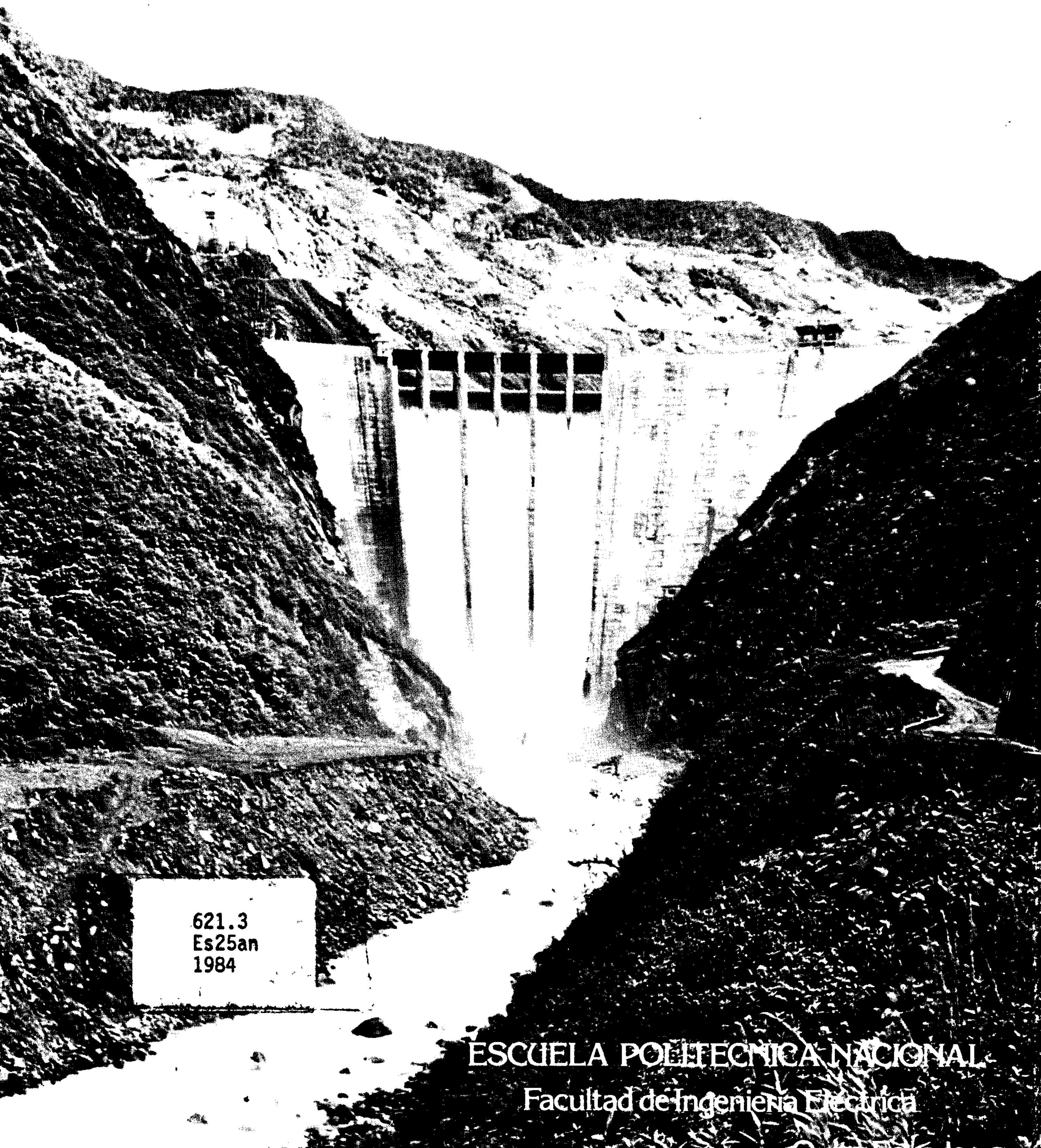
ANALES DE LAS JORNADAS EN INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Facultad de Ingeniería Eléctrica

