

Identificação de sistemas em TV

MANUEL JOSÉ LOPES DA SILVA

Professor Doutor Engenheiro Electrotécnico (UTL)

I — INTRODUÇÃO

1 — A moderna disciplina da identificação de sistemas, constituindo um corpo bem individualizado dentro da teoria dos sistemas, resultou das necessidades crescentes de sistematização, no campo da normalização de acções, postas pelo ajuste ou controlo de sistemas.

Só é possível de facto optimizar um sistema, se se dominarem perfeitamente as suas respostas globais, ou as respostas parciais dos subsistemas que o integram.

Em princípio, pretende-se conhecer, a priori, a resposta do sistema a qualquer excitação (ou entrada), o que conduz, como sabemos, ao estudo das respostas do sistema a excitações elementares, obtendo-se a resposta à excitação qualquer através duma convolução ou dum produto espectral.

2 — A escolha dos domínios de estudo dos problemas (temporal ou frequencial) não resultou da simples evolução da físico-matemática. Toda a nossa percepção do universo e a subsequente elaboração intelectual, é feita na base duma dicotomia dos sentidos, uma vez que alguns deles têm capacidade exploratória no domínio frequencial, outros no domínio temporal.

É certo que a nível intelectual o mecanismo de associação das percepções conduz a uma integração dos dados dos sentidos, e a dicotomia original tende a ser compensada.

Mas é sempre possível, mesmo a um nível de elaboração especulativa muito elevado, tender sempre a raciocinar ou em termos de frequência, ou em termos de tempo.

De resto a própria noção de complementaridade,

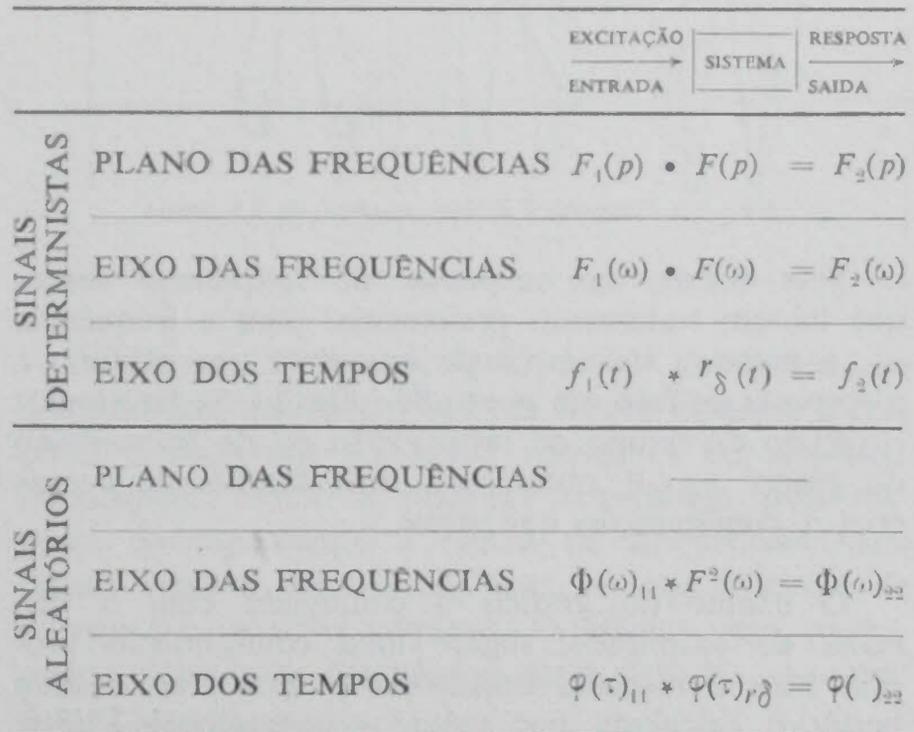
introduzida por Heisenberg na Mecânica Quântica, já era conhecida na teoria da comunicação muito anteriormente.

3 — A utilização do método das variáveis de estado tem tido recentemente bastante divulgação correspondendo à generalização do uso dos computadores no cálculo científico.

Para o tipo de problemas que nos propomos abordar neste trabalho tal método não apresenta interesse de maior, pelo que não sentimos necessidade de lhe dar qualquer desenvolvimento. Não quereríamos todavia que num trabalho sobre identificação de sistemas, se não encontrasse ao menos uma pequena referência a um tal método.

4 — Gostaríamos de propôr, antes de prosseguir, uma rápida sistematização dos métodos utilizados no estudo de sistemas.

Vimos que é possível tal estudo nos dois domínios, temporal e frequencial; e além disso, convém não esquecer-lo, as ferramentas físico-matemáticas utilizadas para sinais certos ou sinais aleatórios são diferentes.



