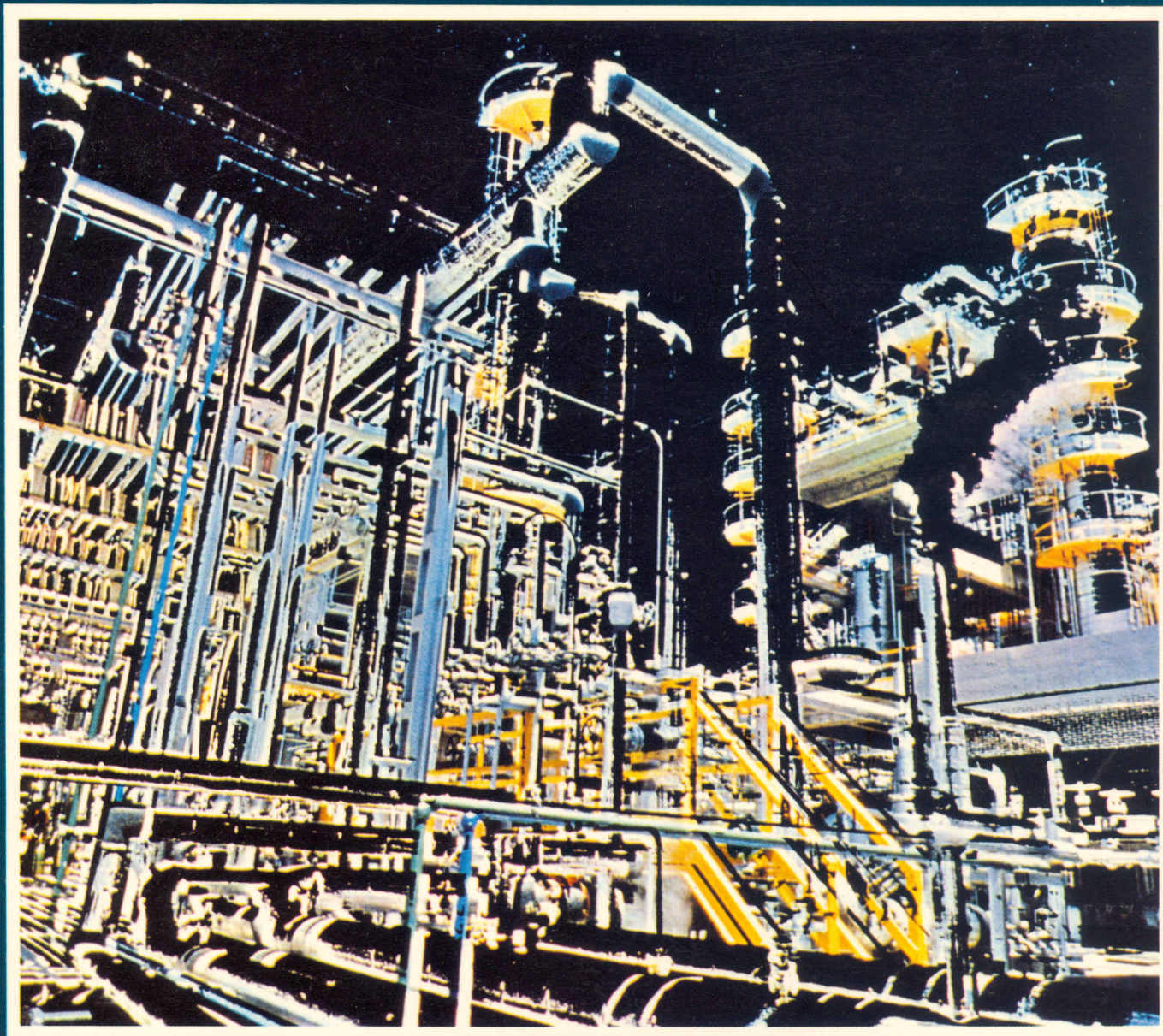


REVISTA
BRASILEIRA DE ENGENHARIA QUÍMICA
ORGÃO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA QUÍMICA

MARÇO 83



**Pirólise de Carvão em Leito Fluidizado
Modelagem Dinâmica de Processos por Testes Pulso
Desidratação do Etanol e as Aluminas Catalíticas
Tratamento e Aproveitamento de Efluentes no R.G. do Sul
e mais cinco artigos da área de Engenharia Química**

Modelagem Dinâmica de Processos por Testes Pulso

Belkis Valdman
Abraham Zakon
Flávio Moraes Folly
Manoel Caputo Pereira Gomes

A NECESSIDADE DO MODELO DINÂMICO

Qualquer processo de engenharia química, durante sua operação, está sujeito a perturbações que podem modificar as condições de projeto estabelecidas para suas variáveis, como por exemplo: vazões e composições da alimentação, suprimento de energia e condições do ambiente. As perturbações provocam a passagem do processo de seu estado inicial para outro estado de operação.

