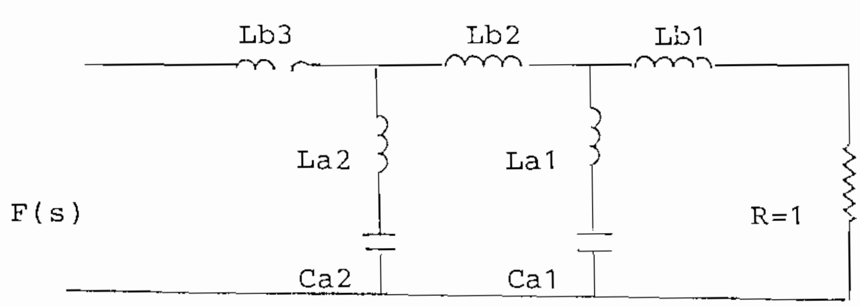
$$Y_3 = Y_2^* - Ya(2) = \frac{5s^2 + 4}{s^3 + 4s} - \frac{4s}{s^2 + 4}$$

$$Y_3 = \frac{1}{s}$$

$$Z_3 = 1/Y_3 = s$$

$$Lb(3) = |\ Z_3\ | = 1\ F$$

Su estructura es la siguiente :



Estos resultados son iguales a los obtenidos por el programa SIREP para funciones de transferencia.

SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE TRANSFERENCIA

```
F(s)=1,00*s^4 + 5,00*s^2 + 4.00*s^0
     ----------------------------------------------------------------
     39.00*s^5 + 11.00*s^4 + 65.00*s^3 + 17.00*s^2 + 20.00*s^1 + 4.00*s^0

Z11(s)=(s² + 1,00)(s² + 4,00)
     ----------------------------------
     39.00*s^5 + 65.00*s^3 + 20.00*s^1   Z22(s)=11.00*s^4 + 17.00*s^2 + 4.00*s^0
                                                39.00*s^5 + 65.00*s^3 + 20.00*s^1
```

LOS CEROS DE TRANSMISION SON:

± 1,00j
± 2,00j

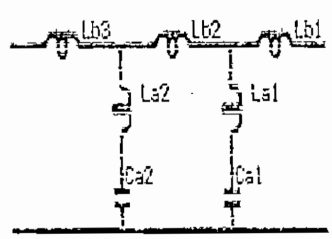
UNIDADES: inductancias:[H]; resistencias:[Ω]; capacitores:[F]. LA1 = 1.000000 LA2 = 0.2500

CA1 = 1.000000 CA2 = 1.000000
Lb1 = 3.000000 Lb2 = 0.999999
Lb3 = 1.000000

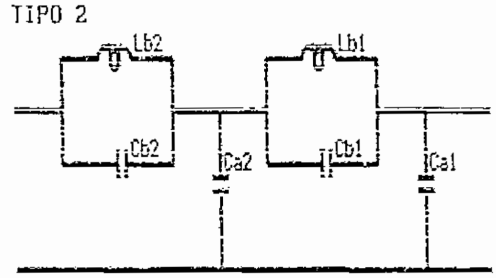
SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

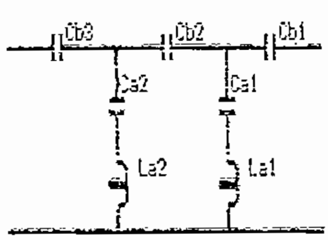
REDES DE TRANSFERENCIA DEL TIPO LC

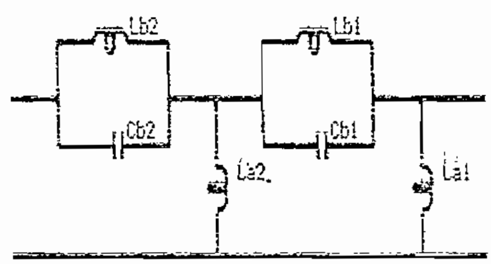
TIPO 1



TIPO 2







SINTESIS INTEGRADA DE REDES PASIVAS

REPORTE FUNCION DE TRANSFERENCIA

$$F(s)=\frac{1.00*s^4 + 11.70*s^2 + 28.60*s^0}{1.15*s^5 + 1.00*s^4 + 2.38*s^3 + 1.43*s^2 + 1.11*s^1 + 0.29*s^0}$$

$$Z11(s)=\frac{(s^2 + 3.48)(s^2 + 8.22)}{1.15*s^5 + 2.38*s^3 + 1.11*s^1} \qquad Z22(s)=\frac{1.00*s^4 + 1.43*s^2 + 0.29*s^0}{1.15*s^5 + 2.38*s^3 + 1.11*s^1}$$

LOS CEROS DE TRANSMISION SON:

$\pm$ 1.87j

$\pm$ 2.87j

UNIDADES: inductancias:[H]; resistencias:[Ω]; capacitores:[F]. LA1 = 0.277935 LA2 = 0.100(

CA1 = 1.034248 CA2 = 1.215344

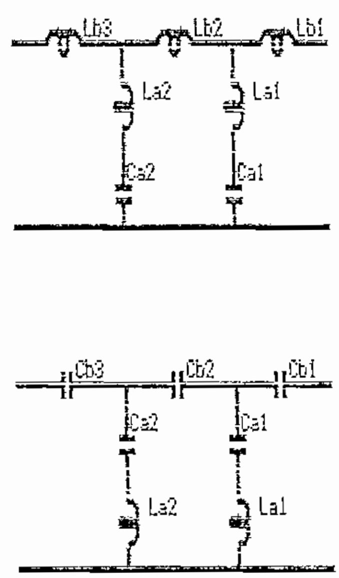
Lb1 = 0.909733 Lb2 = 1.680213

Lb3 = 0.010140

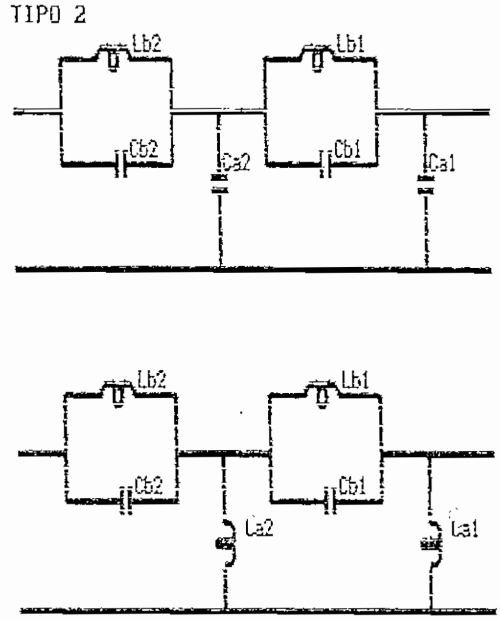
SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS

REDES DE TRANSFERENCIA DEL TIPO LC

TIPO 1



TIPO 2



5.4.- RESTRICCIONES.

En el programa se tiene el menú principal, el mismo que tiene cuatro opciones, dos de ellas son para realizar la síntesis de las funciones propuestas y una tercera para mirar en pantalla e imprimir los gráficos de las redes (estructuras). Mientras que los resultados matemáticos se los imprime después de la opción "resolver la función", aquí nos indica que estructura (RC, RL o LC) y el tipo. Por lo tanto, se puede imprimir los resultados y los gráficos indistintamente.

Las unidades de los elementos pasivos que conforman una cierta estructura son en faradios para los capacitores, en henrios para las inductancias y ohmios para las resistencias.

En el caso de que el computador sea un Note Book se procederá a ejecutar los programas por separado (EXCSIREP Y TRASIREP) debido al adaptador gráfico que ellos poseen.

Si la síntesis para funciones de transferencia no es realizable para un parámetro dado de Y_{22} (o Z_{22}) se establece de otra forma diferente de Y_{22} (o Z_{22}); si en esta nueva forma no es realizable el programa despliega el mensaje que no es realizable. (El numerador de Y_{22} (o Z_{22}) se crea de la resta de 0.5, 1.0 del denominador de Y_{21} (o Z_{21}) para redes RL y RC).

CAPITULO VI

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo y una vez que se ha cumplido con el objetivo planteado, se obtiene los siguientes comentarios :

Los procedimientos de análisis matemáticos para las síntesis de las funcicnes de excitación (capítulo III) y de las funciones de transferencia (capítulo IV) son fáciles de comprender, puesto que cada método desarrollado presenta su forma matemática sin mucha complicación.

La síntesis de funciones de excitación, para redes con elementos pasivos, se desarrolla en cuatro métodos, los cuales dos ellos son de Foster y los dos restantes de Cauer. Cabe indicar que, el desarrollo matemático para este tipo de síntesis (con funciones de excitación) por los métodos estudiados no son los únicos, teniendo por lo tanto otros métodos como los de : Mitaya, Darlingtón, Bott Dufin, etc. En cambio, para la síntesis de funciones de transferencia se tiene métodos como los de : Butterworth, Chebyshev, etc.

La síntesis de funciones de transferencia es sustentada en base a los ceros de transmisión de cada función de red establecida. Se tiene por lo tanto un ánalisis específico para cada una de las redes básicas, las mismas que se desglosan en ramas principales y ramas auxiliares (ver apéndice B). La estructura de red será totalmente completa cuando el análisis sea para todos los ceros de transmisión.

El programa Sirep, está desarrollado en lenguaje de programación "C plus plus" (C++) de tal forma que tiene las características didácticas, de tipo estructurado, objeto de este trabajo. La aplicación, e implementación, de éste programa se orienta al á-rea de Circuitos eléctricos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y a los estudiantes; constituyéndose así, en una herramientas de estudio.

Los ejemplos planteados en el capítulo V, literal 5.3., son de fácil resolución; éstos a la vez son comparados con los resultados obtenidos por el programa Sirep. Se presenta problemas de tipo didáctico, muy simples, con los cuales se verifica los resultados en forma manual y los del programa, por ende la eficiencia del programa.

Se puede ejecutar el programa en forma conjunta (SIREP. EXE) o en forma individual (para funciones de excitación EXCSIREP.EXE y para funciones de transferencia TRASIREP.EXE). Ninguna de estas formas crea problemas o dificultades en la resolución de ejemplos, pero sí para la impresión de los gráficos de red.

Los resultados y los gráficos de las redes, para cada tipo de síntesis, se puede imprimir siguiendo las debidas indicaciones; se comparará entonces con los circuitos eléctricos resultantes que se observan en los apéndices A y B.