Vemos como a operação no plano das frequências não é utilizada para os sinais aleatórios, o que tem a sua justificação dentro da Teoria do Integral de Laplace, e no quadro dos Métodos Estatísticos em que se estudam tais sinais.

Na realidade não tem interesse especial o conhecimento da FORMA dum determinado sinal aleatório, ou seja uma das realizações possíveis do processo estocástico que o constitui.

É precisamente porque a Teoria do Integral de Laplace, intimamente associada ao Cálculo Operatório e à Teoria das Funções de Variável complexa, é ela a Teoria da Forma do sinal (no tempo), que discordamos das propostas de alguns autores no sentido de a considerar da família dos Métodos Espectrais.

Há de facto um parentesco muito mais íntimo entre os métodos operacionais e os métodos de integração no tempo (integral de sobreposição ou de Duhamel), do que entre aqueles e os métodos espectrais.

II — TEORIA DAS RESPOSTAS TRANSITÓRIAS

1 — Ao abordar a transmissão de sinais em sistemas, é necessário familiarizar-se rapidamente com a representação vectorial *p.z.* e com a sua articulação com as respostas de frequência e transitória.

Assim tomando como exemplo uma função de transferência elementar da 2.ª ordem, temos:

$$F(p) = \frac{1}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}$$

com dois polos $p_{1,2} = \omega_0 [-\xi \pm j\sqrt{1-\xi^2}]$ (2)

em que $T = \frac{1}{\omega_0} e \xi$ é o coeficiente de amortecimento.

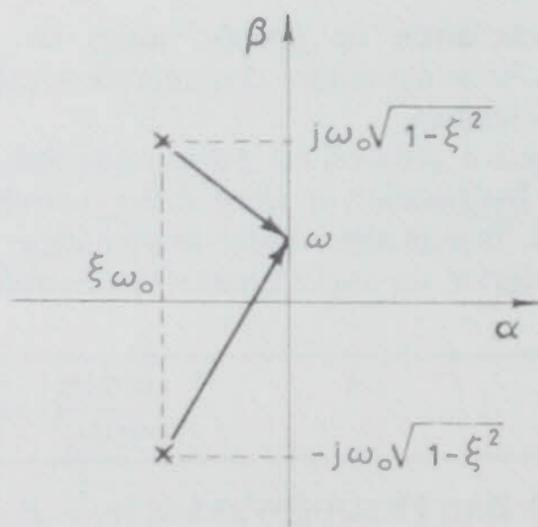


Fig. 1 — Diagrama P-Z dum sistema de 2.ª ordem

Pela forma das respostas de frequência vemos que há um tratamento preferencial para a frequência ω_0 ; a resposta de amplitude apresenta um máximo e a resposta de fase um ponto de inflexão. Se fizéssemos o estudo do tempo de propagação ou de transmissão de grupo $\tau_g(\omega)$ obteríamos uma família de curvas com a configuração que segue.

O exame do gráfico 3 conjugado com a resposta de amplitude, sugere uma configuração própria para a resposta transitória (resposta ao escalão unitário) calculada por métodos operacionais. Vê-se

