

Análise transitória de linhas com terminação reactiva (*)

MANUEL JOSÉ LOPES DA SILVA
Eng.º Elect. (I. S. T.) Doutor EE (UTL)

I — REGIME TRANSITÓRIO DE LINHAS

É evidente a analogia existente entre as funções de sistema das redes passa-todo, e as que correspondem à definição de coeficiente de reflexão nas linhas.

Com efeito, numa linha temos:

$$\rho = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{1 - \frac{Z_o}{Z_L}}{1 + \frac{Z_o}{Z_L}} = \frac{N(p)}{D(p)} \quad (1)$$

As propriedades dos polinómios constituintes da fracção dependem da natureza da própria impedância de carga Z_L .

Se esta for da forma simples

$$R + pL \text{ ou } R + \frac{1}{pC}$$

os polinómios são do primeiro grau, e a função é do tipo passa-todo de 1.ª ordem:

$$F(p) = \frac{1 - pT}{1 + pT} \quad (2)$$

Se a impedância de carga Z for da forma

$$R + pL + \frac{1}{pC}$$

então já somos conduzidos a uma função passa-todo de 2.ª ordem, que origina regimes periódicos.

Assim, a possibilidade de existência de regimes periódicos na resposta transitória está fisicamente associada às possibilidades de ressonância das malhas que constituem a rede.

Entre as expressões (1) e (2) existe uma analogia formal mas não de essência.

Com efeito (2) é uma função de transferência, no sentido de que, operando sobre o sinal de entrada numa rede, fornece o sinal que se obtém à saída; (1), em contrapartida, é um operador que, aplicado ao sinal que se propaga numa linha, reproduz o sinal que se obtém por virtude da reflexão nos terminais de saída.

E todavia se atentarmos bem na estrutura das redes passa-todo que estudaremos a seguir, verificamos que, uma vez que nelas o sinal de entrada pode atingir a saída por dois caminhos distintos, característica geral das redes de fase não mínima, é natural obter aqui uma primeira resposta, a que se junta uma segunda atrasada no tempo, tal como acontece à entrada das linhas.

Nestas condições, toda a análise transitória realizada para as redes passa-todo, se aplica às linhas.

A resposta numa linha aos sinais aplicados à entrada, observada aos terminais da mesma entrada, pode ser prevista através de raciocínios simples para várias condições de terminação reactiva.

Assim, a terminação com uma simples autoindução aproxima-se, para as baixas frequências, das condições de curto-circuito, com um regime de estabelecimento do sinal dependente da constante de tempo do circuito de terminação; e a terminação com um condensador, das condições de circuito aberto, com um regime de estabelecimento também dependente da constante de tempo do circuito.

Uma terminação com circuito LC apresentará comportamento intermédio, com a particularidade de em geral evidenciar um regime periódico.

* Comunicação apresentada no II Simpósio sobre as Teorias de Informação e dos Sistemas, realizado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em Setembro de 1972.

II — PROPRIEDADES DAS REDES PASSA-TODO

As redes passa-todo são utilizadas largamente em sistemas processadores de sinal como compensadores de fase, ou melhor, como correctoras das alterações de forma daquele.

São fundamentalmente redes cuja função de sistema tem amplitude constante, independente da frequência, e característica de fase variável entre 0 e $2k\pi$.

A forma mais simples de tal função é como sabemos:

$$F(p) = \frac{1 - pT}{1 + pT} \quad (3)$$

a que corresponde o diagrama p - z indicado na figura.