Para atenuar os efeitos da passagem a um estado indesejável é necessário empregar laços de controle no processo capazes de controlar o comportamento das variáveis e compensar as perturbações ocorridas.

Para execução do projeto de uma estratégia de controle é preciso analisar o comportamento dinâmico do processo quando suas condições de operação variam com o tempo.

Um modelo matemático de um processo real de engenharia química é uma descrição matemática que ordena fatos experimentais e estabelece relações entre suas variáveis. Um modelo dinâmico destina-se a prever o comportamento do processo e gerar recomendações ou critérios para o controle do seu andamento.

O crescente desenvolvimento de microprocessadores eletrônicos aplicados a instrumentação de processos industriais depende de elaboração de modelos dinâmicos, baseados em estudos analíticos aliados a trabalhos experimentais para projeto e montagem de sistemas controladores específicos para os casos reais.

MODELAGEM

A obtenção dos modelos de processos físicos, químicos e biológicos é conhecida por modelagem (2), que pode ser física ou matemática. A modelagem física requer a reprodução do caso de interesse em tamanhos ou escalas diferentes para que o efeito das características físicas e das dimensões lineares seja analisado. O trabalho experimental é desenvolvido diretamente nas condições reais do processo. A modelagem matemática envolve o uso de abstrações e de representações qualitativas e quantitativas, utilizando teoria e experimentação. Consiste em determinar analiticamente a resposta de um processo ou sistema, em termos do modelo que o representa, a uma das perturbações (ou estímulos) admitidos na sua entrada. Portanto, trata da de-

terminação de um modelo matemático sob a forma de uma equação ou função de transferência que melhor descreva o comportamento do sistema.

Se as variáveis importantes do processo são conhecidas ou pesquisadas, mas o modelo do processo é desconhecido, é necessário estabelecer um procedimento para a sua determinação. O desenvolvimento de modelos empíricos (3) envolve:

- a) Proposição de um modelo matemático;
- b) Trabalhos experimentais para a coleta de dados;
- c) Determinação dos parâmetros necessários;
- d) Avaliação dos resultados para verificar a validade do modelo proposto.

Conhecendo-se a classe dos modelos de processos e o próprio processo, o problema de identificação do modelo consiste em determinar-se a melhor expressão através de observações da saída e da entrada do processo. As classes específicas de modelos podem ser: respostas típicas a perturbações, funções de transferência, equações diferenciais, equações integrais e assim por diante.

A seleção do sistema adequado de controle para um processo (2) pode

ser realizada quando se aplica ao mesmo uma perturbação repentina sobre o seu regime permanente original e quando três características são determinadas a partir da curva de resposta: tempo morto, constantes de tempo e ganho.

Todos os processos industriais, independentemente dos seus tamanhos, formas ou mecanismos de transformação, têm em comum dois fatores importantes que devem ser considerados para seu controle automático: ganho e atrasos.

O ganho é uma relação entre as variações das variáveis de saída (controlada) e de entrada (perturbação); pode ser o produto dos ganhos de todos os elementos de um laço; para perturbações periódicas o ganho é função do tempo de duração da perturbação.

O ganho de um processo é dito estático, estacionário ou constante, quando a relação saída/entrada permanece constante através de uma faixa de operação das variáveis perturbação e resposta. Quando o ganho do processo varia em função do tempo de duração da perturbação de entrada, ou em função da frequência do sinal de entrada, é denominado dinâmico.

Um atraso pode ocorrer devido às resistências naturais aos fenômenos de transporte considerados e às capacitâncias dos materiais e equipamentos envolvidos, podendo englobar ou desconsiderar o tempo morto e as constantes de tempo.