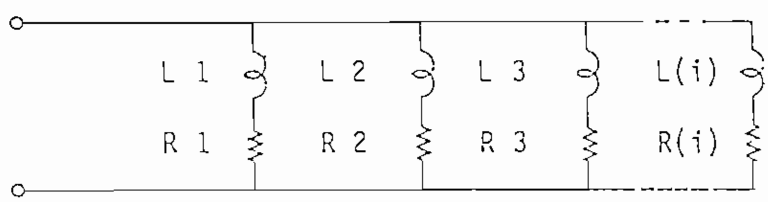
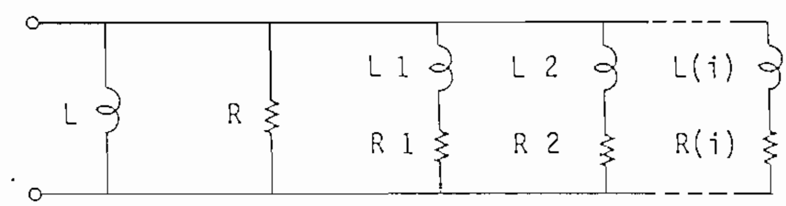
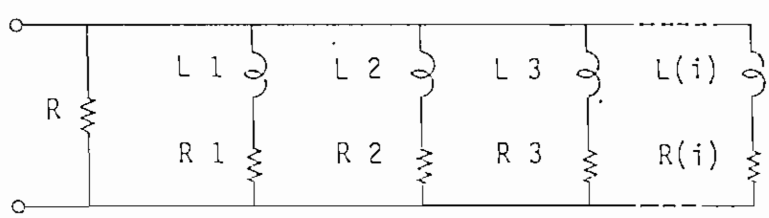
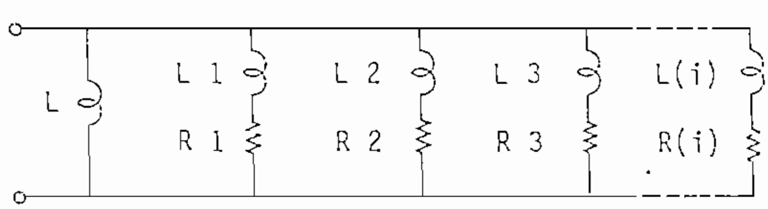
Siendo el campo de la síntesis de redes muy amplio, se recomienda continuar con los desarrollos de síntesis de funciones de excitación del "tipo mixto" con elementos pasivos, el desarrollo para elementos activos, etc.

A P E N D I C E   A

A.1.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)

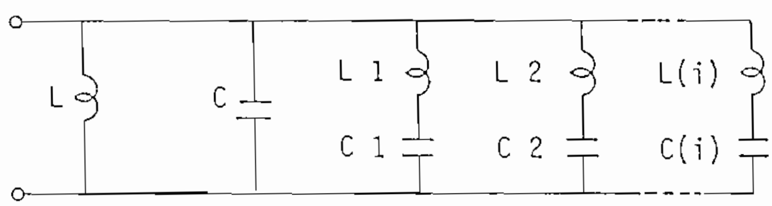
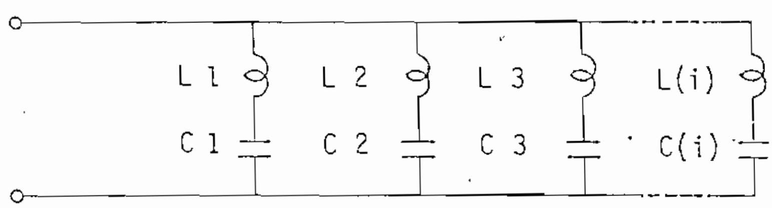
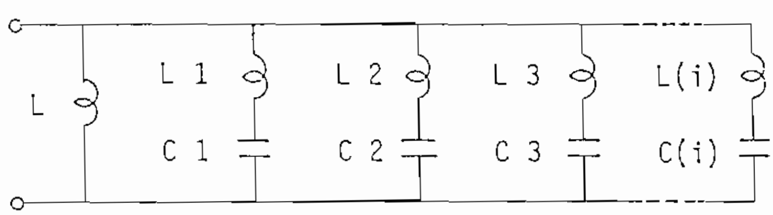
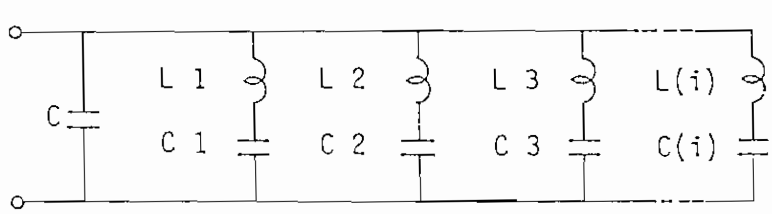
RED : R-L

TIPO	
1	
2	
3	
4	

A.3.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)

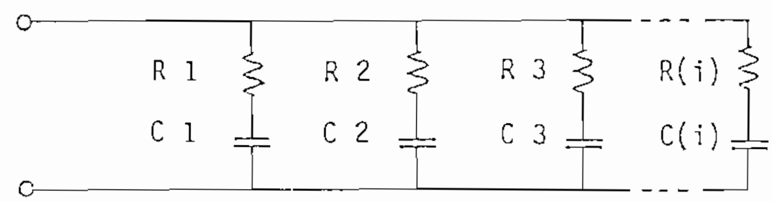
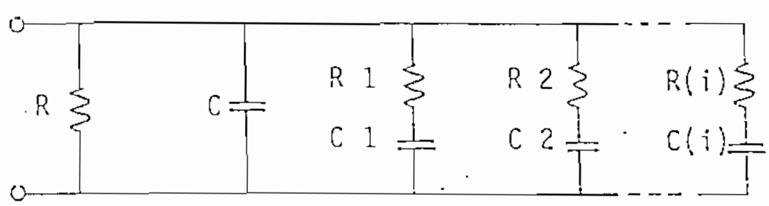
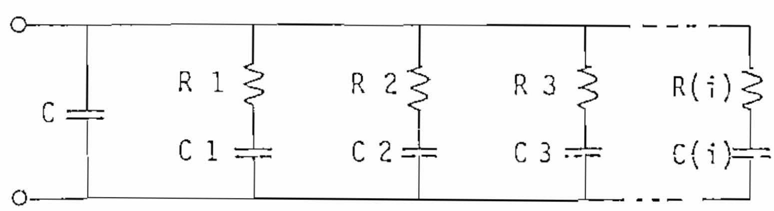
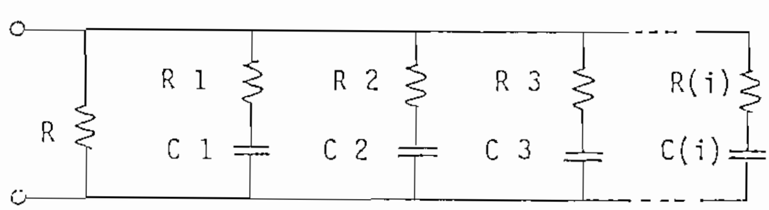
RED : L-C

TIPO	
2	
1	
3	
4	

A.2.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)

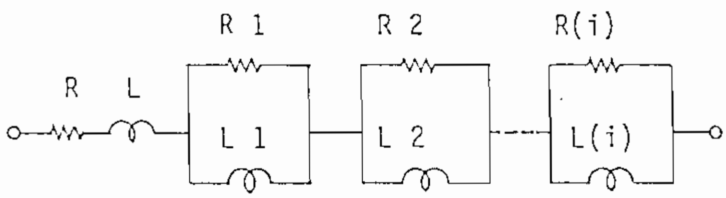
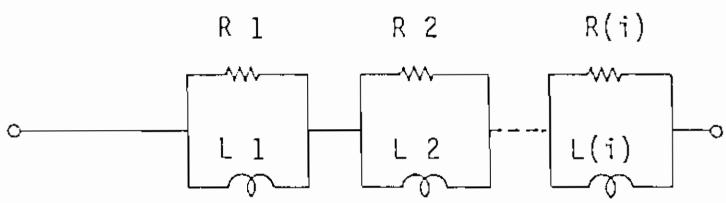
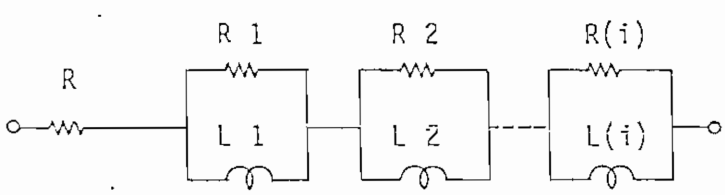
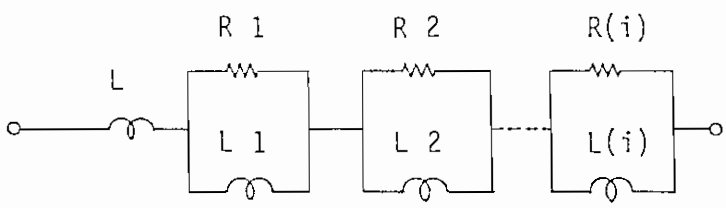
RED : R-C

TIPO	
1	
2	
3	
4	

A.4.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)

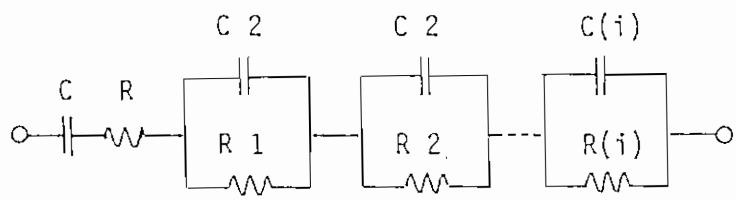
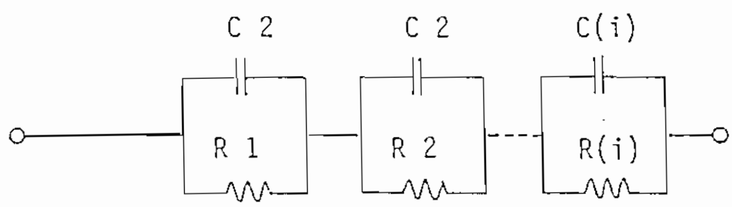
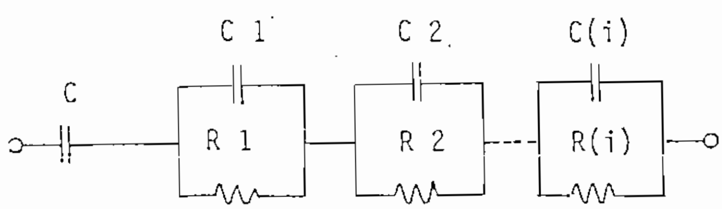
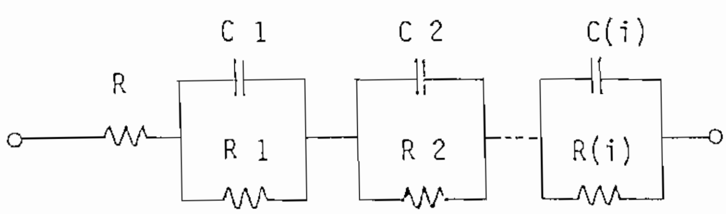
RED : R-L

TIPO	
1	
2	
3	
4	

A.5.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)