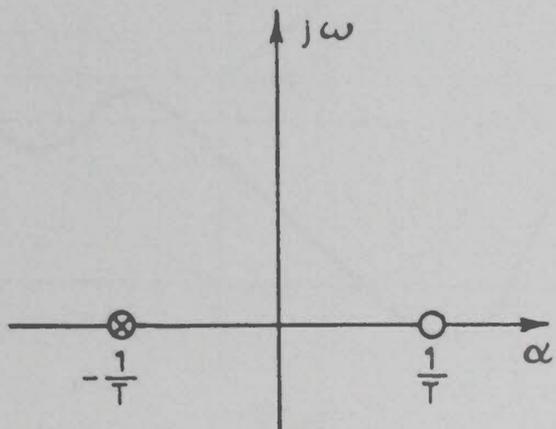


Fig. 1

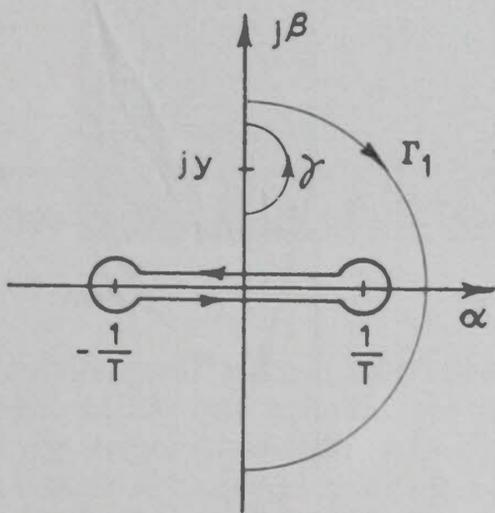


Fig. 2

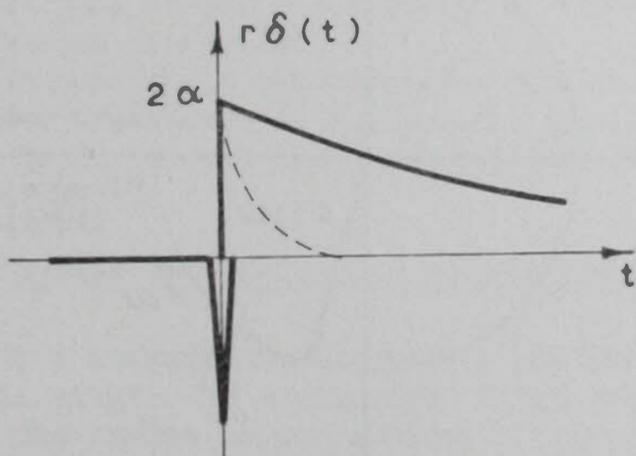


Fig. 3

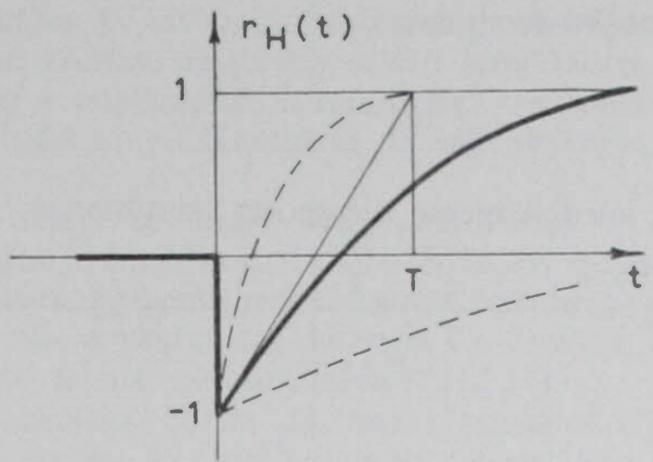


Fig. 4

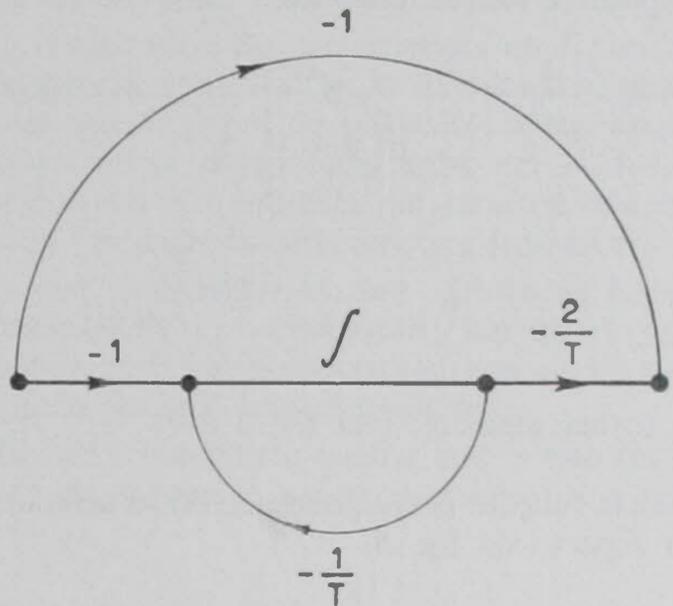


Fig. 5

É manifestamente $|F(j\omega)| = 1$ sobre todo o eixo imaginário. A utilização das relações de dispersão para obter a característica de fase a partir da característica de amplitude torna-se como consequência impossível em tais sistemas, sendo necessário reconsiderar o processo de integração no plano complexo, que lhes deu origem.