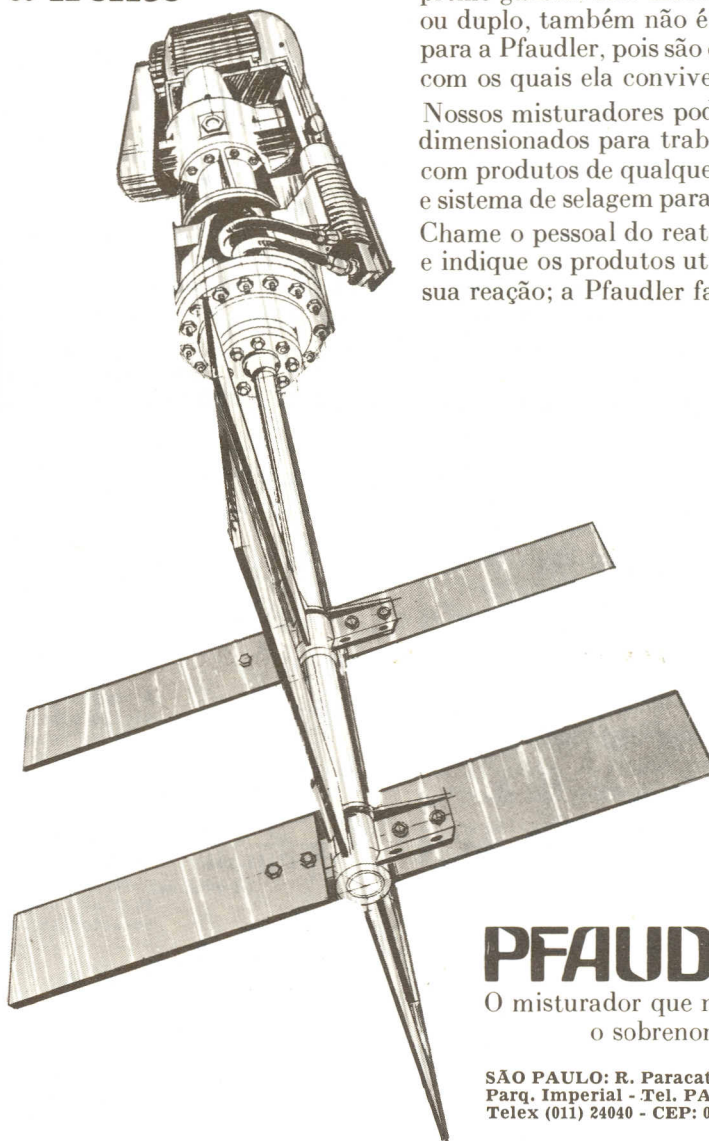
A constante de tempo (2,4) de um sistema descreve sua facilidade em acumular ou dissipar matéria ou energia, pois sua expressão matemática agrega as propriedades físicas correspondentes, cuja relação dimensional resulta em unidades de tempo. É uma indicação do tempo necessário a um sistema para ajustar-se a uma nova perturbação efetuada sobre o mesmo.

O tempo morto ou "retardo por transporte" descreve o tempo consumido no percurso entre o local da perturbação e o ponto onde a resposta começa a ser percebida, devido ao escoamento da propriedade física considerada.

Os modelos de sistemas físicos, químicos e biológicos, podem ser descritos pela combinação das funções

Misturadores Pfaudler

Muitas rotações à frente



A Pfaudler projeta e fabrica misturadores há mais de 50 anos. Toda esta experiência, adquirida no fornecimento de misturadores para reatores vitrificados, está sendo utilizada, nos últimos anos, na fabricação de misturadores de aço carbono e aço inoxidável, para montagem vertical em tanques abertos ou fechados.

A Pfaudler fornece estes misturadores com os mesmos compactos redutores que utiliza nos reatores vitrificados, largamente testados e aprovados, proporcionando a você mais espaço sobre o tanque, para instalação das tubulações, colunas e outros componentes.

O sistema de selagem através de preme-gaxeta, selo mecânico simples ou duplo, também não é segredo para a Pfaudler, pois são componentes com os quais ela convive diariamente.

Nossos misturadores podem ser dimensionados para trabalho com produtos de qualquer viscosidade, e sistema de selagem para até 750 psig. Chame o pessoal do reator e indique os produtos utilizados em sua reação; a Pfaudler fará o resto.

PFAUDLER

O misturador que não esconde o sobrenome

SÃO PAULO: R. Paracatú, 607
Parq. Imperial - Tel. PABX 276-3855
Telex (011) 24040 - CEP: 04302

de transferência (5,6), apresentados na Tabela 1. Cada elemento de um sistema ou processo tem sua própria função de transferência característica.

Quando um processo é descrito por uma série de "n" elementos de atraso de primeira ordem, a resposta global do sistema se torna proporcionalmente mais lenta com cada atraso adicionado. Para fins de projeto de um sistema de controle os sistemas de ordem mais elevada podem ser representados, de forma equivalente, por um de primeira ordem, ou de segunda ordem com ou sem uma função de tempo morto.

Para a determinação dos parâmetros do modelo (3) através de experimentos, é possível aplicar-se tipos conhecidos de perturbações ao processo e paralelamente registrar e analisar as respostas obtidas.

Certas perturbações conhecidas são mais eficientes que outras na modelagem, quando consideradas as facilidades de execução da parte experimental e a solução matemática. Na prática as três perturbações mais utilizadas até o momento, para a determinação experimental dos parâmetros do modelo têm sido as variações

passo, impulso e senoidal. A principal razão do uso destas perturbações é a da conveniência matemática: é relativamente fácil estabelecer a resposta para um dado modelo quando tais variações são introduzidas no processo.

Também é por conveniência matemática que o modelo pode ser descrito nos domínios t (referente a tempo), s (espaço das transformadas de Laplace) e w (frequência, espaço das transformadas de Fourier). De acordo com o tipo de perturbação escolhido e com o método disponível de determinação dos parâmetros, o pesquisador pode efetuar as transformações de domínio do modelo previsto de um espaço para o outro (Figura 1.1).

Assim, as funções representadas no domínio t podem ser convertidas para o domínio s através das transformadas de Laplace, cuja vantagem principal consiste em transformar equações diferenciais lineares em algébricas, facilitando sua solução. Depois de resolvida algebricamente é possível operar-se a transformação inversa para encontrar a solução da equação original.