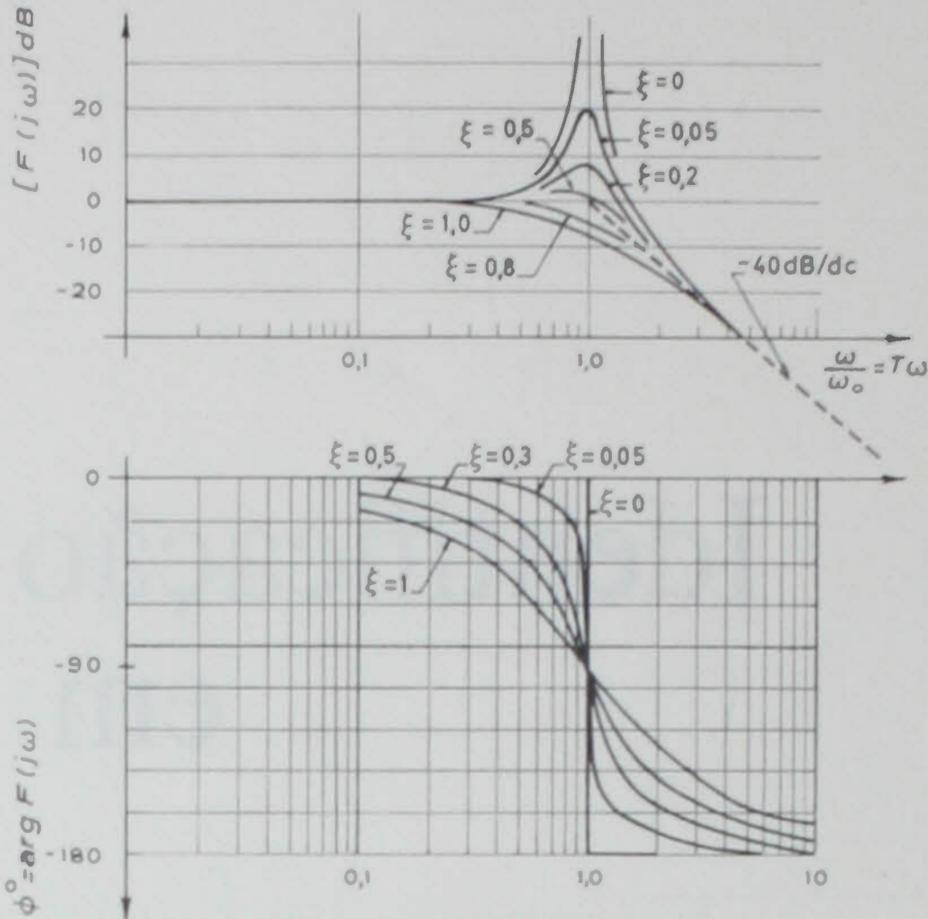


Fig. 2 — Respostas de frequência dum sistema de 2.ª ordem

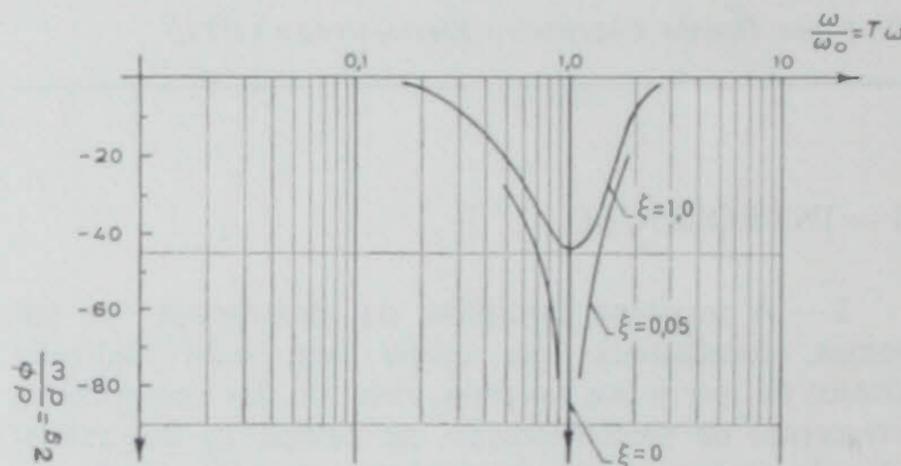


Fig. 3 — Tempo de propagação de grupo dum sistema de 2.ª ordem

de facto que a amplitude correspondente à frequência $\omega/\omega_0 = 1$, $\omega = \omega_0$, é fortemente favorecida, devendo dominar completamente na resposta transitória, para coeficientes de amortecimento ξ pequenos. Por outro lado, esta mesma risca espectral sofre um forte avanço, por estar situada numa fatia do espectro de fase onde a derivada é máxima. Sobrepor-se-á de facto às outras componentes que se propagam menos rapidamente, e que constituem a componente continua do sinal à saída do sistema.

Para determinar a resposta transitória há que aplicar a transformação inversa de Laplace à expressão:

$$F_2(p) = \frac{1/T^2}{p \left[p^2 + 2 \frac{\xi}{T} p + \frac{1}{T^2} \right]} \quad (3)$$

o que conduz a:

$$s_2(t) = 1 + \frac{e^{-\omega_0 \xi t'}}{\sqrt{1-\xi^2}} \text{sen}(\omega_0 \sqrt{1-\xi^2} t' - \varphi) = 1 + \frac{e^{-\xi t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \text{sen}[\sqrt{1-\xi^2} t - \Phi] \quad (4)$$

$$\text{com } \Phi = \text{arc tang } \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi},$$

e utilizando um tempo normalizado $t = \omega_0 t'$

Esta função é representada a seguir para os valores de amortecimento de $\xi = 0/0,2/1$.