EDITORIAL

El presente volumen recoge artículos elaborados por profesionales del Ecuador, Brasil, Colombia y Chile, lo que demuestra el gran interés que a nivel latinoamericano han despertado las Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

La calidad de los trabajos muestra que existe en nuestros países la capacidad técnica para enfrentar con éxito problemas tecnológicos de gran complejidad, y son un excelente ejemplo de cómo la tecnología apropiada para nuestro medio no es una tecnología intermedia, ni de segundo orden, sino sencillamente aquella que satisface en mejor forma nuestras necesidades, debiendo utilizar para ello las técnicas más avanzadas.

A pesar de estar geográficamente unidos, algunas veces sabemos mucho sobre los avances técnicos de otras regiones y muy poco sobre los adelantos y esfuerzos de nuestra comunidad científica. Pero no debemos olvidar que el conocimiento no es más que la capacidad para transformar la naturaleza; de allí que, en la medida en que no hagamos un esfuerzo por volver nuestra mirada hacia nuestro medio, poco conoceremos, y dificilmente podremos superar las condiciones por las que atraviesan nuestras naciones.

Una vez que las Jornadas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica han encontra- un eco positivo en diferentes países latinoamericanos, es nuestro deseo que éstas se conviertan en un instrumento para el diálogo regional. En el futuro, no sólo debemos intercambiar información sobre lo que cada uno de nosotros hacemos en nuestros países, sino buscar aquellas áreas de investigación en las que podamos realizar un esfuerzo común, optimizando nuestros recursos económicos y permitiendo utilizar en mejor forma la capacidad de nuestros investigadores.

Ing. Alfonso Espinosa R.
DECANO, FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

SÍNTESE DE FILTROS PASSA-BAIXA NÃO RECIPROCOS A FASE LINEAR

Humberto Abdalla Junior

Departamento de Engenharia Elétrica
Faculdade de Tecnologia
Universidade de Brasília

RESUMO

Um método simplificado - baseado no conceito de filtro de reflexão - é apresentado para se construir filtros não-recíprocos com condições de amplitude e fase otmimizadas.

INTRODUÇÃO

Considere uma estrutura de duas portas, sem perdas, casada, não-recíproca. Se a função de transferência $S_{21}(p)$ é igual a unidade, a matriz espalhamento de tal estrutura é

$$\begin{vmatrix} 0 & S_{12}(p) \\ 1 & 0 \end{vmatrix} \tag{1}$$

A matriz espalhamento

$$\begin{vmatrix} S \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & e^{j\Psi_1} \\ e^{j\Psi_2} & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\Psi_3} & 0 \end{vmatrix} \tag{2}$$

define o circulador ideal de três portas, fig. 1.

Se a porta (2) é acoplada a uma rêde com coeficiente de reflexão $S_{11}(p)$, a matriz espalhamento entre as portas (1) e (3), exceto por uma mudança de fase constante, torna-se

$$\begin{vmatrix} 0 & S_{11}(p) \\ 1 & 0 \end{vmatrix} \tag{3}$$

Comparando as expressões (1) e (3) constroi se uma rêde na qual $S_{11}(p)$ é igual ao $S_{12}(p)$ original |equação (1)|. Uma estrutura com tal características é conhecida como filtro de reflexão {1}.

Então um filtro não-recíproco pode ser construido por um circulador acoplado a um filtro de reflexão, fig. 2.