O domínio w pode ser empregado ao invés do domínio t, devido a duas razões:

- 1.ª — A solução analítica do modelo pode ser mais simples no domínio da frequência que no domínio do tempo;
- 2.ª — Para alguns modelos, é possível obter-se solução analítica para resposta de frequência mas não para resposta no domínio do tempo; ou então, a resposta do modelo pode estar na forma de uma série complicada, cuja solução numérica seja trabalhosa.

ANÁLISE DA RESPOSTA DE FREQUÊNCIA (6,7,8)

Define-se a resposta de frequência de um processo como sendo o comportamento em regime permanente de um sistema submetido a uma perturbação senoidal.

Num sistema linear, se a perturbação de entrada $Q(t)$ é uma onda senoidal de amplitude Q e frequência w , então, a saída $X(t)$ será também uma onda senoidal com a mesma frequência, porém com amplitude X (diferente da anterior), e apresentando uma defasagem caracterizada por um ângulo de fase θ (Figura

TABELA 1
Funções de transferência para componentes de um processo
(Q: perturbação, X: resposta)

CLASSE DE MODELO	NO DOMÍNIO t	NO DOMÍNIO s	SIGNIFICADO PRÁTICO
PROPORCIONAL*	$X = KQ$	K	A resposta na saída é idêntica à entrada, exceto quanto a grandeza.
CAPACITIVO OU CAPACITÂNCIA PURA	$\frac{dX}{dt} = \frac{1}{T} Q$	$\frac{1}{Ts}$	A resposta modifica-se continuamente devido a existência de uma perturbação constante e não consegue tender para um valor finito de estabilização da variável controlada.
DE PRIMEIRA ORDEM	$\frac{dX}{dt} = \frac{1}{T} (Q - X)$	$\frac{1}{Ts + 1}$	A resposta modifica-se devido a existência de uma resistência física à passagem do estímulo através do processo; a variável controlada relaciona-se com a perturbação através de uma equação diferencial de 1.ª ordem e caracteriza-se por uma só constante de tempo, T.
DE SEGUNDA ORDEM	$\frac{dX_1}{dt} = \frac{1}{T_1} (Q - X_1)$ $\frac{dX_2}{dt} = \frac{1}{T_2} (X_1 - X_2)$ ou $\frac{d^2X}{dt^2} = \frac{1}{T_c^2} (Q - X) - \frac{2\zeta}{T_c} \frac{dX}{dt}$	$\frac{1}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$ ou $\frac{1}{(T_c^2 s^2 + 2T_c\zeta s + 1)}$	A resposta modifica-se continuamente devido a existência de duas resistências em série no percurso do estímulo através do processo; a relação "saída/entrada" pode ser descrita por uma equação diferencial de 2.ª ordem (ou por duas de 1.ª ordem) que se caracteriza por duas constantes de tempo de 1.ª ordem (ou por um tempo característico de 2.ª ordem e um fator de amortecimento ζ).
TEMPO MORTO OU RETARDO POR TRANSPORTE	Volume/Vazão ou Distância/Velocidade	e^{-Ds}	Qualquer função de entrada $f(t)$, num elemento de tempo morto de D unidades de tempo será reproduzida como uma saída da forma $f(t - D)$.

* Não introduz atraso na resposta do processo.