Temos assim, para unidades logarítmicas:

$$-j\pi A(y) + \pi B(y) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{A(\beta) d\beta}{\beta - y} + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{B(\beta) d\beta}{\beta - y} - j\pi \log \frac{ jy - \frac{1}{T} }{ yj + \frac{1}{T} } \quad (4)$$

A contribuição do integral ao longo do lacete reduz-se a metade do seu valor para caminhos de integração que envolvam apenas um dos seus dois pontos de ramificação.

Nestas condições obtém-se:

$$\begin{cases} A(y) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{B(\beta) d\beta}{\beta - y} \\ B(y) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{A(\beta) d\beta}{\beta - y} - j \log \frac{ jy - \frac{1}{T} }{ jy + \frac{1}{T} } \end{cases} \quad (5)$$

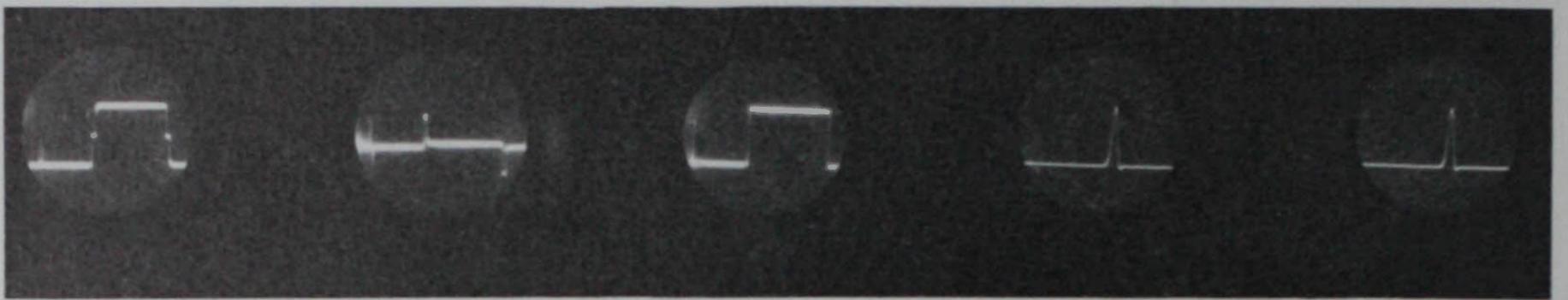
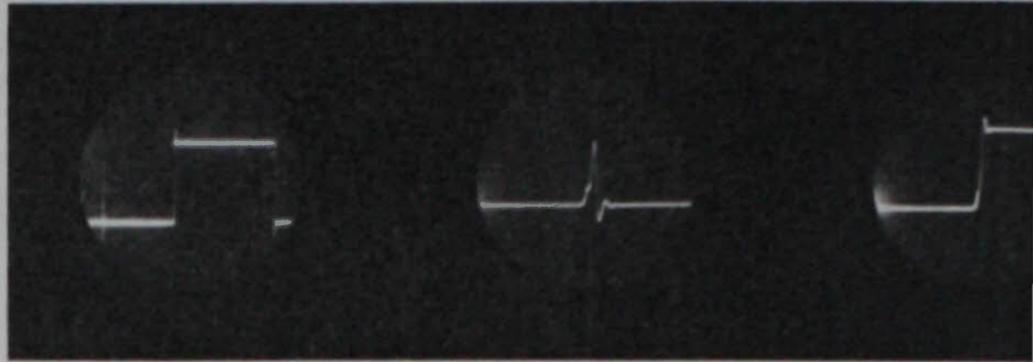
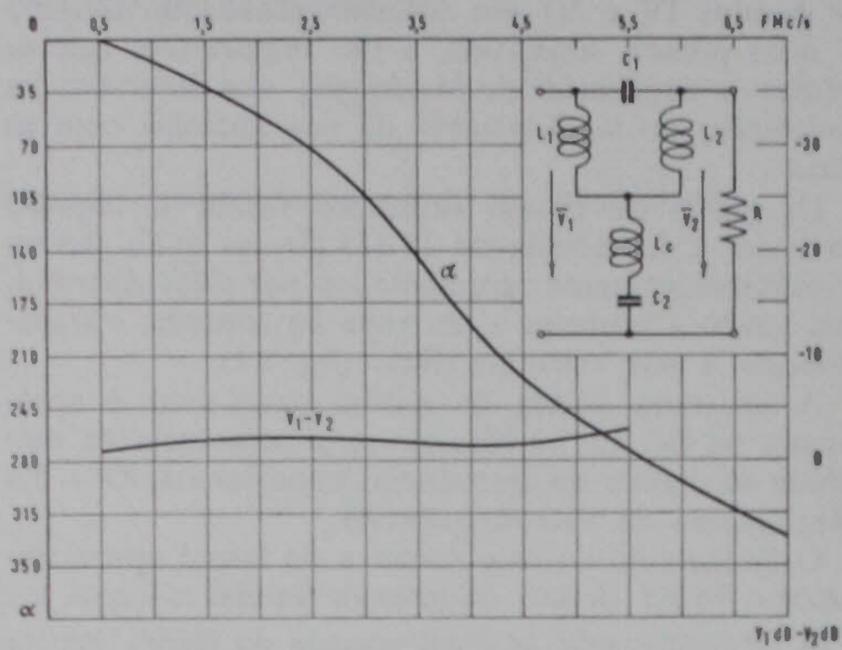