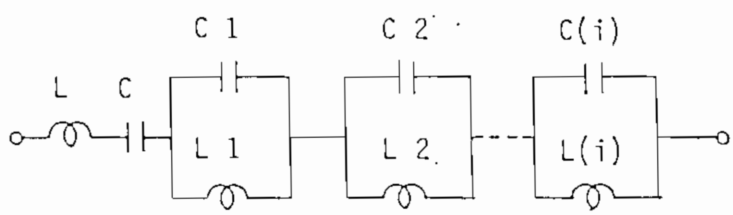
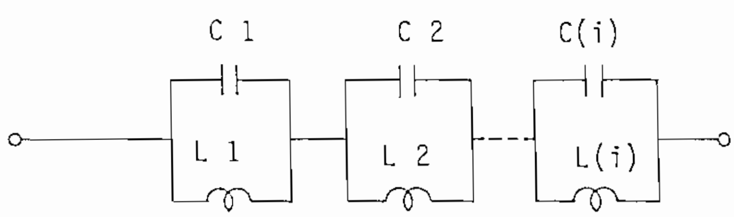
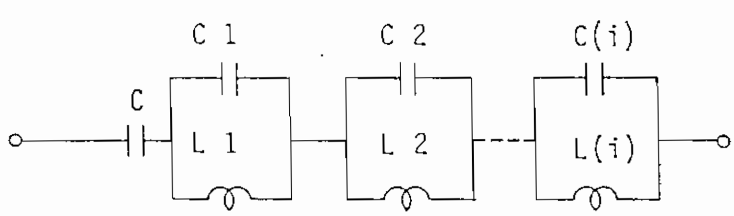
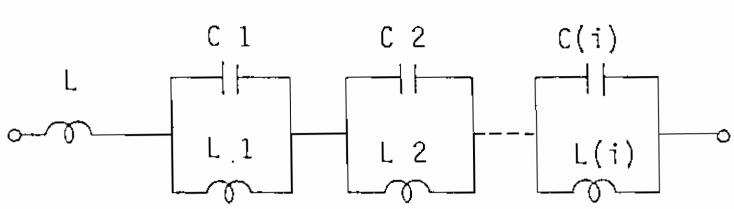
RED : R-C

TIPO	
1	
2	
3	
4	

A.6.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)

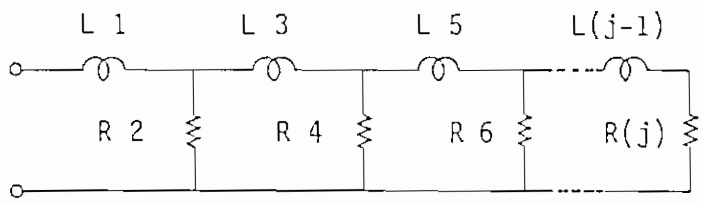
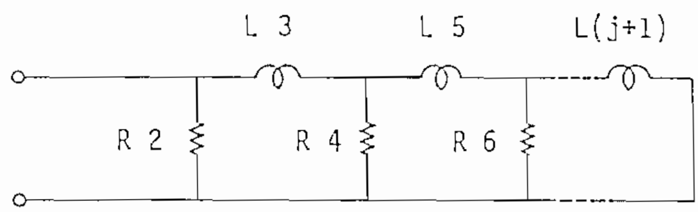
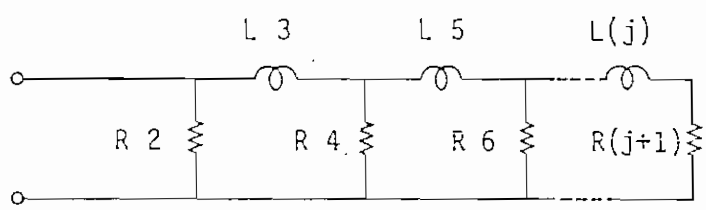
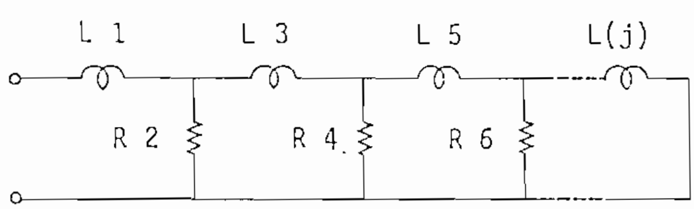
RED : L-C

TIPO	
1	
2	
3	
4	

A.7.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA SERIE

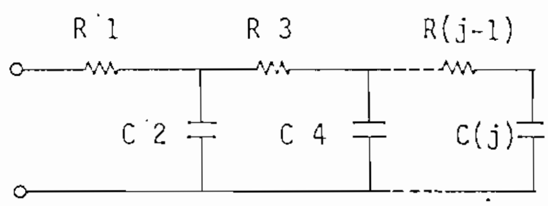
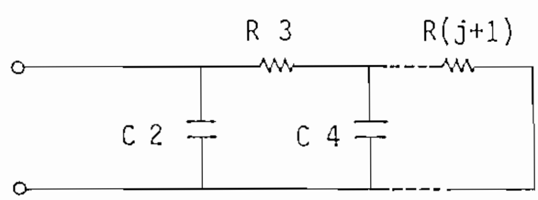
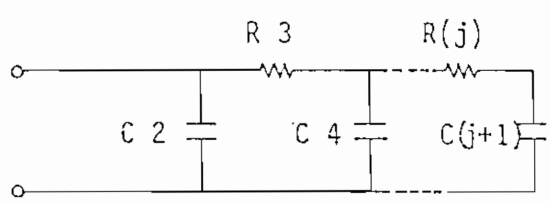
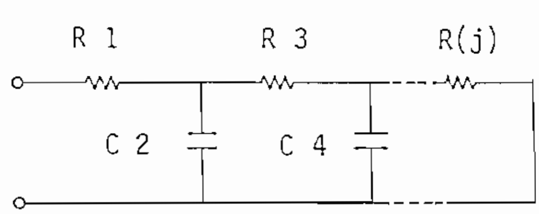
RED : R-L

TIPO	
1	
2	
3	
4	

A.8.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA SERIE

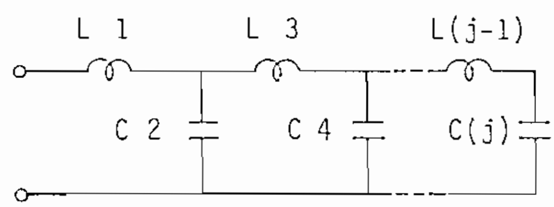
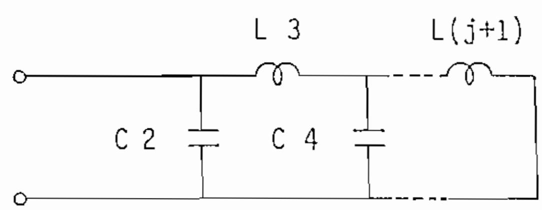
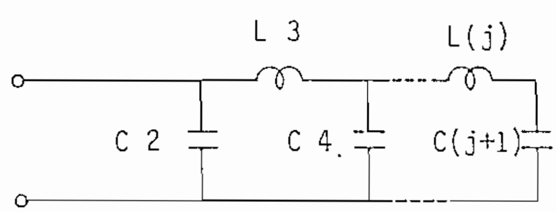
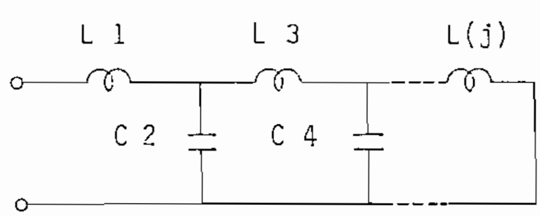
RED : R-C

TIPO	
1	
2	
3	
4	

A.9.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA SERIE

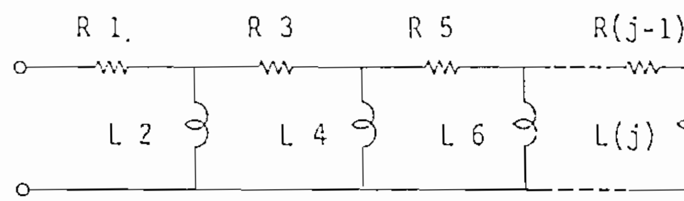
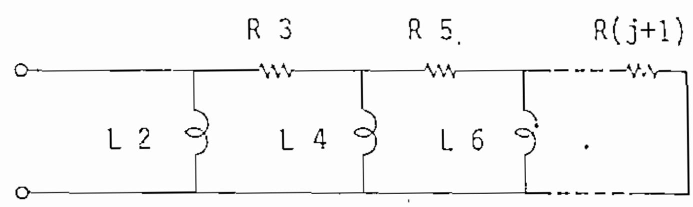
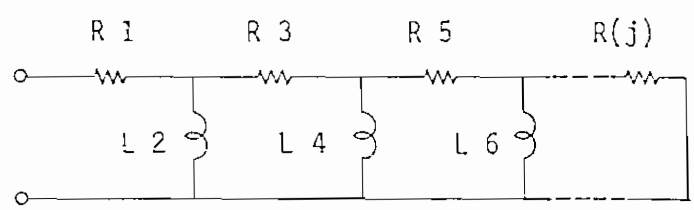
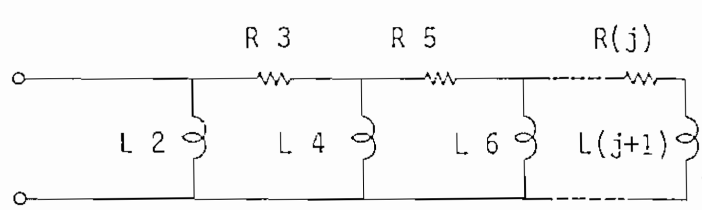
RED : L-C

TIPO	
1	
2	
3	
4	

A.10.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA PARALELO

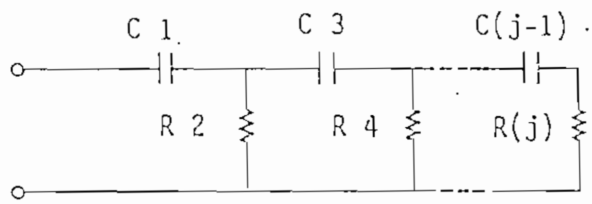
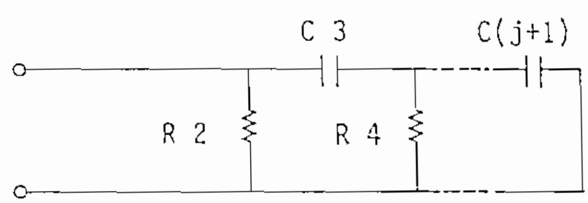
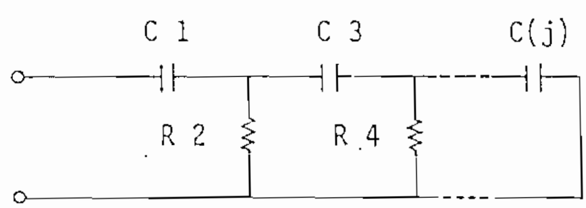
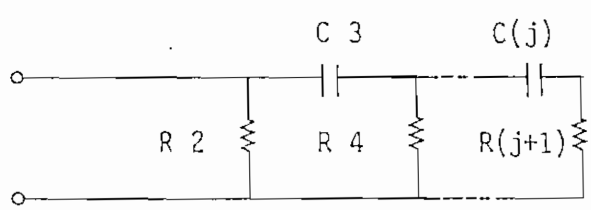
RED : R-L

TIPO	
1	
2	
3	
4	

A.11.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA PARALELO

RED : R-C

<table>
<tr><th>TIPO</th><th></th></tr>
<tr><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td></td></tr>
</table>

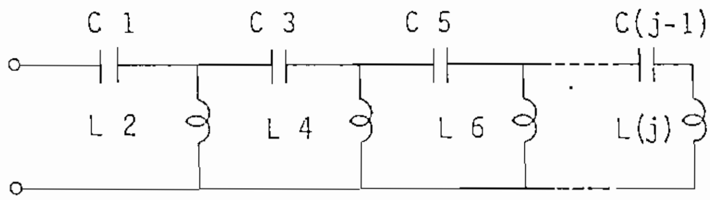
A.12.