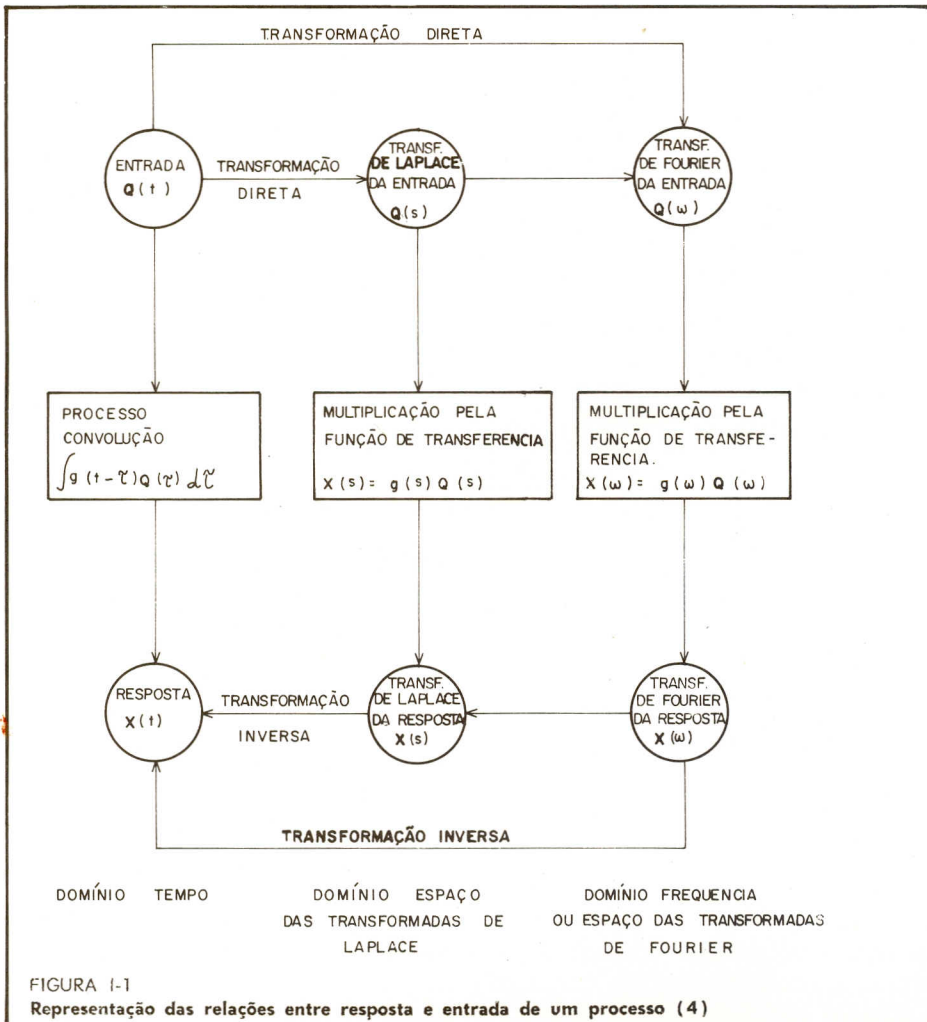


FIGURA 1-1 Representação das relações entre resposta e entrada de um processo (4)

1.2). Podemos adotar as seguintes relações:

$$Q(t) = \bar{Q} \text{ sen } \omega t \quad (1)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

$$X(t) = \bar{X} \text{ sen } (\omega t + \theta) \quad (3)$$

$$\theta = \frac{T_0}{T} 2\pi \quad (4)$$

Onde:

T = é o período de um ciclo completo, em unidade de tempo;
 ω = é a frequência em radianos por unidade de tempo;
 θ = é o ângulo ou atraso de fase;
 T_0 = é o atraso entre as duas ondas, em unidade de tempo.

A razão de amplitudes RA é definida pela relação abaixo, que é uma indicação do ganho do processo:

$$RA = \frac{\bar{X}}{\bar{Q}} \quad (5)$$

Para um dado processo tanto o ângulo de fase θ quanto a razão de amplitudes RA deverão variar quando a frequência ω for mudada dentro de uma certa faixa característica. A resposta de frequência do sistema é assim representada por esta variação de θ e RA com a frequência das perturbações.

Para a visualização e a obtenção de informações a partir da resposta de frequência do sistema, podemos usar os Diagramas de Bode, que empregam duas curvas descritivas das variações de RA e θ com ω , e a partir das quais podemos definir a função de transferência do processo.

O ângulo de fase θ é geralmente plotado contra a frequência ω , empregando-se coordenadas semi-logarítmicas. A razão de amplitudes RA pode ser plotada contra a frequência ω através de coordenadas dilogarítmicas. Entretanto, o módulo da razão de amplitudes é geralmente convertido para um logaritmo decimal de módulo pela seguinte equação:

$$L = \log \text{ módulo} = 20 \log$$

$$\left| \frac{RA}{\text{ganho estacionário}} \right|$$

(6)