Fig. 12

Terminação resistiva — CC-CA

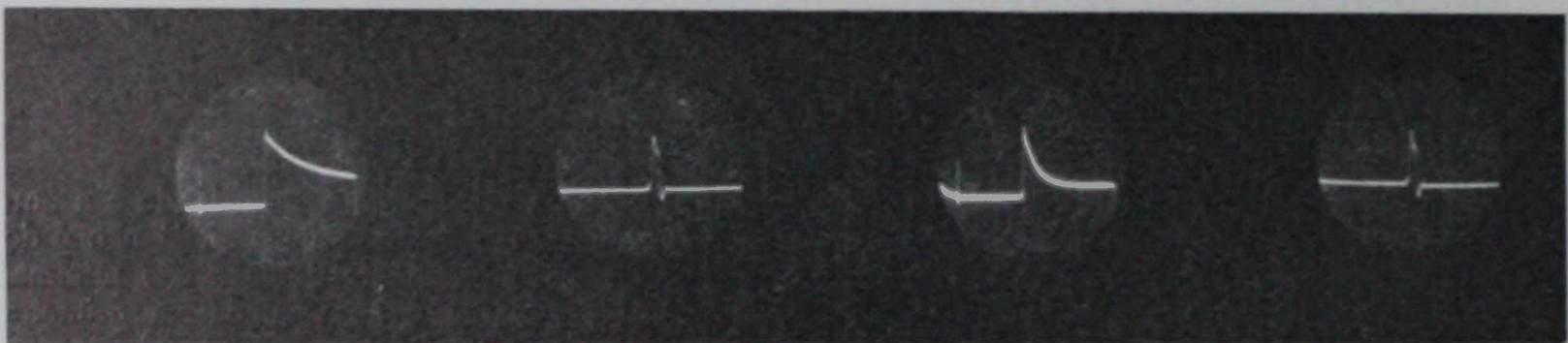
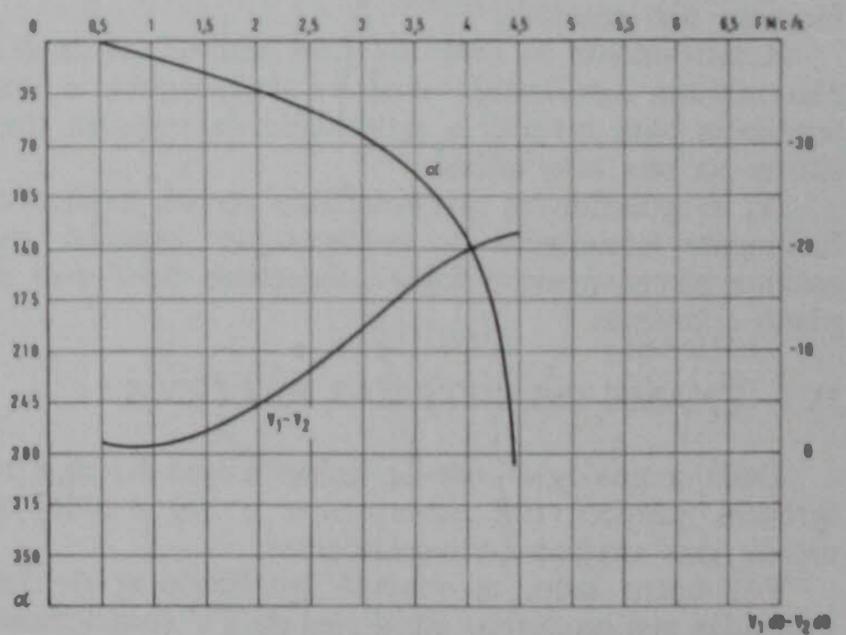