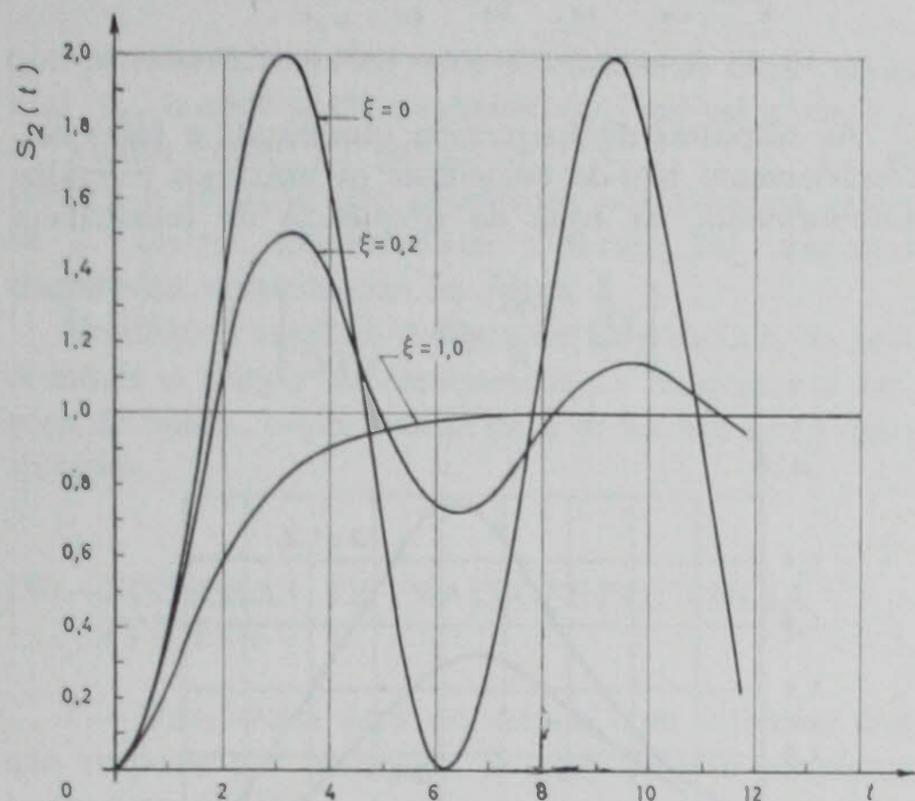


Fig. 4 — Resposta transitória dum sistema de 2.ª ordem

Nota-se claramente na resposta transitória, que o avanço da frequência privilegiada é maior para $\xi = 0$ do que para $\xi = 0,2$, e maior ainda que para $\xi = 1,0$.

Todo este comportamento das respostas (transitória e de frequência) é perfeitamente explicável através do diagrama vectorial p-z. De facto, quando o amortecimento se anula $\xi = 0$, obtêm-se dois pólos imaginários puros ($p_{1,2} = \pm jT$), sendo a transição da fase feita bruscamente de $0^\circ \rightarrow 180^\circ$. A resposta transitória neste caso reduz-se a:

$$s_2(t) = \frac{\omega_0^2}{(-j\omega_0)(j\omega_0)} + \frac{\omega_0^2 e^{j\omega_0 t}}{j\omega_0(2j\omega_0)} + \frac{\omega_0^2 e^{-j\omega_0 t}}{-j\omega_0(-2j\omega_0)} = 1 - \cos \omega_0 t' = 1 - \cos \omega_0 t \quad (5)$$

e o tempo de propagação de grupo a uma risca negativa localizada em $\omega = \omega_0$.

Os métodos operacionais apoiados nos diagramas p-z explicam deste modo, apropriadamente, as relações existentes entre as respostas de frequência (amplitude e fase) e a resposta temporal (transitória).

2 — Uma via diferente para a abordagem destes problemas é todavia constituída pelos métodos da índole espectral baseados no Integral de Fourier, e desenvolvidos principalmente por Küpfmüller, e mais recentemente por Papoulis.

Para determinar a influência duma forte distorsão

de fase, substitui-se a curva real por uma série de troços rectilíneos, dentro dos quais o tempo de propagação é constante:

$$\tau g = \frac{d\phi}{d\omega} = t_n \quad (\text{para } \omega = \omega_n) \quad (6)$$

Neste caso, em cada troço:

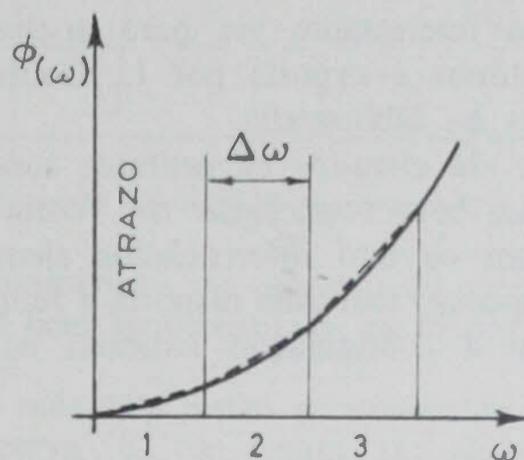


Fig. 5 — Resposta de fase com forte distorsão

A resposta impulsional global, será a soma das respostas impulsionais dos sistemas passa banda ideais, constituídos por cada troço. Cada uma destas terá a forma:

$$s_{2n}(t) = \frac{\Delta\omega}{\pi} \cdot s_i \left[\frac{\Delta\omega}{2} (t - t_n) \right] \cdot \cos \left[\omega_n (t - t_n) - K_n \right] \quad (8)$$

sendo

$$s_2(t) = \sum s_{2n}(t) \quad \text{e} \quad s_i(x) = \frac{\text{sen } x}{x} \quad (9)$$

A imagem geométrica desta função está representada na figura 6.