SINTESIS DE FUNCIONES DE EXCITACION DE LA FORMA PARALELO

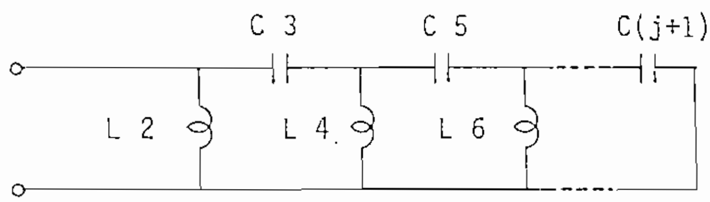
RED : L-C

TIPO

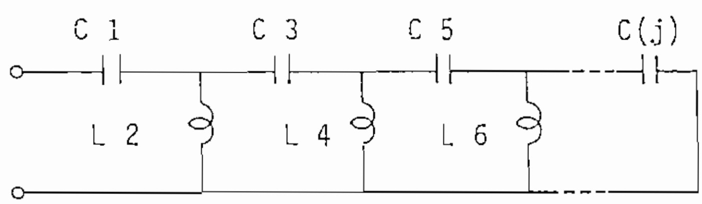
1



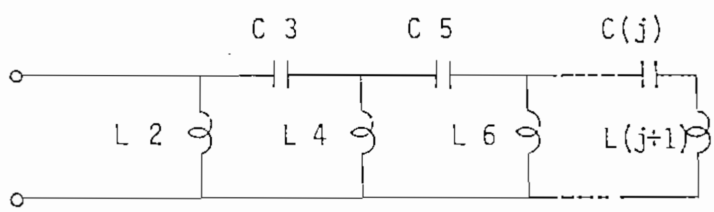
2



3



4



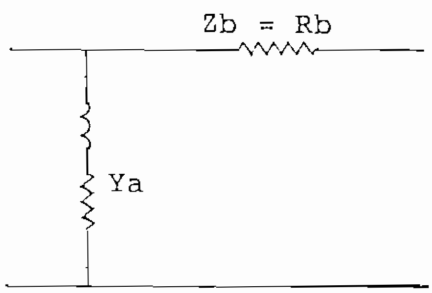
A P E N D I C E B

B.1.

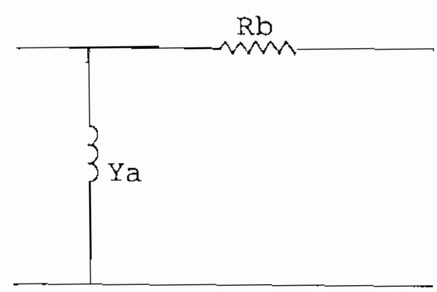
SINTESIS DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

R E D : R - L

TIPO 1

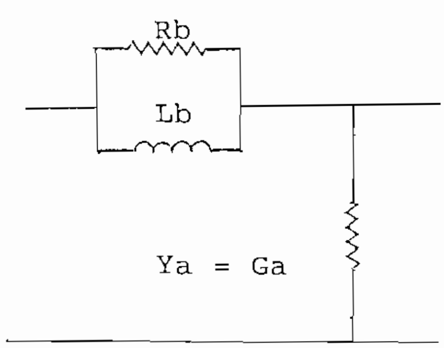


Para $s = -\sigma$

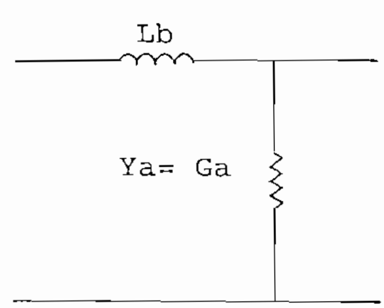


Para $s = 0$

TIPO 2



Para $s = -\sigma$



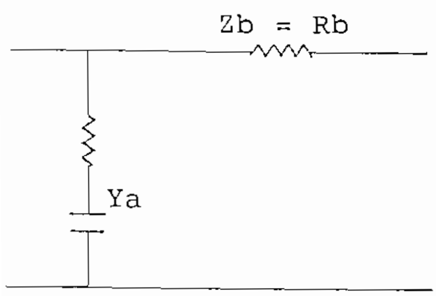
Para $s = \infty$

B.2.

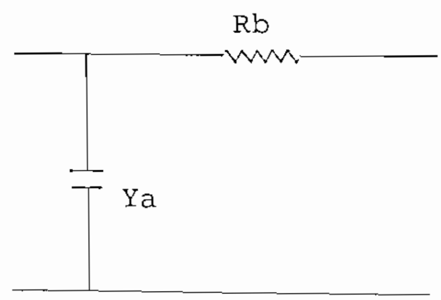
SINTESIS DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

RED : R - C

TIPO 1

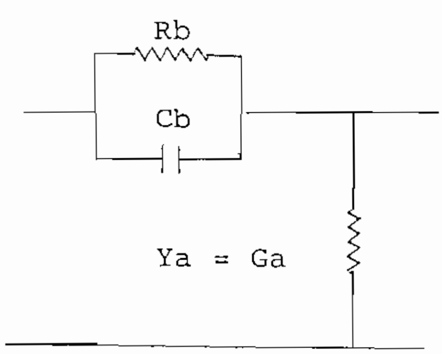


Para $s = -\sigma$

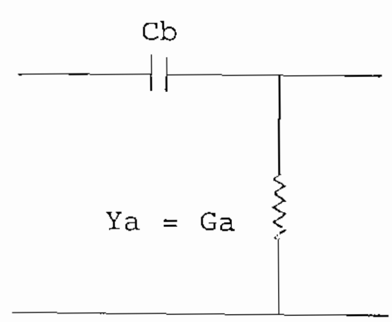


Para $s = \infty$

TIPO 2



Para $s = -\sigma$



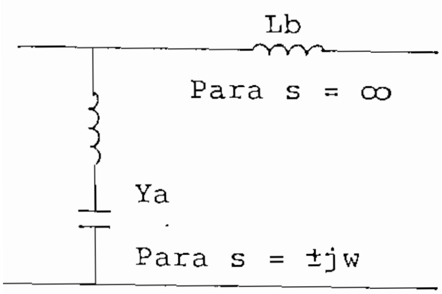
Para $s = 0$

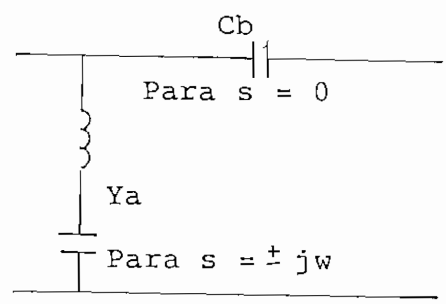
B.3.