Fig. 13

Terminação com indutância «L»



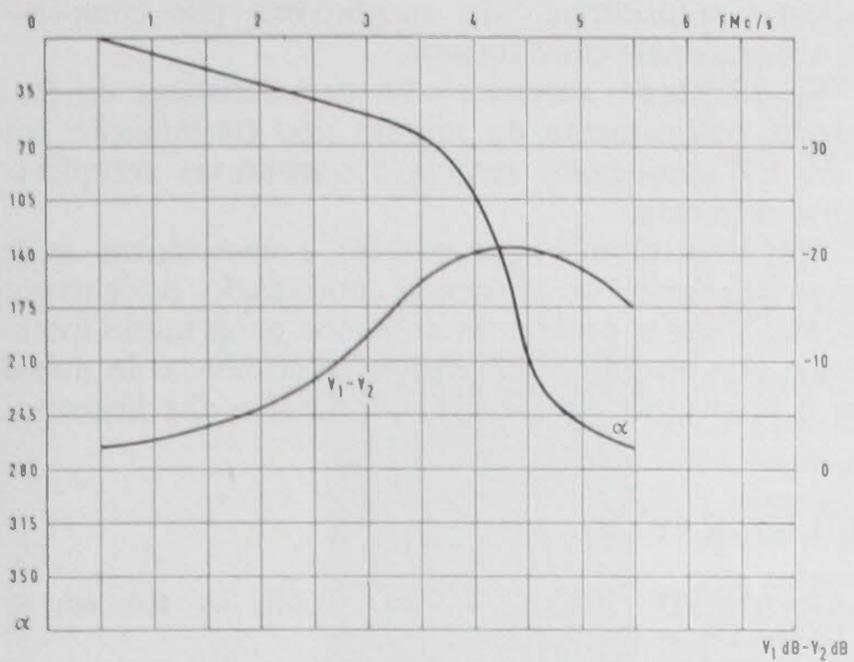


Fig. 14

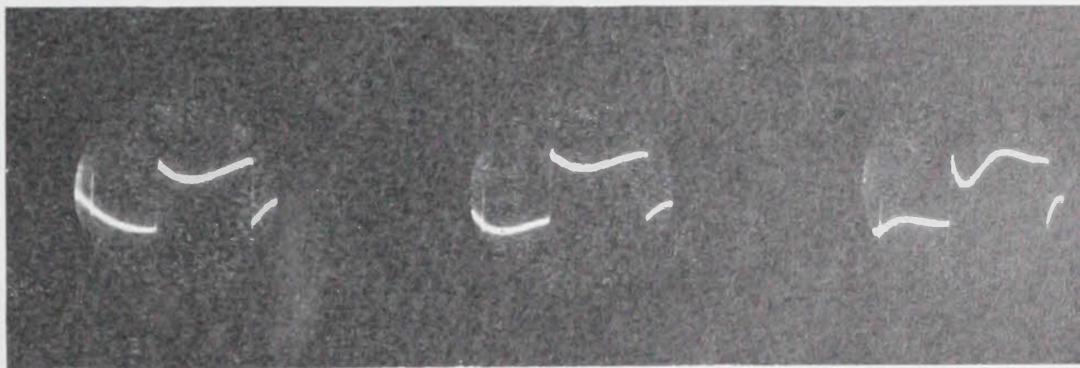