É possível, assim, usar coordenadas semi-logarítmicas para plotar log

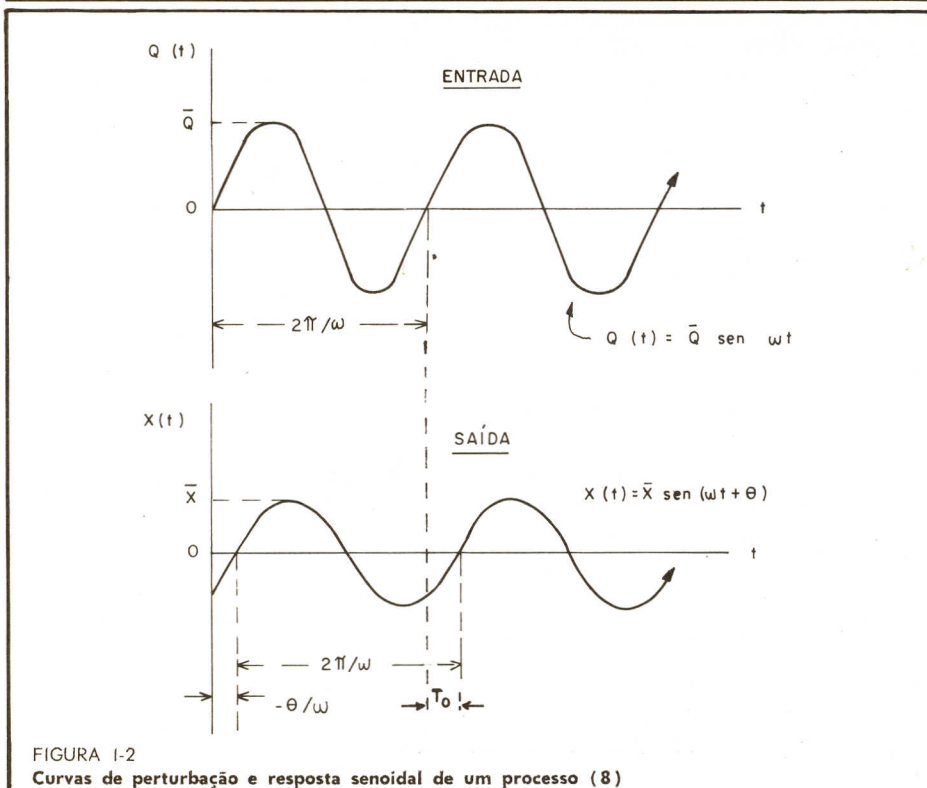


FIGURA 1-2 Curvas de perturbação e resposta senoidal de um processo (8)

módulo, L , contra a frequência w . As unidades de log módulo são decibéis (db), originalmente usadas na engenharia de comunicações para indicar a razão de dois valores de potência.

Verifica-se que para sinais de entrada de baixa frequência o ganho do processo é praticamente igual ao ganho estático. À medida que a frequência de entrada aumenta, os atrasos característicos do proceso evitam que a saída sinta efeito integral da perturbação. Isto resulta num ponto de inflexão da curva e num ganho decrescente à medida que a frequência do sinal de entrada é aumentado.

Para funções de transferência de tempo morto, primeira e segunda ordens (simples) e sistemas capacitivos e derivativos, existem relações bem-definidas entre frequências de onda, ganho dinâmico e ângulo de fase. Tais relações constituem as respostas de frequência de sistemas lineares simples (Figura 1.4).

A curva do ângulo de fase θ contra a frequência de entrada w poderá indicar de imediato qual é a ordem n da função de transferência, sabendo-se que o atraso da fase limite é um múltiplo n de -90° e o ângulo de inflexão é outro múltiplo n de -45° .

A função de transferência tempo morto apresenta um comportamento gráfico diferente: o ganho permanece constante, ao passo que o atraso de fase decresce continuamente.

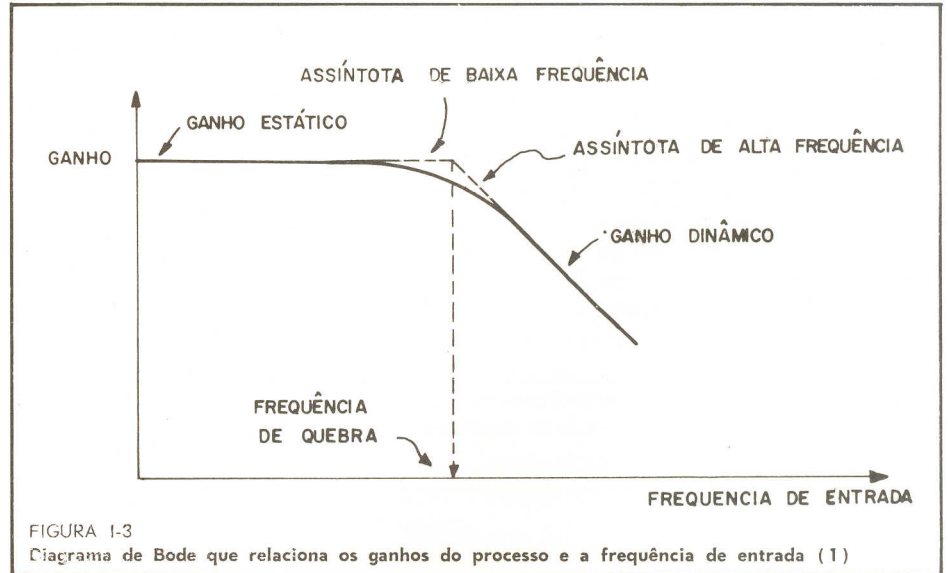


FIGURA 1-3 Diagrama de Bode que relaciona os ganhos do processo e a frequência de entrada (1)

Quando os atrasos são consecutivos no modelo do processo ou nas unidades do diagrama de blocos as curvas de RA e θ são diretamente aditivas. Se for aplicada uma onda senoidal na entrada de um componente do processo em série com outros elementos, todos os outros receberão por sua vez uma entrada senoidal, modificada em amplitude e fase segundo as características dinâmicas de cada um. Para determinar o ganho e o atraso de fase do conjunto é possível comparar a onda de entrada no primeiro elemento com a saída no último. Com tal procedimento verifica-se que o atraso de fase total é

a soma dos atrasos de fase individuais e o ganho total é o produto dos ganhos dinâmicos individuais. Desta forma obtém-se a resposta de frequência combinada de todos os componentes físicos do processo.

O MÉTODO PULSO (4,10)

Consiste em efetuar-se uma perturbação no estado estacionário da variável de entrada durante um pequeno intervalo de tempo, após o qual aquela variável é reconduzida ao seu estado original. A variação da variável controlada de saída, deve ser registrada, de preferência continuamente.