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

Neste trabalho foram consideradas funções de transferência de ordem par ($N = 2n$) e a fase não-mínima da forma | 2 |:

$$S_{12}(p) = \frac{E_v \left| D_{n(p)} \; D_{n(-p)} \right|}{D_{n(p)} \; D^*_{n(p)}} \tag{4}$$

com $D_{n(p)} = H^1_{n(p)} + j\, k_1 p\, H^1_{n-1(p)}$

$D^*_{n(p)} = H^1_{n(p)} - j\, k_1 p\, H^1_{n-1(p)}$

$$k_1 = \frac{2_n - 3 - \alpha}{(2n - 1 - \alpha)(2n - 3)} \tag{5}$$

O polinômio $H^1_{n(p)}$ é uma combinação de dois polinômios de Bessel, $H^0_n \equiv P_n$

$$H^1_{n(p)} = H^0_{n-1(p)} + \frac{p^2}{(2n - 3)(2n - 1 - \alpha)} H^0_{n-2(p)} \tag{6}$$

A partir das equações (5) e (6) pode-se escrever

$$D_{n(p)} \, D_{n(-p)} = E_{v(p)} + 2_j \, A_r(\alpha) p^{2r-2} (p^2 + w_0^2) \tag{7}$$

com

$$E_v(p) = H^2_{n(p)} H^{-2}_n(-p) + k_1^2 \, p^2 H^1_{n-1(p)} H^1_{n-1(p)}$$

$$A_{r(\alpha)} = \frac{1}{(2n - 1 - \alpha)^2 \prod_1^{n-1} (2i-1)^2}$$

$$W_0^2 = \alpha(2n - 1 - \alpha)$$

Então

$$S_{12(p)} \, S_{21(p)} = \frac{1}{1 \pm \left| \dfrac{2A_r(\alpha) \; p^{2r-2} (p^2 + w_0^2)^2}{E_{v(p)}} \right|} \tag{8}$$

Esta função de transferência apresenta uma resposta em amplitude ideal $|S_{12}(jw)| = 1$ à frequência $w = w_0$. O comportamento da fase é o mesmo que o de uma de Bessel de grau (n-2) figura 3.

SÍNTESE NÃO RECÍPROCA

A partir de $S_{12(p)}$ calcula-se o coeficiente de reflexão $S_{11(p)}$

$$S_{11(p)} \, S_{11(-p)} = 1 - S_{12(p)} \, S_{12(-p)} \tag{9}$$

$$S_{11(p)} = \frac{\pm 2 \; A_r(\alpha) \; p^{2r-2} \left| p^2 + \alpha(2r-1-\alpha) \right|}{\left| H^1_{r(p)} \right|^2 + k_1^2 p^2 \left| H^1_{r-1(p)} \right|^2} \tag{10}$$

Seja

$$D^1_{r(p)} = \left| E^1_r + O^1_r \right| + j\, k_1 p \left| E^1_{r-1} - O^1_{r-1} \right| \qquad (11)$$

onde E_r : parte par do polinômio
O_r : parte ímpar do polinômio

então

$$E_v \left| D^1_{r(p)} D^1_{r(-p)} \right| = 2k_1 p \left| E^1_r O^1_{r-1} - O^r_r E^1_{r-1} \right| \qquad (12)$$

o que permite escrever

$$S_{11(p)} = \pm 2k_1 p \frac{E^1_r O^1_{r-1} - O^1_r E^1_{r-1}}{D^1_r(p)\, D^{1*}_r(p)} \qquad (13)$$

A realização não-recíproca será efetuada através de um circulador e um filtro de reflexão colocado na porta (2), fig. 2. Este filtro de reflexão terá um $S^r_{12(p)}$ igual ao $S_{11(p)}$ do filtro à fase não-minima,

Seja $\quad S^r_{11(p)} \equiv S_{12(p)} \qquad (14)$

então

$$S^r_{12(p)} = S_{11(p)} = \pm 2k_1 p \frac{E^1_r O^1_{r-1} - O^1_r E^1_{r-1}}{D^1_r(p)\, D^{1*}_r(p)} \qquad (15)$$