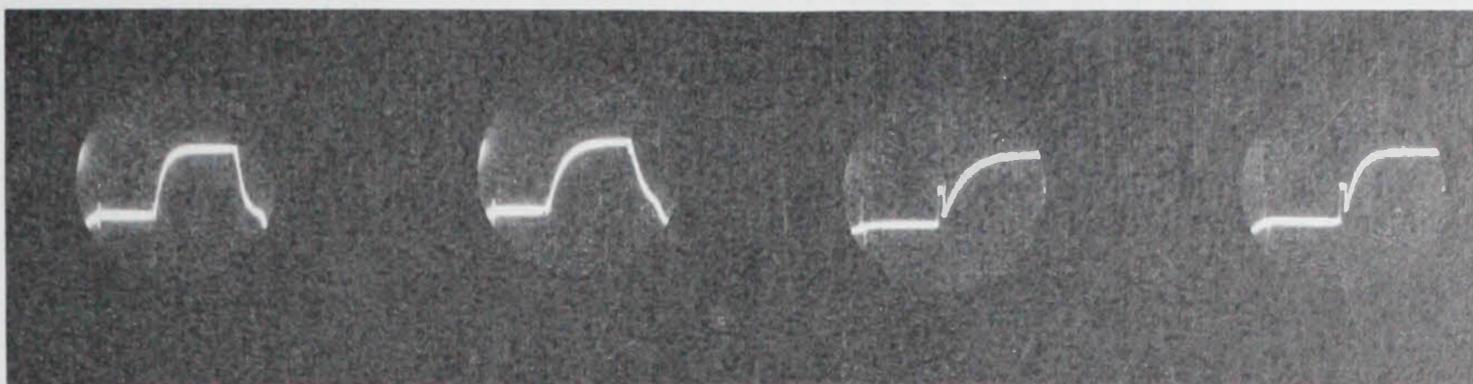
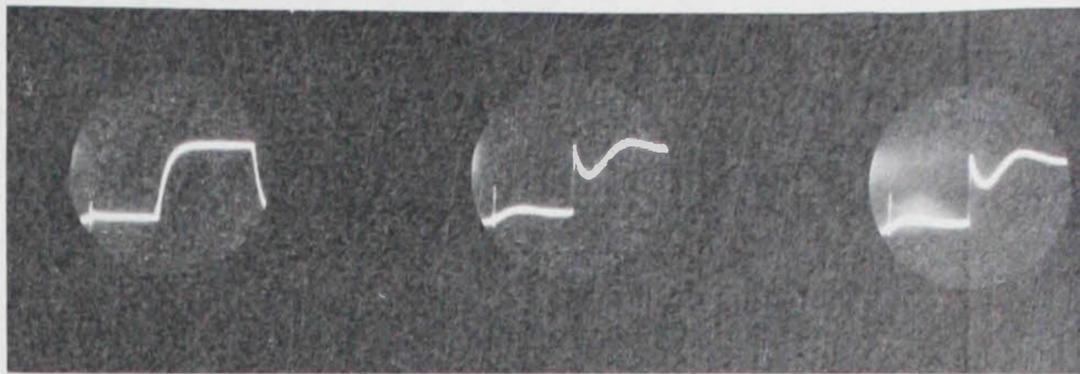


Fig. 14 — Terminação com capacidade «C»