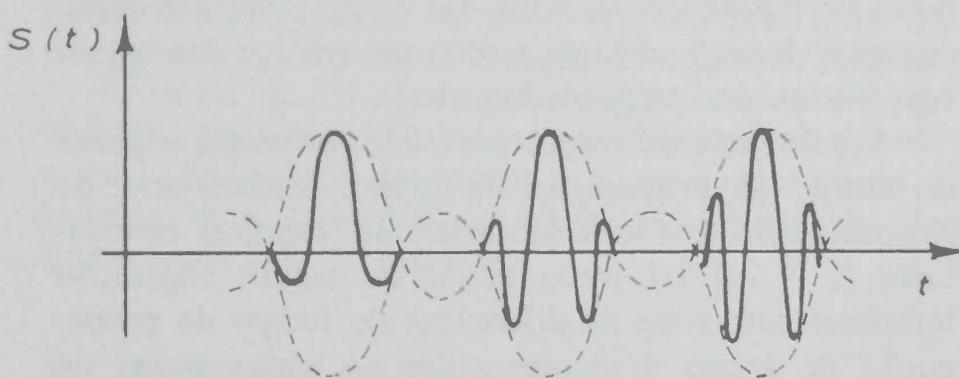


Fig. 6 — Resposta impulsional dum sistema com forte distorsão de fase

Verifica-se facilmente que, devido à divisão do domínio frequencial da fase em troços lineares, a resposta é composta por trens sucessivos de respostas impulsionais, sendo a primeira constituída pela resposta correspondente à banda de frequências mais baixas, onde a derivada da fase, ou seja o tempo de propagação, é mais pequeno. O último trem corresponde à banda de frequências mais elevada, ou tempo de propagação maior.

Se a derivada da fase $\tau_g = \frac{d\varphi}{d\omega} < 0$ fosse negativa, a ordem dos trens seria a inversa, com os trens de mais alta frequência correspondendo aos menores tempos de atraso, e no caso dum confinamento de τ_g (negativo) a uma pequena faixa de frequências, a resposta transitória global seria precedida duma oscilação correspondente à frequência central dessa faixa.

3— Outra interessante via para analisar as respostas transitórias é exposta por L. Goussot na sua obra indicada na bibliografia.

A análise de circuitos elementares conduz a respostas típicas, bem conhecidas na Teoria do Sinal.

Assim, um circuito diferenciador elementar (um passa alto especial) tem uma resposta à função escalão unidade com a configuração indicada na figura 7, em I.

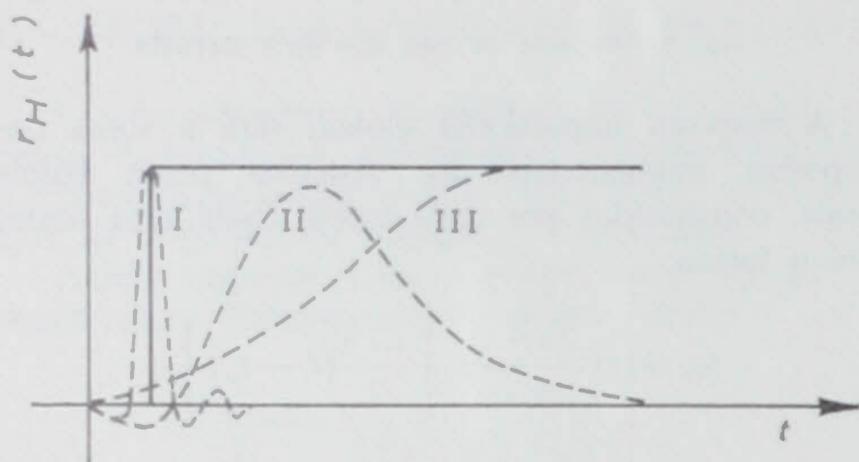


Fig. 7 — Contribuição de respostas transitórias elementares

Um circuito passa banda, na zona das médias frequências fornece uma resposta do tipo de designado por II; e um circuito integrador (passa baixo especial) fornece uma resposta do tipo III.

Deste modo, a obtenção duma resposta em que a testa abrupta do escalão de ensaio aparece bem recortada, embora com algumas oscilações de altas frequências traduz um bom comportamento da resposta de frequência na zona das altas; e um arredondamento de testa abrupta traduz um reforço das baixas frequências em prejuízo das altas.