SINTESIS DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

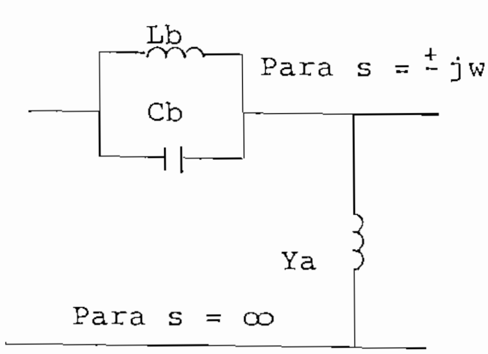
R E D : L - C

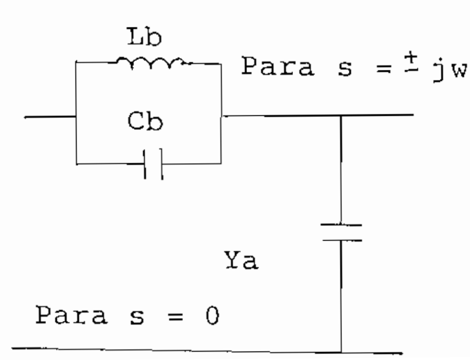
TIPO 1





TIPO 2





A P E N D I C E C

```
                                    /*_______________________________________
   Escuela Politécnica Nacional-Facultad de Ingenieria Eléctrica.

SIREP.CPP
   Programa que sintetiza las funciones de excitación.

   Este programa presenta el menú principal. Para elegir el tipo
de función que se resolverá.
       1. Funciones de excitación.
       2. Funciones de transferencia.
       3. Gráficos de red.
       4. Salir.
   Al seleccionar una de las tres opciones se ejecutan los corres_
pondientes subprogramas.
_____________________________________________________________*/

#include <graphics.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

int main(void)
{

   int gdriver = DETECT, gmode, errorcode;
   int x, y,opcion;
   short menu();
   initgraph(&gdriver, &gmode, "\\bgi");
   errorcode = graphresult();
   if (errorcode != grOk)  /* an error occurred */
   {
      printf("Graphics error: %s\n", grapherrormsg(errorcode));
      printf("Press una tecla para continuar:");
      getch();
      exit(1); /* terminate with an error code */
   }
   setfillstyle(SLASH_FILL,getmaxcolor());
   bar(0,0,getmaxx(),getmaxy());
   setfillstyle(BKSLASH_FILL,getmaxcolor());
   bar(50,40,getmaxx()-50,getmaxy()-40);
   setfillstyle(SOLID_FILL,getmaxcolor());
   bar(100,80,getmaxx()-100,getmaxy()-80);
   setcolor(0);
   rectangle(102,83,getmaxx()-102,getmaxy()-83);
```

```
                                        rectangle(104,83,getmaxx()-104,getmaxy()-83);
settextstyle(1,0,3);
y=84;
outtextxy(188,y,"ESCUELA POLITECHICA NACIONAL");
y+=textheight("W")+5;
settextstyle(1,0,1);
outtextxy(138,y,"SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS");
y+=textheight("W");
settextstyle(1,0,2);
outtextxy(316,y,"S.I.R.E.P.");
y+=textheight("W")+15;
settextstyle(3,0,1);
outtextxy(350,y,"Por");
y+=textheight("W")+15;
settextstyle(1,0,1);
outtextxy(226,y,"LUIS ROSENDO BONILLA GUEVARA");
y+=textheight("W")+10;
settextstyle(2,0,4);
outtextxy(330,y,"QUITO-1993");
sleep(3);
while(1)
{
   opcion=menu();
   switch (opcion)
   {
       case 1:closegraph();
           system("excsirep.exe");
           initgraph(&gdriver, &gmode, "\\bgi");
           break;
       case 2:closegraph();
           system("trasirep.exe");
           initgraph(&gdriver, &gmode, "\\bgi");
           break;
       case 3:closegraph();
           system("graficos.exe");
           initgraph(&gdriver, &gmode, "\\bgi");
           break;
       case 4:
               closegraph();
             window (1,1,80,25);
               clrscr();
               printf("S.I.R.E.P.            E.P.N. Marzo,2 de 1993.");
               exit(1);
   }
}
```

```
   return 0;
}
/*funcion menu
realiza el movimiento del cursor y nos da el numero de la desicion
que ha elegido.
1. Para entrar FUNCION DE TRANSICION.
2. Para entrar FUNCION DE EXITACION.
3. SALIR
*/
short menu(void)
{
   int key,y,num=1;
   void *screen,*op1,*op2,*op3,*op4;
   unsigned int area,area1;
   cleardevice();
   bar(125,20,607,41);
   settextstyle(1,0,1);
   setcolor(0);
   setlinestyle(SOLID_LINE,1,2);
   rectangle(126,21,606,40);
   outtextxy(130,20,"SINTESIS INTEGRADA DE REDES ELECTRICAS PASIVAS");
   settextstyle(0,0,0);
   bar (0,315,740,340);
   line(0,317,740,317);
   outtextxy(10,321,"ELIJA UNA OPCION CON EL CURSOR\
               O PRESIONANDO EL NUMERO CORRESPONDIENTE");
   setcolor(12);
   setlinestyle(SOLID_LINE,1,3);
   rectangle(170,70,570,270);
   rectangle(174,74,566,266);
   setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
   bar(290,60,450,81);
   settextstyle(1,0,1);
   outtextxy(295,60,"MENU PRINCIPAL");
   setfillstyle(SOLID_FILL,getmaxcolor());
   settextstyle(2,0,5);
   y=textheight("W");
   outtextxy(180,y*2+81," 1. FUNCIONES DE EXCITACION");
   outtextxy(180,y*4+81," 2. FUNCIONES DE TRANSFERENCIA");
   outtextxy(180,y*6+81," 3. GRAFICOS DE REDES");
   outtextxy(180,y*8+81," 4. SALIR AL DOS");
   area1=imagesize(169,69,571,271);
   screen=malloc(area1);
   getimage(169,69,571,271,screen);
   bar(180,83+2*y,180+320,85+3*y);
```

```
                                  bar(188,83+4*y,188+328,85+5*y);
bar(188,83+6*y,188+328,85+7*y);
bar(188,83+8*y,188+328,85+9*y);
setcolor(8);
outtextxy(188,y*2+81," 1. FUNCIONES DE EXCITACION");
outtextxy(188,y*4+81," 2. FUNCIONES DE TRANSFERENCIA");
outtextxy(188,y*6+81," 3. GRAFICOS DE FUNCIONES");
outtextxy(188,y*8+81," 4. SALIR AL DOS");
area=imagesize(188,83+2*y,188+328,85+3*y);
op1=malloc(area);
getimage(188,83+2*y,188+328,85+3*y,op1);
area=imagesize(188,83+4*y,188+328,85+5*y);
op2=malloc(area);
getimage(188,83+4*y,188+328,85+5*y,op2);
area=imagesize(188,83+6*y,188+328,85+7*y);
op3=malloc(area);
getimage(188,83+6*y,188+328,85+7*y,op3);
area=imagesize(188,83+8*y,188+328,85+9*y);
op4=malloc(area);
getimage(188,83+8*y,188+328,85+9*y,op4);
setcolor(12);
do
{
   putimage(167,69,screen,COPY_PUT);
   switch (num)
   {
      case 1:
            putimage(188,83+2*y,op1,COPY_PUT);
            break;
      case 2:
            putimage(188,83+4*y,op2,COPY_PUT);
            break;
      case 3:
            putimage(188,83+6*y,op3,COPY_PUT);
            break;
      case 4:
            putimage(188,83+8*y,op4,COPY_PUT);
            break;
      default: break;
    }
   key = getch();
   switch (key)
   {
      case 72:{
                  num--;
```

```
                                        if (num<1)
                num=4;
                break;
              }
        case 80:{
                num++;
                if (num>4)
                num=1;
                break;
              }
        case 49:{
                num=1;
                key=13;
                break;
              }
        case 50:{
                num=2;
                key=13;
                break;
              }
        case 51:{
                num=3;
                key=13;
                break;
              }
        case 52:{
                num=4;
                key=13;
                break;
              }
        default: break;
      }
    }
    while (key!=13);
    textbackground(8);
    textcolor(7);
    free(screen);free(op1);free(op2);free(op3);free(op4);
    return(num);
   }//fin de la función.
```

```
/*_______________________________________________________________
   Escuela Politécnica Nacional-Facultad de Ingenieria Eléctrica.
   Quito, marzo de 1993.

EXCSIREP.CPP
   Programa que sintetiza las funciones de excitación.

   Este programa presenta el siguiente menu.
       1. INGRESO DE DATOS
       2. EDITAR LOS DATOS
       3. RESOLUCION DE LA FUNCION
       4. RETORNO AL MENU PRINCIPAL
   Las opciones 1. y 2. sirven para el ingreso de datos.
   La opción 3. resuelve la función y despliega los resultados en la
pantalla, aquí se le da la opción de imprimir los resultados.
   Con la opción 4. se retorna al menú principal, si antes se ha corrido
el programa "SIREP.EXE", caso contrario se retorna al DOS.
_________________________________________________________________*/

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <io.h>
#include <dos.h>
#include <dir.h>
#include "\\polinom.h"

#define titulo gotoxy(28,6);cprintf(" FUNCIONES DE  EXCITACION ")
#define titulo3 gotoxy(35,6);cprintf(" RESULTADOS")
#define titulo1 gotoxy(32,6);cprintf(" INGRESO DE DATOS ")
#define OP1(op1) gotoxy(25,8); cprintf("1. %s ",op1)
#define OP2(op2) gotoxy(25,10);cprintf("2. %s ",op2)
#define OP3(op3) gotoxy(25,12);cprintf("3. %s",op3)
#define OP4(op4) gotoxy(25,14);cprintf("4. %s",op4)
#define OP5(op5) gotoxy(25,16);cprintf("5. %s",op5)
#define OP11(msg1) gotoxy(25,8); cprintf("1. %s ",msg1)
#define OP12(msg2) gotoxy(25,10); cprintf("2. %s ",msg2)
int  tipolc(void);
int  tiporl(void);
int  tiporc(void);
void grabar(void);
void ayuda(char*);
void pieimprimir(void);
void calclcserie(void);
void calclcpara(void);
```

```
                    void calclcz(int);
void calclcy(int);
void calcrlz(void);
void calcrly(void);
void calcrlserie(int);
void calcrlpara(int);
void calcrcz(void);
void calcrcy(void);
void calcrcserie(int);
void calcrcpara(int);
void formaz(void);
void formay(void);
void formaserie(void);
void formaparalelo(void);
void super(int ,int ,char*);
void salidaprincipal(void);
void calcP0(void);
void resultado(int ,int , int , int );
void imprimir(void);
short desicion(short , char* , char* , char* , char*, char*, short);
short decidir1(short , char* , char* );
int error2(int);
int err1(void);
void pie(void);
void pie1(void);
void pie2(void);
void marco(int , int , int , int , int );
void marco(int , int , int , int );


//variables importantes
int numres,numk;
float resp[10], arrayk[10];
polinomio NUM,DEN;
float P0,Pi;
FILE *ftemp;
char *ntemp="TXXXXXX", *nomtmp;

main()
{
    int lctipo,rltipo,rctipo;
    char *msg1, *msg2, *op1, *op2, *op3, *op4, *op5;
    int  opcion;
    int flag1=0; //chequea si primero ha ingresado datos
    nomtmp = mktemp(ntemp);
    do{
    window(1,1,80,25);
    textbackground(0);
    textcolor(7);
    clrscr();
    gotoxy(15,2);printf("SINTESIS  INTEGRADA  DE  REDES  ELECTRICAS  PASIVAS \n");
```

```
                                                                   for(int j=1; j<=80; j++)
printf("=");
marco(219,20,6,60,18);
titulo;
op1="INGRESO DE DATOS        ";
op2="EDITAR LOS DATOS        ";
op3="RESOLUCION DE LA FUNCION ";
op4="RETORNO AL MENU PRINCIPAL";
op5="";
OP1(op1);OP2(op2);OP3(op3);OP4(op4);
piel();
opcion=desicion(1,op1,op2,op3,op4,op5,0);
switch (opcion){
    case 1:
          int opcion1;
          flag1=1;
          window(1,4,80,22);
          clrscr();
          window(1,1,80,25);
          marco(219,20,6,60,14);
          titulo1;
          msg1="POR TECLADO  ";
          msg2="DE DISCO     ";
          piel();
          OP11(msg1);OP12(msg2);
          opcion1=decidir1(1,msg1,msg2);
          switch(opcion1){
              case 1: int opcion12;
                    char siono;
                    window(1,4,80,22);
                    clrscr();
                    window(1,1,80,25);
                    marco(219,20,6,60,14);
                    titulo1;
                    do{
                        int salida;
                        gotoxy(23,9);printf("INGRESE EL GRADO DEL NUMERADOR ");
                        NUM.leergrado();
                        gotoxy(23,11);printf("INGRESE EL GRADO DEL DENOMINADOR ");
                        DEN.leergrado();
                        do{
                            gotoxy(30,13);printf("Desea cambiar S/N ===>");
                            siono=getch();
                            switch (siono){
                                case 'S':case 's' : salida = 0 ;break;
                                case 'N':case 'n' : salida = 0 ;break;
                            default: salida = 1;printf("\a");
                            }
                        }
                        while (salida);
                    }
                    while ( (siono == 'S')||(siono == 's'));
                    window(1,4,80,22);
                    clrscr();
```

```
                                        window(1,1,80,25);
        marco(219,20,6,60,14);
        titulo1;
        msg1="FORMA LIBRE     ";
        msg2="POR LISTADO     ";
        piei();
        OP11(msg1);OP12(msg2);
        opcion12=decidir1(1,msg1,msg2);
        switch(opcion12){
          case 1:
                clrscr();
                pie();
                gotoxy(34,4);printf("NUMERADOR\n");
                NUM.lectura2();
                clrscr();
                pie();
                gotoxy(34,4);printf("DENOMINADOR\n");
                DEN.lectura2();
                window(1,21,80,24);clrscr();window(1,1,80,25);