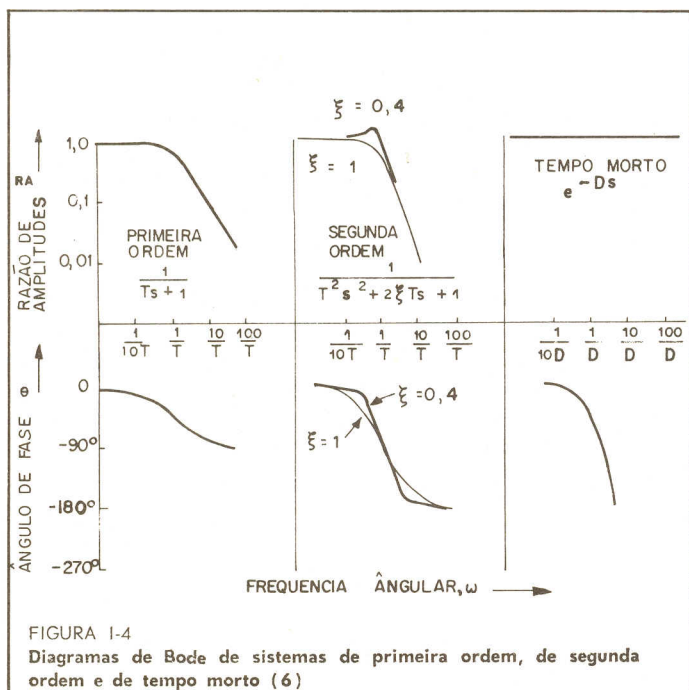


FIGURA 1-4 Diagramas de Bode de sistemas de primeira ordem, de segunda ordem e de tempo morto (6)

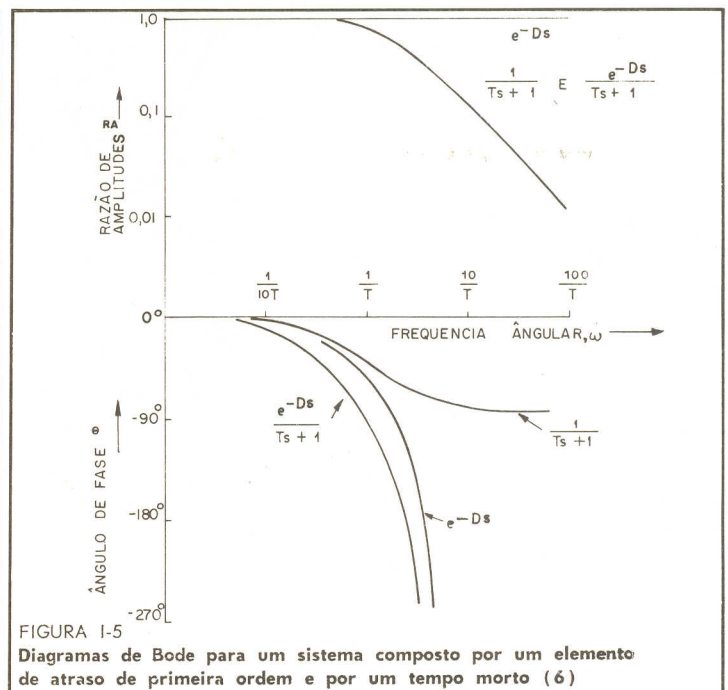


FIGURA 1-5 Diagramas de Bode para um sistema composto por um elemento de atraso de primeira ordem e por um tempo morto (6)

te, como, por exemplo, através de um registrador gráfico. As curvas resultantes geram tabelas de coordenadas que poderão ser processadas em computador (Figura 1.6).

O teste pulso retém as vantagens do teste senoidal, pois fornece curvas de resposta de frequência razoavelmente acuradas e pelo fato de seu tempo de duração ser somente uma fração do tempo necessário ao outro. É adequado para uso experimental porque fornece informação para todas as frequências do processo.

Para que se analise a resposta de frequências das curvas experimentais $Q(t)$ e $X(t)$ (Figura 1.6), é necessá-

rio utilizar uma expressão matemática que relacione o domínio t com o domínio w . Tal relação pode ser obti-

da através da aplicação das transformadas de Fourier à função de transferência $G(s)$, obtendo-se então:

$$G(s) = \frac{X(s)}{Q(s)} = G(iw) = \frac{\int_0^{\infty} X(t) e^{-iwt} dt}{\int_0^{\infty} Q(t) e^{-iwt} dt} \quad (8)$$

Através de transformações matemáticas, obtém-se:

$$G(iw) = \frac{\int_0^{T_x} X(t) \cos w(t) dt - i \int_0^{T_x} X(t) \sin (wt) dt}{\int_0^{T_0} Q(t) \cos w(t) dt - i \int_0^{T_0} Q(t) \sin (wt) dt} W \quad (9)$$