A influência da resposta de fase, estudada a partir do tempo de propagação de grupo, traduzir-se-á do mesmo modo que anteriormente: as respostas elementares I, II ou III terão maior ou menor separação temporal consoante as diferenças de tempo de propagação de grupo existentes entre as várias zonas de $\tau_g(\omega)$.

III — SISTEMAS DE VIDEOFREQUÊNCIA

Examinemos agora alguns sistemas práticos. Um exemplo típico na área das videofrequências é o dos amplificadores de videofrequência.

Podemos observar na figura 8 duas respostas transitórias típicas dum tal amplificador, com compensação em derivação ($Q = 1$ e $1,2$), segundo Kallmann, Spencer e Singer.

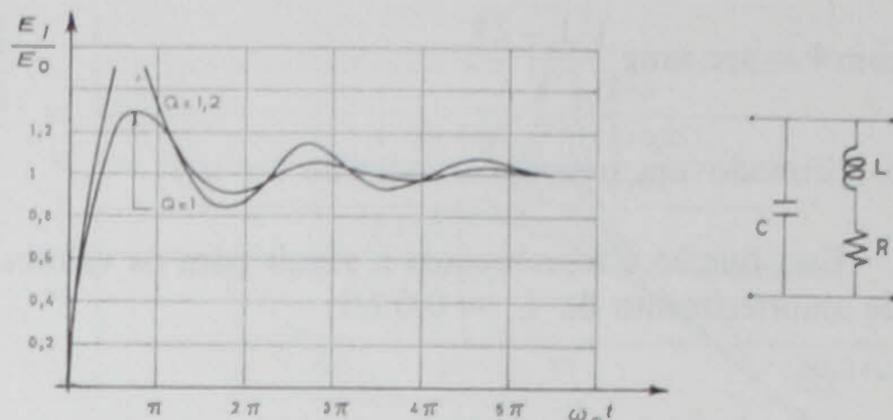


Fig. 8 — Resposta transitória dum ampli de videofrequência

As respostas de frequência (amplitude e fase) necessariamente não-de evidenciar os máximos referidos anteriormente, na zona da frequência de ressonância

$$\left[Q = \frac{\omega_0 L}{R}, \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \right]$$