                grabar();
                pie2();
                break;
          case 2:
                gotoxy(20,4);printf("NUMERADOR\t\tGRADO %d\n",NUM.grado);
                NUM.lectura1();
                clrscr();
                gotoxy(20,4);printf("DENOMINADOR\t\tGRADO = %d\n",DEN.grado);
                DEN.lectura1();
                grabar();
                pie2();
                break;
          default: break;
        }
        break;
    case 2:
        FILE *name;
        char *nombre;
        int i;
        window(1,4,80,22);
        clrscr();
        window(1,1,80,25);
        marco(219,20,6,60,14);
        titulo1;
        gotoxy(23,10);printf("NOMBRE DEL ARCHIVO  ");
        scanf("%s",nombre);
        if ((name = fopen(nombre, "r"))== NULL){
        gotoxy(23,12);printf("ARCHIVO NO EXISTE");
        flag1=0;
        }
        else{
```

```
                                        rewind(name);
                fread(&i,sizeof(int),1,name);
                if (i==-1)
                {
                    fread(&NUM.grado,sizeof(int),1,name);
                    for (i=0;i<=NUM.grado;i++)
                    fread(&NUM.A[i],sizeof(float),1,name);
                    fread(&DEN.grado,sizeof(int),1,name);
                    for (i=0;i<=DEN.grado;i++)
                    fread(&DEN.A[i],sizeof(float),1,name);
                    gotoxy(23,12);printf("DATOS RECUPERADOS");
                }
                else{
                    gotoxy(23,12);printf("DATOS INCORRECTOS");
                    flag1=0;
                }
                fclose(name);
              }
              pie2();
              break;
          default:break;
        }
        break;
case 2:
       if (flag1)
       {   pie();
           gotoxy(34,4);printf("NUMERADOR\n");
           NUM.lectura2();
           gotoxy(34,4);printf("DENOMINADOR\n");
           DEN.lectura2();
           window(1,21,80,24);clrscr();window(1,1,80,25);
           grabar();
           pie2();
           break;
       }
       else
           erri();
       break;
case 3:
       if (flag1){
           if (!(NUM.chequear() || DEN.chequear())){
           NUM.resuelve();DEN.resuelve();
           if (!(NUM.chequearaiz() || DEN.chequearaiz())){
               NUM.factoriza();DEN.factoriza();
               lctipo=tipolc();
               rltipo=tiporl();
               rctipo=tiporc();
               if (lctipo || rltipo || rctipo){
                   int opcion3;
                   do{
```

```
                                window(1,4,80,25);
        clrscr();
        window(1,1,80,25);
        marco(219,28,6,68,18);
        titulo3;
        op1="DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA) ";
        op2="DE LA FORMA Y (ADMITANCIA) ";
        op3="DE LA FORMA SERIE          ";
        op4="DE LA FORMA PARALELO       ";
        op5="RETORNAR AL MENU           ";
        OP1(op1);OP2(op2);OP3(op3);OP4(op4);OP5(op5);
        pie1();
        opcion3=desicion(1,op1,op2,op3,op4,op5,1);
        switch (opcion3){
          case 1:
            int i,h,tipo;
            char el1,el2;
            char *elem1, *elem2;
            formas();
            salidaprincipal();
            window(1,4,80,25);
            if (lctipo){
              gotoxy(28,2);
              cprintf("RED LC DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)\t\tTIPO: %d",lctipo);
              fprintf(ftemp,"\n\n\tRED LC DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)\t\tTIPO: %d",lctipo);
              elem1="Capacitancias";
              elem2="Inductancias";
              el1='L';el2='C';tipo=lctipo;
            }
            if (rltipo){
              gotoxy(28,2);
              cprintf("RED RL DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)\t\tTIPO: %d",rltipo);
              fprintf(ftemp,"\n\n\tRED RL DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)\t\tTIPO: %d",rltipo);
              elem1="Resistencias";
              elem2="Inductancias";
              el1='L';el2='R';tipo=rltipo;
            }
            if (rctipo){
              gotoxy(28,2);
              cprintf("RED RC DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)\t\tTIPO: %d",rctipo);
              fprintf(ftemp,"\n\n\tRED RC DE LA FORMA Z (IMPEDANCIA)\t\tTIPO: %d",rctipo);
              elem1="Capacitancias";
              elem2="Resistencias";
              el1='R';el2='C';tipo=rctipo;
            }
            gotoxy(2,15);cprintf("%s: ",elem1);
            gotoxy(40,15);cprintf("%s: ",elem2);
            switch(tipo){
              case 1:
                gotoxy(2,14);cprintf("%c = %2.3f ",el1,P1);
```

```
= %2.3f ",el1,Pi);
                        if (rltipo){
                            gotoxy(28,14);
                            cprintf("%c = %2.3f",el2,P0);
                            fprintf(ftemp,"\t\t%c = %2.3f",el2,P0);
                        }
                        else{
                            gotoxy(28,14);
                            cprintf("%c = %2.3f ",el2,1/P0);
                            fprintf(ftemp,"\t\t%c = %2.3f",el2,1/P0);
                        }
                        break;
                    case 2:
                        break;
                    case 3:
                        gotoxy(2,14);cprintf("%c = %2.3f ",el2,1/P0);
                        fprintf(ftemp,"\n\n\t%c = %2.3f",el2,1/P0);
                        break;
                    case 4:
                        gotoxy(2,14);cprintf("%c = %2.3f ",el1,Pi);
                        fprintf(ftemp,"\n\n\t%c = %2.3f",el1,Pi);
                        break;
                }
                fprintf(ftemp,"\n\t%s",elem1);
                for(h=0; h<numk; h++){
                    if (rltipo){
                        gotoxy(18,15+h);
                        cprintf("%c%d = %2.3f\n",el2,h+1,arrayk[h]);
                        fprintf(ftemp,"\n\t%c%d = %2.3f",el2,h+1,arrayk[h]);
                    }
                    else{
                        gotoxy(18,15+h);
                        cprintf("%c%d = %2.3f\n",el2,h+1,1/arrayk[h]);
                        fprintf(ftemp,"\n\t%c%d = %2.3f",el2,h+1,1/arrayk[h]);
                    }
                }
                i=0;
                fprintf(ftemp,"\n\n\t%s",elem2);
                for(h=0; h<numk; h++){
                    if (!(DEN.factores[i].raiz))
                        i++;
                    gotoxy(55,15+h);
                    cprintf("%c%d = %2.3f",el1,h+1,arrayk[h]/DEN.factores[i].raiz);
                    fprintf(ftemp,"\n\t%c%d = %2.3f",el1,h+1,arrayk[h]/DEN.factores[i].raiz);
                    i++;
                }
                fclose(ftemp);
                pieimprimir();
                break;
            case 2:
```

```
                                formay();
salidaprincipal();
window(1,4,80,25);
if (lctipo){
    gotoxy(28,2);
    cprintf("RED LC DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)\t\tTIPO: %d",lctipo);
    fprintf(fletmp,"\n\n\tRED LC DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)\t\tTIPO: %d",lctipo);
    gotoxy(48,15);cprintf("Capacitancias: ");
    gotoxy(2,15);cprintf("Inductancias: ");
    el1='C';el2='L';tipo=lctipo;
}
if (rltipo){
    gotoxy(28,2);
    cprintf("RED RL DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)\t\tTIPO: %d",rltipo);
    fprintf(fletmp,"\n\n\tRED RL DE LA FORMA Y (ADMITNACIA)\t\tTIPO: %d",rltipo);
    gotoxy(48,15);cprintf("Resistencias: ");
    gotoxy(2,15);cprintf("Inductancias: ");
    el1='R';el2='L';tipo=rltipo;
}
if (rctipo){
    gotoxy(28,2);
    cprintf("RED RC DE LA FORMA Y (ADMITANCIA)\t\tTIPO: %d",rctipo);
    fprintf(fletmp,"\n\n\tRED RC DE LA FORMA Y (ADMITNACIA)\t\tTIPO: %d",rctipo);
    //gotoxy(48,15);cprintf("Capacitancias ");
   // gotoxy(2,15);cprintf("Resistencias: ");
    elem1="Resistencias";
    elem2="Capacitancias";
    el1='C';el2='R';tipo=rctipo;
}

switch(tipo){
    case 2:
        if (rltipo){
            gotoxy(2,14);cprintf("%c = %2.3f ",el1,1/Pi);
        fprintf(fletmp,"\n\n\t%c = %2.3f ",el1,1/Pi);
            gotoxy(28,14);
            cprintf("%c = %2.3f",el2,P0);
            fprintf(fletmp,"\t\t%c = %2.3f",el2,P0);
        }
        else{
            gotoxy(2,14);cprintf("%c = %2.3f ",el1,Pi);
        fprintf(fletmp,"\n\n\t%c = %2.3f ",el1,Pi);
            gotoxy(28,14);
            cprintf("%c = %2.3f ",el2,1/P0);
            fprintf(fletmp,"\t\t%c = %2.3f",el2,1/P0);
        }
        break;
    case 1:
        break;
    case 3:
```

```
                                        if (rltipo){
            gotoxy(2,14);cprintf("%c = %2.3f ",el1,1/Pi);
            fprintf(ftemp,"\n\n\t%c = %2.3f ",el1,1/Pi);
            }
            else{
            gotoxy(2,14);cprintf("%c = %2.3f ",el1,Pi);
            fprintf(ftemp,"\n\n\t%c = %2.3f ",el1,Pi);
            }
            break;
         case 4:
            if (rltipo){
            gotoxy(2,14);cprintf("%c = %2.3f ",el2,P8);
                fprintf(ftemp,"\t\t%c = %2.3f",el2,P8);
            }
            else{
            gotoxy(2,14);cprintf("%c = %2.3f ",el2,1/P8);
                fprintf(ftemp,"\t\t%c = %2.3f",el2,1/P8);
            }
            break;
      }
      gotoxy(2,15);cprintf("%s: ",elem1);
      gotoxy(40,15);cprintf("%s: ",elem2);
      fprintf(ftemp,"\n\t%s",elem1);
      for(h=0; h<numk; h++){
         gotoxy(10,15+h);
         cprintf("%c%d = %2.3f\n",el2,h+1,1/arrayk[h]);
         fprintf(ftemp,"\n\t%c%d = %2.3f",el2,h+1,1/arrayk[h]);
      }
      i=0;
      fprintf(ftemp,"\n\t%s",elem2);
      for(h=0; h<numk; h++){
         if (!(NUM.factores[i].raiz))
            i++;
         if (rltipo){
         gotoxy(55,15+h);
         cprintf("%c%d = %2.3f",el1,h+1,NUM.factores[i].raiz/arrayk[h]);
         fprintf(ftemp,"\n\t%c%d = %2.3f",el1,h+1,NUM.factores[i].raiz/arrayk[h]);
         }
         else{
         gotoxy(55,15+h);
         cprintf("%c%d = %2.3f",el1,h+1,arrayk[h]/NUM.factores[i].raiz);
         fprintf(ftemp,"\n\t%c%d = %2.3f",el1,h+1,arrayk[h]/NUM.factores[i].raiz);
         }
         i++;
      }
      fclose(ftemp);
      pieimprimir();
      break;
   case 5:
      salidaprincipal();
```

```
                                                                    formaserie();
                                resultado(1 ,ltipo , rtipo , rctipo );
                                fclose(filep);
                                pieimprimir();
                                break;
                             case 4:
                                salidaprincipal();
                                formaparalelo();
                                resultado(6 ,lctipo , rtipo , rctipo );
                                fclose(filep);
                                pieimprimir();
                                break;
                             default:break;
                           }//fin del switch
                        }//fin del do
                        while (opcion3!=5);
                     }//fin del if lctipo||...
                     else{
                      error2(3);
                      break;
                     }
                     }//fin if chequearaiz...
                     else{
                     error2(2);
                     break;
                     }
                   }
                   else{
                        error2(1);
                        break;
                    }
                }
                else
                   err1();
                   break;
          case 4: case 5: remove(nomtmp);
             window (1,1,80,25);
             clrscr();
             printf("S.I.R.E.P.          E.P.N. Marzo,2 de 1993.");
             exit(1);
      }
      }
      while (opcion != 5);
}
//FIN del programa principal.
```