O filtro em reflexão sendo simétrico pode-se utilizar o teorema da bisseção(Bartelett) e escrever $S^r_{12}(p)$ da seguinte forma

$$S^r_{12}(p) = \pm \frac{Y_e - Y_o}{(1+Y_e)(1+Y_o)} \quad r \text{ par} \qquad (16)$$

$$S^1_{12}(p) = \pm \frac{Z_e - Z_o}{(1+Z_e)(1+Z_o)} \quad r \text{ ímpar}$$

Isto é possível admitindo-se uma defasagem de $\Pi/2$; donde:

$$Y_e = Y^*_o = \frac{O^1_r + j\, k_1\, p\, O^1_{r-1}}{E^1_r + j\, k_1\, p\, E^1_{r-1}} \quad r \text{ par}$$

$$Z_e = Z^*_o = \frac{O^1_r + j\, k_1\, p\, O^1_{r-1}}{E^1_r + j\, k_1\, p\, E^1_{r-1}} \quad r \text{ ímpar} \qquad (17)$$

então

$$Y_e = \frac{O^1_{r-1}}{E^1_{r-1}} \left| \frac{\dfrac{2r-1-\alpha + jp}{p^2+\alpha(2r-1-\alpha)}\, p + \dfrac{p}{(2r-3-\alpha)} \dfrac{O^o_{r-r}}{O^1_{r-1}}}{\dfrac{2r-1-\alpha+jp}{p^2+\alpha(2r-1-\alpha)}\, p + \dfrac{p}{(2r-3-\alpha)} \dfrac{E^o_{r-2}}{E^1_{r-1}}} \right| \qquad (18)$$

que é da forma:

$$Y_e = y_{11} \frac{Y_L + 1/z_{22}}{Y_L + y_{22}}$$

onde os (y) e (z) são os parametros caracteristicos de um quadripolo sem perdas terminado em uma carga Y_L complexa (fig. 4).

com

$$Y_L = \frac{2r - 1 - \alpha}{p^2+\alpha(2r-1-\alpha)}\, p + \frac{jp^2}{p^2+\alpha(2r-1-\alpha)} \qquad (a) \quad (19)$$

$$y_{11} = \frac{O^1_{r-1}}{E^1_{r-1}} \qquad (b)$$

$$y_{22} = \frac{p}{(2r - 3 - \alpha)} \frac{E^o_{r-2}}{E^1_{r-1}} \qquad (c)$$

$$\frac{1}{z_{22}} = \frac{p}{(2r-3-\alpha)} \frac{O^o_{r-2}}{O^o_{r-1}} \qquad (d)$$

Estas identificações são possíveis caso a expressão

$$y^2_{12} = y_{11} - \frac{y_{11}}{z_{22}} = (-1)^{r-2} A_{r-1}(\alpha) \cdot \frac{p^{2r-2}}{|E^1_{r-1}|^2} \qquad (20)$$

seja um quadrado perfeito.

y_{11} e y_{22} são reatancias e y_{12} é uma função ímpar possuindo as mesmas singularidades que y_{11} e y_{22}, o teorema de Darlington é então aplicável.

A síntese de Y_e pode ser efetuada com a ajuda de $y_{11} = O_{r-1}/E_{r-1}$ que é a admitancia vista da entrada, a saída estando curto-circuitada (fig. 4).

O desenvolvimento em funções contínuas permite representar y_{11} como a admitancia de entrada da rêde mostrada na figura 5.

Para r ímpar o desenvolvimento é identico, utilizando-se os parâmetros impedância.

Nos dois casos, a síntese do quadripolo sem perdas é feita com a ajuda do desenvolvimento de (E^1_{r-1}/O^1_{r-1}), onde a carga é agora formada de um circuito w_o em cascata com um inversor de imitancia generalizado I.I.G. |3|, de imitancia característica $p/(\sqrt{p^2 + w_0^2})$ e de um meio inversor de impedancia (θ = 45º), figura 6. O circuito não recíproco total é mostrado na figura 7. Os dois I.I.G. em cascata com um inversor de impedancia são substituidos por um só I.I.G (Fig. 8).