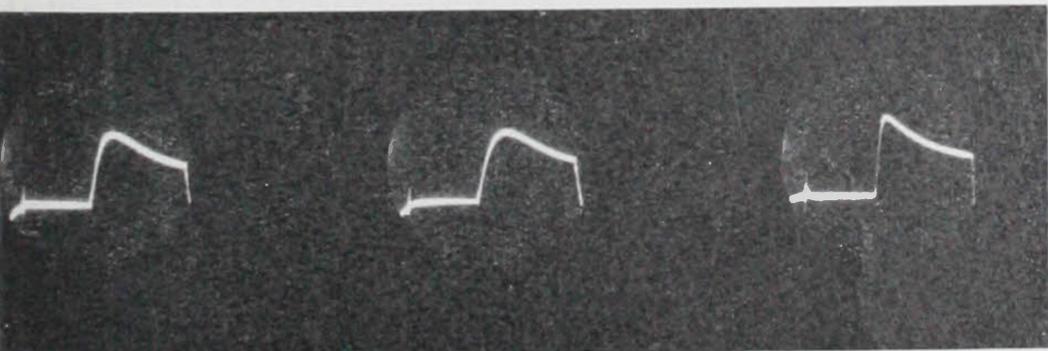
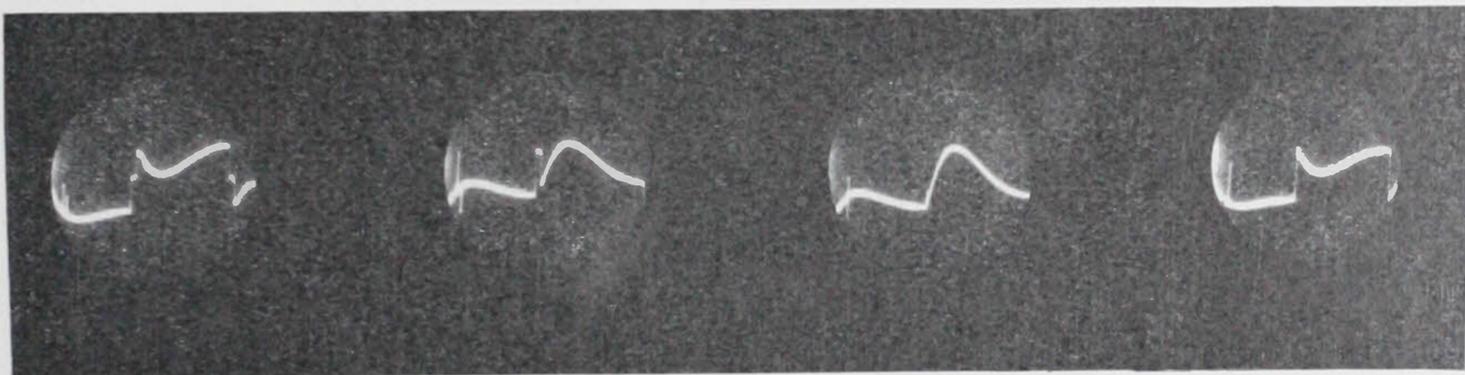
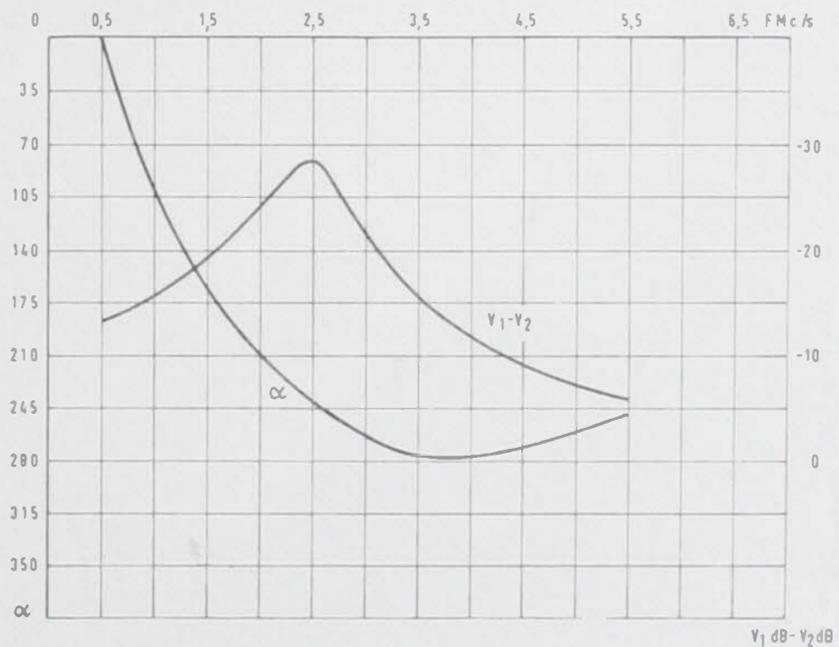


Fig. 15

Terminação com circuito «LC»



V₁ dB - V₂ dB

tituindo o respectivo condensador por um circuito LC paralelo.

A característica de amplitude apresenta agora um mínimo dentro da banda em estudo, característico duma ressonância, a característica de fase tem a concavidade invertida, e a resposta temporal, apresentada na primeira série de oscilogramas, evidencia um regime periódico.