NOTA: PARA VER EL LISTADO DE LAS FUNCIONES UTILIZADAS EN ESTE PROGRAMA,

REFERIRSE AL ARCHIVO "EXCSIREP.CPP".

```
/*___________________________________________________________
  Escuela Politécnica Nacional-Facultad de Ingeniería Eléctrica.
  Quito, marzo de 1993.

TRASIREP.CPP
  Programa que sintetiza las funciones de tranferencia.

  Este programa presenta el siguiente menu.
     1. INGRESO DE DATOS
     2. EDITAR LOS DATOS
     3. RESOLUCION DE LA FUNCION
     4. RETORNO AL MENU PRINCIPAL
  Las opciones 1. y 2. sirven para el ingreso de datos.
  La opción 3. resuelve la función y despliega los resultados en la
pantalla, aquí se le da la opción de imprimir los resultados.
  Con la opción 4. se retorna al menú principal, si antes se ha corrido
el programa "SIREP.EXE", caso contrario se retorna al DOS.
___________________________________________________________*/

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <io.h>
#include <dos.h>
#include <dir.h>
#include "\\polytran.h"

#define titulo gotoxy(28,6);cprintf(" FUNCIONES DE TRANSFERENCIA ")
#define titulo3 gotoxy(35,6);cprintf(" RESULTADOS")
#define OP1(op1) gotoxy(25,8); cprintf("1. %s ",op1)
#define OP2(op2) gotoxy(25,10);cprintf("2. %s ",op2)
#define OP3(op3) gotoxy(25,12);cprintf("3. %s",op3)
#define OP4(op4) gotoxy(25,14);cprintf("4. %s",op4)
#define OP5(op5) gotoxy(25,16);cprintf("5. %s",op5)
#define titulo1 gotoxy(32,6);cprintf(" INGRESO DE DATOS ")
#define OP11(msg1) gotoxy(25,8); cprintf("1. %s ",msg1)
#define OP12(msg2) gotoxy(25,10); cprintf("2. %s ",msg2)

void  marco(int c, int x1, int y1, int x2, int y2);
int   tiporl(void);
short tipolc(void);
void  grabar(void);
void  ayuda(char*);
void  pieimprimir(void);
void  super(int ,int ,char*);
void  salidaprincipal(short);
void  imprimir(void);
short pruebasol(void);
short desicion(short , char*, char*, char* , char*);
short decidirl(short , char* , char* );
short error2(short);
int err1(void);
void pie(void);
void pie1(void);
void pie2(void);
int tiporl(void);
short pregunta(void);
```

```
                        float arrayLb[10];  //corresponden a Rb
float arrayCb[10];
float arrayLa[10];  //corresponde a Ra
float arrayCa[10];
int numLb; //corresponden a Rb
int numCb;
int numLa; //corresponde a Ra
int numCa;
float aux, aux1, aux2, Z1,M;
FILE *ftemp;
char *ntemp="TXXXXXX", *nomtmp;

main()
{
    int opcion;
    char *msg1, *msg2, *op1, *op2, *op3, *op4 ;
    int flag1=0; //chequea si primero ha ingresado datos
    int tiplc,cumple; float preal,pimag; polinomio UN; UN.grado=0;UN.A[0]=-1;
    nomtmp = mktemp(ntemp);
    do{
    window(1,1,80,25);textbackground(0);textcolor(7);clrscr();
    gotoxy(15,2);printf("SINTESIS  INTEGRADA  DE  REDES  ELECTRICAS  PASIVAS \n");
    for(int j=1; j<=80; j++) printf("=");
    marco(219,20,6,60,10);titulo;
    op1="INGRESO DE DATOS          ";op2="EDITAR LOS DATOS          ";
    op3="RESOLUCION DE LA FUNCION ";op4="SALIR AL MENU PRINCIPAL";
    OP1(op1);OP2(op2);OP3(op3);OP4(op4);pie1();
    opcion=desicion(1,op1,op2,op3,op4);
    switch (opcion){
         case 1:
                int opcion1; flag1=1;window(1,4,80,22);
                clrscr(); window(1,1,80,25); marco(219,20,6,60,14);
                titulo1; msg1="POR TECLADO  "; msg2="DE DISCO     ";
                pie1(); OP11(msg1);OP12(msg2);opcion1=decidir1(1,msg1,msg2);
                switch(opcion1){
                    case 1: int opcion12;
                            char siono; window(1,4,80,22); clrscr(); window(1,1,80,25);
                            marco(219,20,6,60,14); titulo1;
                            do{
                                int salida; gotoxy(23,9);printf("INGRESE EL GRADO DEL NUMERADOR ");
                                NUM.leergrado(); gotoxy(23,11);printf("INGRESE EL GRADO DEL DENOMINADOR ");
                                DEN.leergrado();
                                do{
                                    gotoxy(30,13);printf("Desea cambiar S/N ===>");
                                    siono=getch();
                                    switch (siono){
                                        case 'S':case 's' : salida = 0 ;break;
                                        case 'N':case 'n' : salida = 0 ;break;
                                    default: salida = 1;printf("\a");
                                    }
                                }
                                while (salida);
                            }
                            while ( (siono == 'S')||(siono == 's'));
                            window(1,4,80,22); clrscr(); window(1,1,80,25);
                            marco(219,20,6,60,14); titulo1; msg1="FORMA LIBRE     ";
                            msg2="POR LISTADO     "; pie1(); OP11(msg1);OP12(msg2);
                            opcion12=decidir1(1,msg1,msg2);
```

```
                                                                              clrscr(); pie(); gotoxy(34,4);printf("NUMERADOR\n");
                          NUM.lectura2(); clrscr();
                          pie(); gotoxy(34,4);printf("DENOMINADOR\n");
                          DEN.lectura2(); window(1,21,80,24);clrscr();window(1,1,80,25);
                          grabar(); pie2();break;
                     case 2:
                          gotoxy(28,4);printf("NUMERADOR\t\tGRADO %d\n",NUM.grado);
                          NUM.lectura1(); clrscr();
                          gotoxy(28,4);printf("DENOMINADOR\t\tGRADO = %d\n",DEN.grado);
                          DEN.lectura1(); grabar(); pie2();
                          break;
                     default: break;
                   }
                   break;
             case 2:
                   FILE *name;
                   char *nombre;
                   int i; window(1,4,80,22); clrscr(); window(1,1,80,25);
                   marco(219,20,6,60,14); titulo1;
                   gotoxy(23,10);printf("NOMBRE DEL ARCHIVO  ");
                   scanf("%s",nombre);
                   if ((name = fopen(nombre, 'r'))== NULL){
                   gotoxy(23,12);printf("ARCHIVO NO EXISTE");
                   flag1=0;
                   }
                   else{
                      rewind(name);fread(&i,sizeof(int),1,name);
                      if (i==-1)
                      {
                          fread(&NUM.grado,sizeof(int),1,name);
                          for (i=0;i<=NUM.grado;i++)
                          fread(&NUM.A[i],sizeof(float),1,name);
                          fread(&DEN.grado,sizeof(int),1,name);
                          for (i=0;i<=DEN.grado;i++)
                          fread(&DEN.A[i],sizeof(float),1,name);
                          gotoxy(23,12);printf("DATOS RECUPERADOS");
                      }
                      else{
                          gotoxy(23,12);printf("DATOS INCORRECTOS");
                          flag1=0;
                      }
                      fclose(name);
                    }
                    pie2();break;
              default:break;
         }
         break;
case 2:
       if (flag1)
       {   pie(); gotoxy(34,4); printf("NUMERADOR\n"); NUM.lectura2();
           gotoxy(34,4);printf("DENOMINADOR\n"); DEN.lectura2();
           window(1,21,80,24);clrscr();window(1,1,80,25); grabar(); pie2();
           break;
       }
       else
           err1(); break;
case 3:
       if (flag1){
```

```
                                   NUM.resuelve(); NUM.factoriza();
  if (!(NUM.chequear()||DEN.chequear()||NUM.chequeagrado(DEN)||NUM.chequearaiz())){
      NUM.resuelve(); DEN.resuelve(); NUM.factoriza(); DEN.factoriza();
      if (tipolc()){
         complex aux; complex aux1, aux2, Z1,N;
         if (DEN.chequearaiz()){//no es facorable;
             rlorc=0;
             if (!(DEN.chequeatodoscoef())){
                  if (!(NUM.grado%2)){ //numerador par
                       int j; DEN1.grado=DEN.grado; NUM1.grado=DEN.grado-1;
                       for(int i=0; i<=DEN.grado; i++)//saco los coef. impares
                       {
                             if (!(i%2)) DEN1.A[i]=DEN.A[i];
                           else DEN1.A[i]=0;
                         }
                       j=0;
                       for (i=1; i<=DEN.grado;i++){ // los coef pares
                           if (i%2) NUM1.A[j]=DEN.A[i];
                           else NUM1.A[j]=0;
                           j++;
                       }
                         //Z21= NUM/DEN1    Z22= NUM1/DEN1
                  }
                  else{  //numerador impar
                       int j;
                         DEN1.grado=DEN.grado-1; NUM1.grado=DEN.grado;
                       for(int i=0; i<=DEN.grado; i++)//saco los coef. impares
                       {
                           if (!(i%2)) DEN1.A[i]=DEN.A[i];
                           else DEN1.A[i]=0;
                       }
                         j=0;
                       for (i=1; i<=DEN.grado;i++){ // los coef pares
                           if (i%2) NUM1.A[j]=DEN.A[i];
                             else NUM1.A[j]=0;
                           j++;
                       }
                       //Z21= NUM/DEN1    Z22= NUM1/DEN1
                  }//fin else num. impar
             }//del if DEN.chequeatodoscoef..
         }//fin de chequea DEN chequearaiz.
         else{     //cuando el denominador tambien tiene factores
                         //que si cumplen con chequea raiz
             polinomio Paux;
             rlorc=1;
             DEN1=DEN; //Y11=NUM/DEN1  Y21=NUM1/DEN1
             Paux.grado=2; Paux.A[0]=1; Paux.A[1]=0;
             NUM1.grado=0; NUM1.A[0]=1;
             for(int i=0; i<DEN.numfac; i++){         //saco el
                 if(DEN.factores[i].gra==2){
                    Paux.A[2]=DEN.factores[i].raiz-0.5;   //numerador
                    NUM1=NUM1*Paux;                    //auxiliar
                 }
             }
      }//fin del else DEN.chequearaiz
      NUM22=NUM1; DEN22=DEN1;
      for (int j=0; j<NUM.numfac; j++)
      {
          polinomio Zh NUM11 DEN11 Ynum Yden;
```

```
                                          preal=0.0;pimag=sqrt(NUM.factores[j].raiz);
    aux=complex(preal,pimag); aux1=DEN1.evalua(aux);
    aux2=NUM1.evalua(aux); Z1 = aux1/aux2;
    Zb.grado=1; Zb.A[1]=0;
    if (imag(Z1)>=0){
        arrayLb[numLb]=imag(Z1)/sqrt(NUM.factores[j].raiz);
        Zb.A[0]=arrayLb[numLb];
        numLb++;
    }
    else{
        float k=imag(Z1);
        k=fabs(k);
        arrayCb[numCb]=1/(sqrt(NUM.factores[j].raiz)*fabs(imag(Z1)));
        Zb.A[0]=arrayCb[numCb]; numCb++;
    }
    //paso2.
    NUM11=Zb*NUM1; NUM11=NUM11*UN;//-NUM11
    DEN1=DEN1+NUM11; NUM11=DEN1;
    DEN11=NUM1; Zb.grado=2;  //(s^2+wk);
    Zb.A[0]=1;Zb.A[1]=0;Zb.A[2]=NUM.factores[j].raiz;
    DEN1=DEN1/Zb; Zb.grado=1; Zb.A[0]=1; Zb.A[1]=0;
    DEN1=DEN1*Zb; //Yk=NUM1/DEN1
    aux1=0;aux2=0; aux1=DEN1.evalua(aux);
    aux2=NUM1.evalua(aux);
    M=aux2/aux1; arrayLa[numLa]=1/real(M);numLa++;
    arrayCa[numCa]=real(M)/NUM.factores[j].raiz;numCa++;
    //Paso 3.
    Yanum.grado=1;Yanum.A[0]=real(M);Yanum.A[1]=0;
    Yaden.grado=2;Yaden.A[0]=1;Yaden.A[1]=0;
    Yaden.A[2]=NUM.factores[j].raiz;
    DEN1=NUM11/Yaden; NUM11=DEN1*Yanum;
    NUM11=NUM11*UN; NUM1=DEN11+NUM11; NUM1=NUM1/Yaden;
}//fin del for total
if (NUM1.A[0]){
    arrayLb[numLb]=NUM1.A[0];
    numLb++;
}
else{
    arrayCb[numCb]=1/NUM1.A[0];
    numCb++;
}
cumple=pruebasol();
if (!cumple){
    window(1,4,80,25);
    gotoxy(23,1);cprintf("RED LC.        FUNCION DE TRANSFERENCIA");
    fprintf(ftemp,"\n\tRED LC.\n\n");
    salidaprincipal(rlorc);
    window(4,17,80,25);
    for(int i=0;i<numLa;i++){
        cprintf("LA%d = %f\n\r",i+1,arrayLa[i]);
        fprintf(ftemp,"\tRA%d = %f\t\t",i+1,arrayLa[i]);
        if (i%2)
        fprintf(ftemp,"\n");
    }
    window(24,17,80,25);
    for (i=0;i<numCa;i++){
        cprintf("CA%d = %f\n\r",i+1,arrayCa[i]);
        fprintf(ftemp,"\tCA%d = %f\t\t",i+1,arrayCa[i]);
```

```
                                                    window(44,17,80,25);
        for (i=0;i<numLb;i++){
            cprintf("Lb%d = %f\n\r",i+1,arrayLb[i]);
            fprintf(ftemp,"\tLb%d = %f\t\t",i+1,arrayLb[i]);
            if (i%2)
            fprintf(ftemp,"\n");
        }
        window(64,17,80,25);
        for (i=0;i<numCb;i++){
            cprintf("Cb%d = %f\n\r",i+1,arrayCb[i]);
            fprintf(ftemp,"\tCb%d = %f\t\t",i+1,arrayCb[i]);
            if (i%2)
            fprintf(ftemp,"\n");
        }
        resuelto =1;
        fclose(ftemp);
        pieimprimir();
      }
    }//fin del if tipolc.
     if (tiporl()){
       if (!(DEN.chequearaiz())){
                float aux,aux1,aux2;
                float inicio=NUM.factores[0].raiz;
                float resta=0.5;
                cumple =1; riorc=1;
                while (cumple){
                numLb=numCb=numLa=numCa=0;
                polinomio Faux;
                DEN1=DEN;//Y11=NUM/DEN1   Y21=NUM1/DEN1
                Faux.grado=1; Faux.A[0]=1; NUM1.grado=0;
                NUM1.A[0]=1;
                for(int i=0; i<DEN.numfac; i++){          //saco el
                    Faux.A[1]=DEN.factores[i].raiz-resta;   //numerador
                    NUM1=NUM1*Faux;                        //auxiliar
                }
                NUM22=NUM1; DEN22=DEN1;
                for (int j=0; j<NUM.numfac; j++)
                {
                    polinomio Zb,NUM11,DEN11,Yanum,Yaden;
                    Z1=0;aux1=0;aux2=0;
                    preal=-(NUM.factores[j].raiz);
                    aux1=DEN1.evalua(preal);
                    aux2=NUM1.evalua(preal);
                    Z1 = aux1/aux2;
                    Zb.grado=0;
                    if (Z1>=0){
                        arrayLb[numLb]=Z1;
                        Zb.A[0]=arrayLb[numLb];
                        numLb++;
                    }
                    //paso2.
                    NUM11=Zb*NUM1;
                    NUM11=NUM11*UN;//-NUM11
                    DEN1=DEN1+NUM11;
                    NUM11=DEN1;
                    DEN11=NUM1;
                    Zb.grado=1;  //(s-wk);
                    Zb.A[0]=1;Zb.A[1]=+NUM.factores[j].raiz;
```

```
                                                            aux1=0;aux2=0; aux1=DEN1
    aux2=NUM1.evalua(preal); K=aux2/aux1;
    arrayLa[numLa]=1/K;numLa++;
    arrayCa[numCa]=K/NUM.factores[j].raiz;numCa++;
    //Paso 3.
    Yanum.grado=1;Yanum.A[0]=K;Yanum.A[1]=0;
    Yaden.grado=1;Yaden.A[0]=1;Yaden.A[1]=NUM.factores[j].raiz;
    DEN1=NUM11/Yaden; NUM11=DEN1*Yanum;
    NUM11=NUM11*UN; NUM1=DEN11+NUM11;
    NUM1=NUM1/Yaden;
}//fin del for total
if (NUM1.A[0]){
    arrayLb[numLb]=DEN1.A[0]/NUM1.A[0];
    numLb++;
}
else{
    arrayCb[numCb]=NUM1.A[0]/DEN1.A[0];
    numCb++;
}
cumple=pruebasol();
if (cumple){
   int auxgrado= NUM.factores[0].gra;
   int auxraiz=NUM.factores[0].raiz;
   for( i=1; i<NUM.numfac;i++){
       NUM.factores[i-1].gra=NUM.factores[i].gra;
       NUM.factores[i-1].raiz=NUM.factores[i].raiz;
   }
   NUM.factores[NUM.numfac-1].raiz = auxraiz;
   NUM.factores[NUM.numfac-1].gra = auxgrado;
   if (NUM.factores[0].raiz==inicio){ //para cuando ya se
       resta+=0.5;
       if (resta < 1.5)
       cumple = 1;
       else
       cumple= 0;              //ha probado todos los casos.
   }
 } //fin if cumple
 }//fin del while cumple
 cumple=pruebasol();
 if (!cumple){
     char *el1, *el2;
     int tiporl_rc=pregunta();
     salidaprincipal(rlorc);
     if (tiporl_rc){ //si es rl
         el1="La";el2="Lb";
         window(1,4,80,25);
         gotoxy(23,1);cprintf("RED RL.        FUNCION DE TRANSFERENCIA");
         fprintf(ftemp,"\n\tRED LC.\n\n");
     }
     else{
         el1="Ca";
         el2="Cb";
         window(1,4,80,25);
         gotoxy(23,1);cprintf("RED RC.        FUNCION DE TRANSFERENCIA");
         fprintf(ftemp,"\n\tRED LC.\n\n");
     }
     window(4,17,80,25);
     for(int i=0;i<numLa;i++){
         cprintf("Ra%d = %f\n\r",i+1,arrayLa[i]);
```

```
                                                if (i%2) fprintf(filemp,"\n");}
                         window(24,17,80,25);
                         for (i=0;i<numCa;i++){
                             cprintf("%s%d = %f\n\r",el1,i+1,arrayCa[i]);
                             fprintf(filemp,"\t%s%d = %f\t\t",el1,i+1,arrayCa[i]);
                             if (i%2) fprintf(filemp,"\n");
                         }
                         window(64,17,80,25);
                         for (i=0;i<numLb;i++){
                             cprintf("Rb%d = %f\n\r",i+1,arrayLb[i]);
                             fprintf(filemp,"\tRb%d = %f\t\t",i+1,arrayLb[i]);
                             if (i%2) fprintf(filemp,"\n");
                         }
                         window(44,17,80,25);
                         for (i=0;i<numCb;i++){
                             cprintf("%s%d = %f\n\r",el2,i+1,arrayCb[i]);
                             fprintf(filemp,"\t%s%d = %f\t\t",el2,i+1,arrayLa[i]);
                             if (i%2) fprintf(filemp,"\n");
                         }
                         resuelto=1;fclose(filemp); pieimprimir();
                      }//fin del if cumple
                   }//if tipor1
                }//fin chequearaiz
                if (!resuelto)
                  error2(3);
         }//fin del if NUM.chequear....
         else{
             if (NUM.chequearaiz())error2(2);
             else error2(1);
              break;
          }
      }
      else
          err1();break;
   case 5:case 4: remove(nomtmp);
                      window (1,1,80,25); clrscr();
                      printf("S.I.R.E.P.          E.P.N. Marzo,2 de 1993.");
                      exit(1);
  }
  }
  while (opcion != 5);
}
//FIN DEL PROGRAMA PRINCIPAL
```