CONCLUSÃO

O método apresentado permite a construção de filtros não recíprocos à fase não-minima possuindo características de fase e amplitude otimizadas simultaneamente.

O filtro não recíproco tem um comportamento identico a de um circulador em cascata com um filtro de reflexão. Através do teorema de Darlington e a utilização de inversores de imitância generalizados o circuito equivalente da estrutura é sintetizado.

Para o caso onde $\alpha=0$, recai-se na solução de Rhodes |1|, que faz apêlo aos polinômios de Bessel ordinários ($H_r^o(p)$).

REFERÊNCIAS

|1| J.D. Rhodes "Theory of Electrical Filters". John Wiley and Sons Ltd, 1876

|2| H. Abdalla Jr. "Etude et Realisation de Filtres Microondes a Phase Non-minimum". These Docteur Ingenieur, Septembre, 1982

|3| F.S. Atia & J.H. Ibraim: "A Operational Amplifier Network and Its Capabilites", Proc. Prague Summer School on Circuit Theory Prague, 1974.

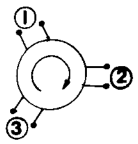


Fig. 1 - Circulador Ideal

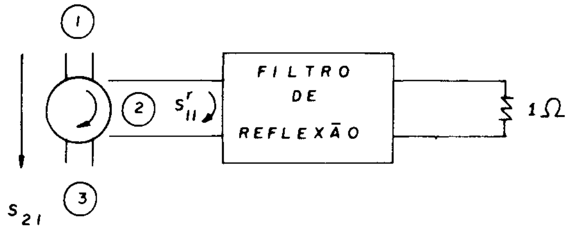