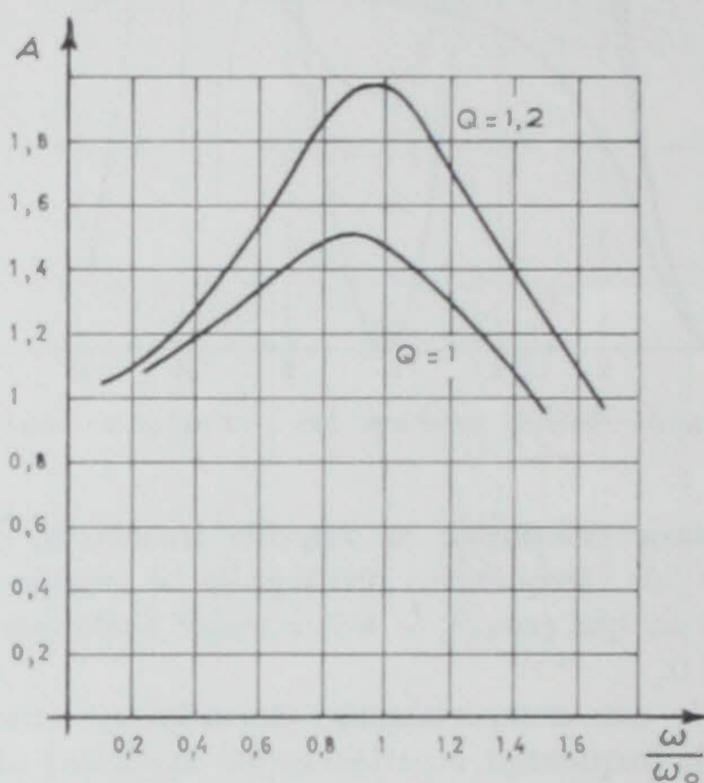


Fig. 9 — Resposta de amplitude dum ampli de videofrequência

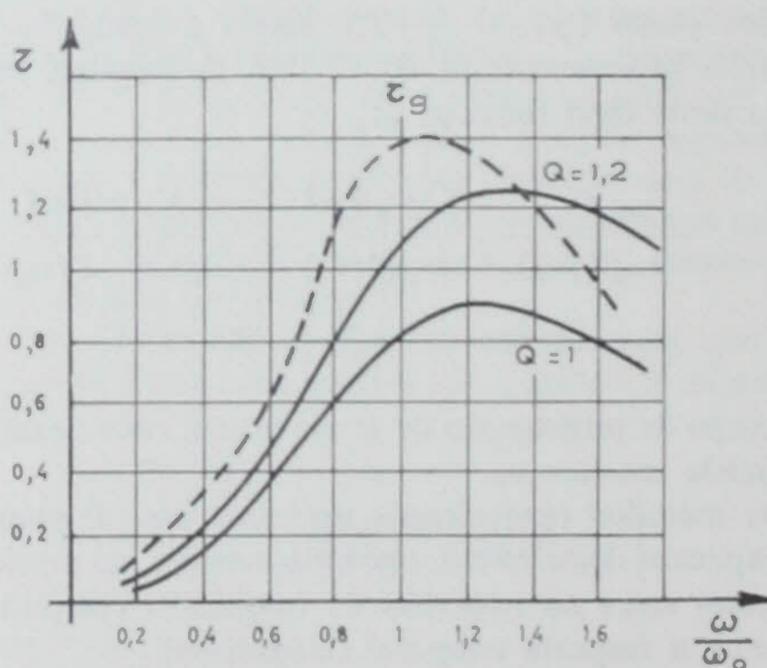


Fig. 10 — Tempos de propagação dum ampli de videofrequência

Representamos na figura 10 o tempo de atraso τ_g relacionando com o ângulo de fase através da expressão:

$$\varphi = \omega \tau \rightarrow \tau = \frac{\varphi}{\omega} \quad (10)$$

Para $Q = 1,2$ representamos também, a tracejado, o tempo de transmissão (ou de propagação) de grupo, τ_g .

É fácil relacionar graficamente as duas representações.

Com efeito, derivando a expressão (10) obtém-se:

$$\tau_g = \omega \frac{d\tau}{d\omega} + \tau \quad (11)$$

que permite determinar onde se cortam as duas curvas τ e τ_g , e onde se dá o máximo (e o seu valor) de τ_g .

Vemos como, ao passar de $Q = 1 \rightarrow 1,2$ se verifica a situação que estudámos nos sistemas gerais de 2.^a ordem, explicando-se a forma das respostas transitórias apresentadas na figura 8.

Verifica-se também a regra de Küpfmüller, ou seja diminuir o tempo de crescimento ao aumentar a largura de banda, o que sucede para os valores de Q mais elevados.

IV — SISTEMAS DE RADIOFREQUÊNCIA (VÍDEO)

1 — Uma outra área de estudo com interesse é a que respeita aos emissores de radiodifusão televisual (emissores de TV).

Sabemos que tais sistemas trabalham com banda lateral residual, ou seja, com supressão parcial duma das bandas laterais do espectro de RF.

Em tais condições surgem determinadas configurações na curva do tempo de transmissão de grupo, acarretando comportamentos típicos no domínio temporal, que poderemos considerar insólitos relativamente aos comportamentos normais em videofrequência. (Fig. 11 e 12)

Todavia a análise global que temos vindo a fazer permite-nos explicar com segurança tal comportamento aparentemente anómalo.

O facto da grande oscilação com que se inicia normalmente a resposta transitória, preceder praticamente o início da resposta temporal global, significa, apenas, que o avanço da frequência privilegiada é tal que aparece como isolada à frente da restante

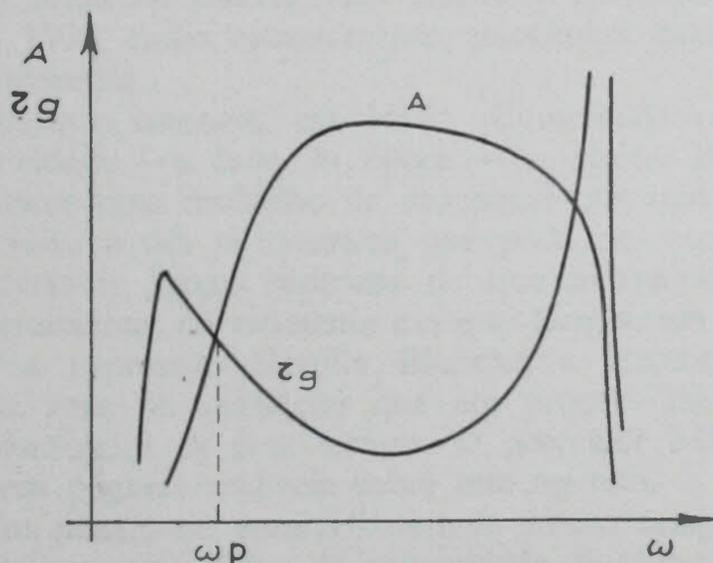


Fig. 11 — Respostas de frequência dum sistema de radiofrequência (VIDEO)