NOTA: PARA VER LAS FUNCIONES UTILIZADAS EN ESTE PROGRAMA, REFERIRSE

AL ARCHIVO "TRASIREP.CPP".

B I B L I O G R A F I A

1. VASS, HELENA, Circuitos eléctricos III , Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1972.

2. OLALLA, VICTOR, Estudio de las funciones reales positivas , Tesis de Grado E.P.N., Quito, Marzo de 1983.

3. CALAHORRANO, WASHINGTON, Programa digital para la síntesis de Foster y Cauer de redes canónicas de dos tipos de elementos , Tesis de Grado E.P.N., Quito, Agosto de 1983.

4. LUIS E. PESANTEZ, Programa digital para síntesis de cuadripolos pasivos. Redes escalera , Tesis de Grado E.P.N., Quito, Agosto de 1983.

5. WEINBERG, LOUIS, Network analysis and synthesis , Mc Graw Hill Company.

7. VAN VALKENBURG, M.E., Introduction to modern network synthesis , John Wiley & Sons, Noviembre de 1962.

8. VAN VALKENBURG, M.E., Análisis de redes , Editorial Limusa, México, 1968.

9. KUO, FRANKLIN, Network analysis and synthesis , John Wiley & Sons, New York, 1966.

10. RODRIGUEZ, ELIZABETH, Programa digital para análisis de circuitos eléctricos lineales en el dominio de la frecuencia , Tesis de Grado E.P.N., Quito, 1983.

11. GUILLEMIN, ERNEST, Synthesis of pasive networks , John Wiley & Sons, London, 1962.

12. STROUSTRUP, BJARNE, The C++ Pragramming language , AT&T Bell Labotarories Murray Hill, New Jersey, 1991.