Fig. 2 - Filtro não-recíproco

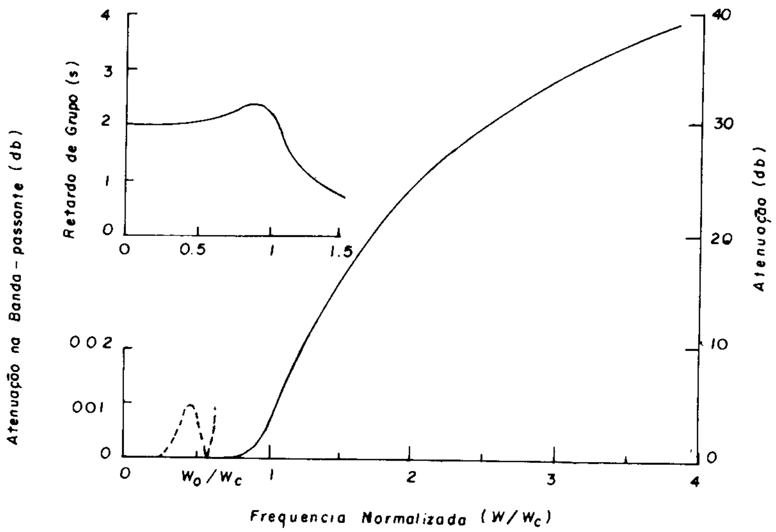


Fig. 3 - Respostas Fase e Amplitude

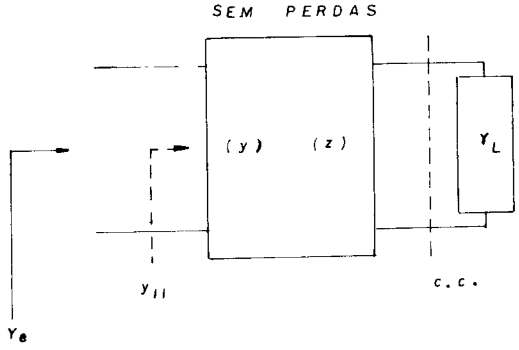


Fig. 4 - Quadripolos sem perdas

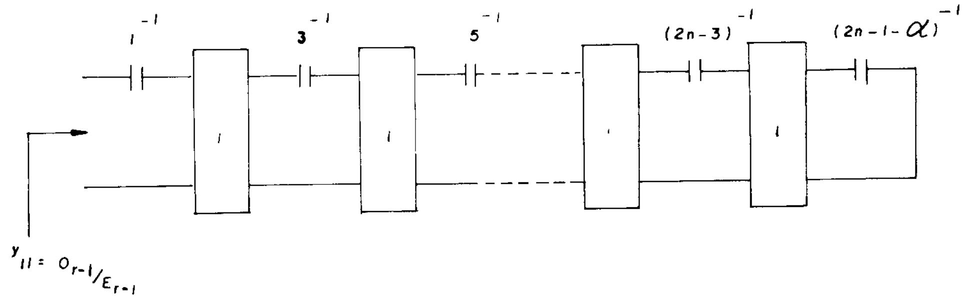


Fig. 5 - Representação da admitância y_{11}

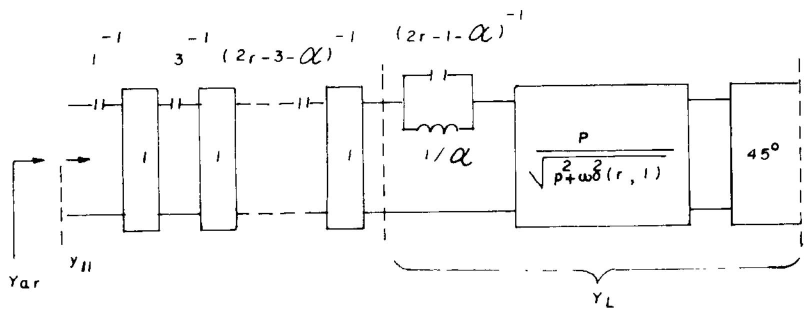


Fig. 6 - Circuito terminado em uma carga função de ω_0

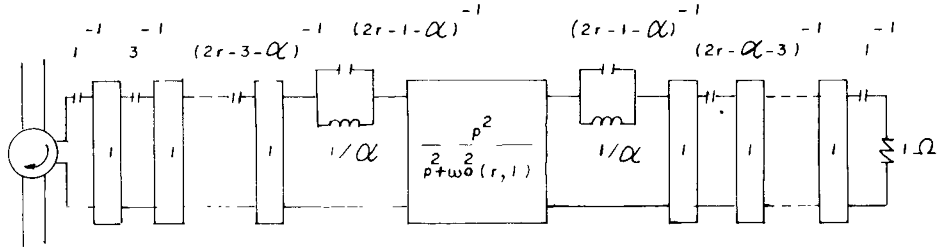


Fig. 7 - Circuito não recíproco total

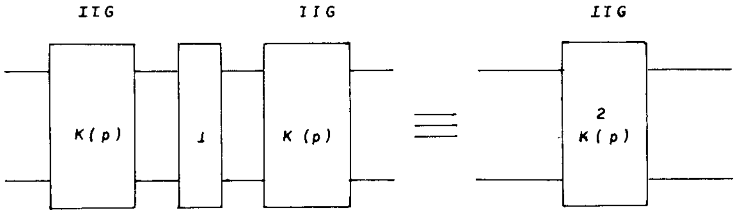


Fig. 8 - Circuito Equivalente de dois IIG em cascata com um Inversor de Impedância

BIOGRAFIA

Humberto Abdalla Junior nasceu em 29 de abril de 1950, na cidade de Recife, Brasil.

Formou-se em Engenharia Elétrica em 1972 pela Universidade Federal de Pernambuco. Obteve o grau de Mestre em Engenharia Elétrica opção Telecomunicações na PUC/RJ no ano de 1976. Foi professor da PUC/RJ de 1976 à 1978. Concluiu seu Doutorado na Universidade de Limoges-França em 1982. Desde de 1983 trabalha na Universidade de Brasília.