A sua analogia com a resposta duma linha terminada com uma associação LC é também por demais evidente.

Em todos os casos estudados se verifica que o atraso entre o sinal directo e a sua resposta no tempo é maior nas linhas que nos circuitos, para grandes comprimentos de linha.

Para pequenos comprimentos de linha a analogia é completa.

V — CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como era de prever desde o início deste trabalho, os critérios normalmente aplicados para articular logicamente as características de amplitude e fase e as

respostas transitórias, são inaplicáveis por completo aos sistemas nele considerados.

Na realidade, sistemas com características de frequência praticamente do mesmo tipo (terminação em L ou C) apresentam respostas transitórias completamente diferentes.

São estas últimas que passam a caracterizar mais apropriadamente os sistemas, conduzindo no entanto algumas vezes a problemas delicados no domínio matemático que apenas confirmam a coincidência de métodos e finalidade das Teorias do Sinal e dos Sistemas.

BIBLIOGRAFIA

- ADVANCED COMPLEX CALCULOS; by Kenneth S. Miller. Dover Edition, 1970.
- EINFÜHRUNG IN DIE MODERNE SYSTEMTHEORIE, von H. Schwarz, Friedr. Vieweg, Braunschweig, 1969.
- «ETUDE MATHEMATIQUE DES CIRCUITS DE L'ELECTRONIQUE, par J. Ortusi, Ed. Masson et Cie, Paris, 1967.
- «RANDOM WAVELETS AND CYBERNETIC SYSTEMS», by Enders A. Robinson, Ed. Charles Criffin and Cop. Ltd., London, 1962. ■

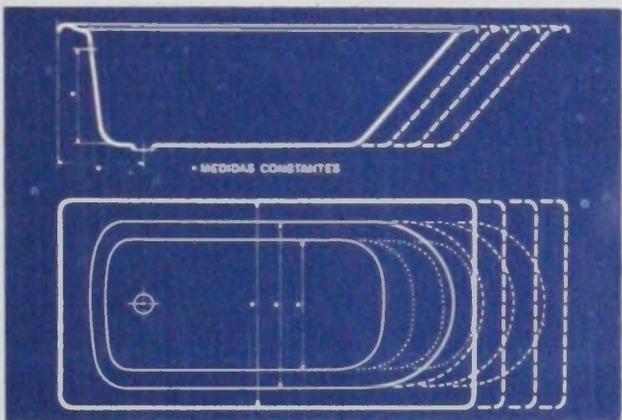
banheiras por medida !

do projecto à construção,
do equipamento à decoração,
os técnicos procuram
a solução de múltiplos problemas,
desde o espaço disponível
aos pormenores realistas de montagem
do equipamento sanitário.

banheiras **OLIVA** modelo **ALGARVE**

as nossas banheiras reduzem um mundo de cálculos e variadas complicações à simplicidade única de uma **solução constante (*)** em qualquer medida.

PROMONOX



solução constante (*)
qualquer que seja o comprimento
da banheira ALGARVE que utilize, não se preocupe
com a localização das canalizações para o esgoto
e o troplan, porque é sempre igual; nem com
a largura e altura da banheira, porque são
constantes, qualquer que seja a sua medida.

Peça o nosso catálogo de banheiras

OLIVA
sentido exacto
de preferência técnica

OLIVA, Indústrias Metalúrgicas, S. A. R. L.
S. João da Madeira - Portugal



a invisível comodidade

instalados num bom hotel,
rodeados do conforto desejado em qualquer casa,
chegamos a esquecer a que é devida
a invisível comodidade que nos cerca ...
arquitectos e engenheiros, construtores e
técnicos em geral, constituídos em equipas
especializadas altamente responsáveis,
optam por soluções estéticas mais económicas
e funcionais.
Sólidas razões os levaram a escolher as
nossas banheiras para equipar, entre
muitas outras, as casas de banho dos 400
luxuosos quartos do Hotel Sheraton em Lisboa.

banheiras **OLIVA** modelo **ESTORIL**

PROVINOX



OLIVA
sentido exacto
de preferência técnica

OLIVA, Indústrias Metalúrgicas, S. A. R. L.
S. João da Madeira - Portugal