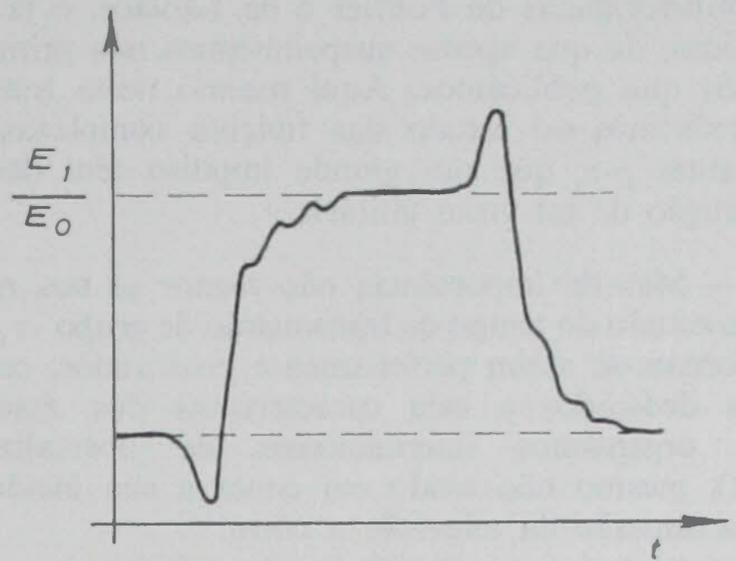


Fig. 12 — Resposta transitória do sistema referido na Fig. 11

banda de frequências do espectro do sinal — situação aliás muito bem esquematizada na figura 6, para um caso inverso.

Os dois máximos muito pronunciados que se verificam na curva τ_g da figura 11, são devidos aos cortes abruptos do filtro de banda residual dos emissores de TV, numa extremidade e na outra do espectro radiado, de acordo com as normas usuais.

Dado que os cortes de filtragem são muito abruptos e sobretudo o das altas frequências, os máximos resultantes para o tempo de propagação são superiores aos que se encontram nas simples videofrequências.

2 — Só o segundo máximo de τ_g , o situado na zona das frequências elevadas do espectro, explica a configuração temporal que examinamos.

De facto, curvas com dois máximos no tempo de propagação de grupo são características também de sistemas de segunda ordem aperiódicos:

$$F(p) = \frac{1}{T^2 p^2 + 2 T \zeta p + 1} \quad (12)$$

com raízes p 1,2 reais, que no entanto não conduzem a sobreoscilações nas respostas transitórias.

3 — O comportamento anómalo das respostas temporais nestes sistemas verificar-se-á sempre, quer na recepção se use o sistema Nyquist ou o sistema Ruston.

Sabemos que o sistema mais generalizado é o de Nyquist, embora o processo Ruston pudesse conduzir a uma diminuição das distorções que temos vindo a estudar, se a correcção do tempo de propagação de grupo fosse feita no receptor.

V — CONSIDERAÇÕES FINAIS

1 — O tratamento sintético que acabámos de fazer da identificação em sistemas de vídeo e radiofrequência, na sua clareza e simplicidade, só é possível no quadro mais amplo da identificação de sistemas quaisquer. Na sua forma actual esta disciplina interessa sobretudo à Teoria do Comando Automático e à Teoria de Transmissão.

2 — Em trabalhos anteriores temos dado alguma contribuição para simplificar a articulação entre os domínios frequencial e temporal. Uma visão unitária

das transformadas de Fourier e de Laplace, é já hoje um facto, de que apenas suspeitávamos nos primeiros estudos que publicámos. Aqui mesmo neste trabalho nos referimos ao estudo das funções complexas dos diagramas p - z , que tão grande impulso têm dado à construção de tal visão unitária.

3 — Mas de importância não menor se nos revela hoje o estudo do tempo de transmissão de grupo $\tau_g(\omega)$.

Tornam-se assim perfeitamente justificados, os cuidados dedicados a esta característica dos sistemas, pelos organismos internacionais de normalização (CCIR), mesmo não tendo em conta a sua incidência na transmissão da televisão a côres.

Em posterior oportunidade nos referiremos a este último aspecto da técnica da TV.

BIBLIOGRAFIA

- IDENTIFICATION OF SYSTEMS by Daniel Graupe, Ed. Van Nostrand Reinhold Company, New York, London, 1972
- TELEVISION VIDEO TRANSMISSION MEASUREMENTS by E. Weaver, Ed. Marconi Instruments Limited, Hertfordshire, 1973
- FERNSEHTECHNIK von Richard Theile, Springer-Verlag, 1973
- LA TELEVISION MONOCHROME ET EN COULEUR par Louis Goussot, Ed. Eyrolles, Paris, 1972
- SEÑALES Y CIRCUITOS RADIOTECNICOS, por I. S. Gonorovsky, Ed. MIR, Moscovo, 1972
- COURS D'ELECTRONIQUE GENERALE par Louis Goussot, Collection ORTF, Ed. Chiron, Paris, 1969