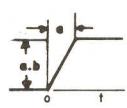
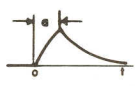

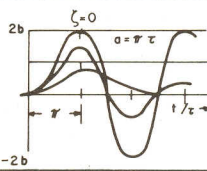
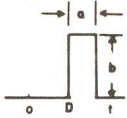
PERTURBAÇÃO PULSO, $Q(t)$		
SISTEMA	FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA $G(s)$	RESPOSTA À PERTURBAÇÃO PULSO, $X(t)$
INTEGRADOR	$G(s) = \frac{1}{s}$	
ATRASO DE PRIMEIRA ORDEM	$G(s) = \frac{1}{Ts + 1}$	
ATRASOS DE PRIMEIRA ORDEM EM SÉRIE	$G(s) = \frac{1}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$ $T_1 \neq T_2$	
SISTEMA DE SEGUNDA ORDEM	$G(s) = \frac{1}{T_c^2 s^2 + 2\zeta T_c s + 1}$ $\zeta =$ RAZÃO DE AMORTECIMENTO	
TEMPO MORTO	$G(s) = e^{-Ds}$	

FIGURA 1-6 Aspectos das curvas de saída obtidas num registrador gráfico de laboratório para uma perturbação pulso sobre um processo.

Devido à oscilação que ocorre para frequências elevadas durante o cálculo da série de cosenos, é necessário empregar a equação abaixo (7), para que as integrações sejam efetuadas diretamente a partir das curvas experimentais. Neste caso, para cada intervalo (t_{k-1}, t_k) a curva é aproximada por uma reta. O número de pares de pontos obtidos da curva deve representá-la do modo mais fidedigno possível.

$$X(iw) = \sum_{k=1}^N \left[\int_{t_{k-1}}^{t_k} X(t) e^{-iwt} dt \right] \quad (10)$$

Este tratamento matemático é essencial para o processamento dos dados experimentais por computador, de modo a serem usados pelo programa empregado para plotar os Diagramas de Bode correspondentes e mencionados anteriormente.

PROGRAMAS PULSE E PULSE/GRÁFICO (7,11)

Para facilitar a análise matemática dos dados das curvas dos testes pulso experimentais foram elaborados os programas de computador PULSE e PULSE/GRÁFICO para fornecer os Diagramas de Bode individuais. Com tais curvas, é possível identificar o modelo dinâmico correspondente a cada processo, de acordo com o exemplo ilustrativo da Fig. 1.8.

O procedimento para uso dos programas PULSE e PULSE/GRÁFICO corresponde ao fluxograma da Figura 1.7, consiste nas seguintes etapas:

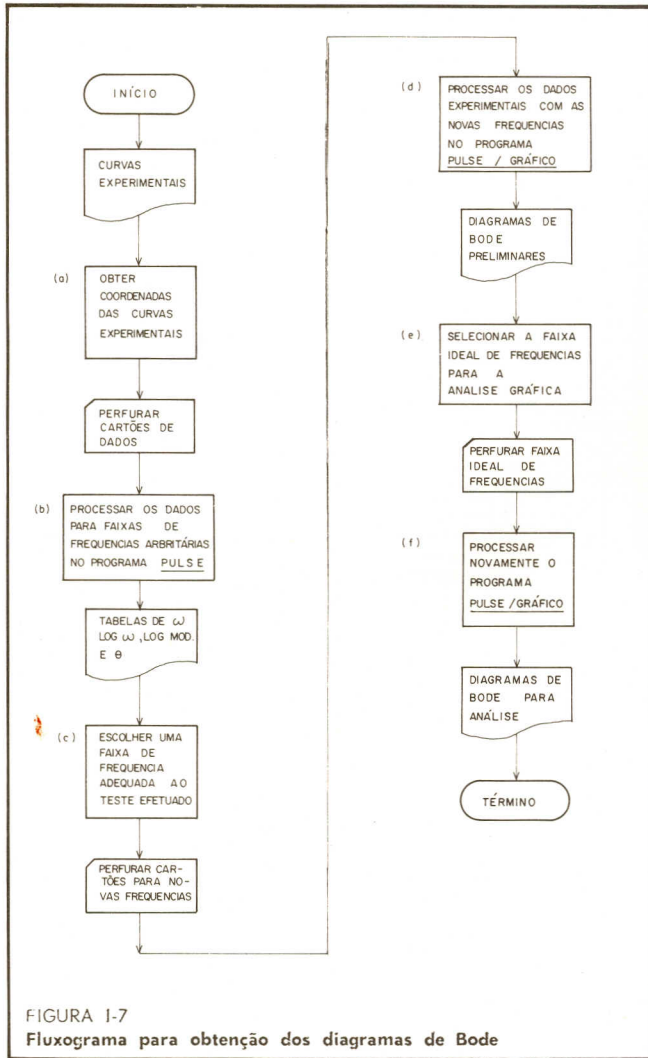


FIGURA 1-7 Fluxograma para obtenção dos diagramas de Bode

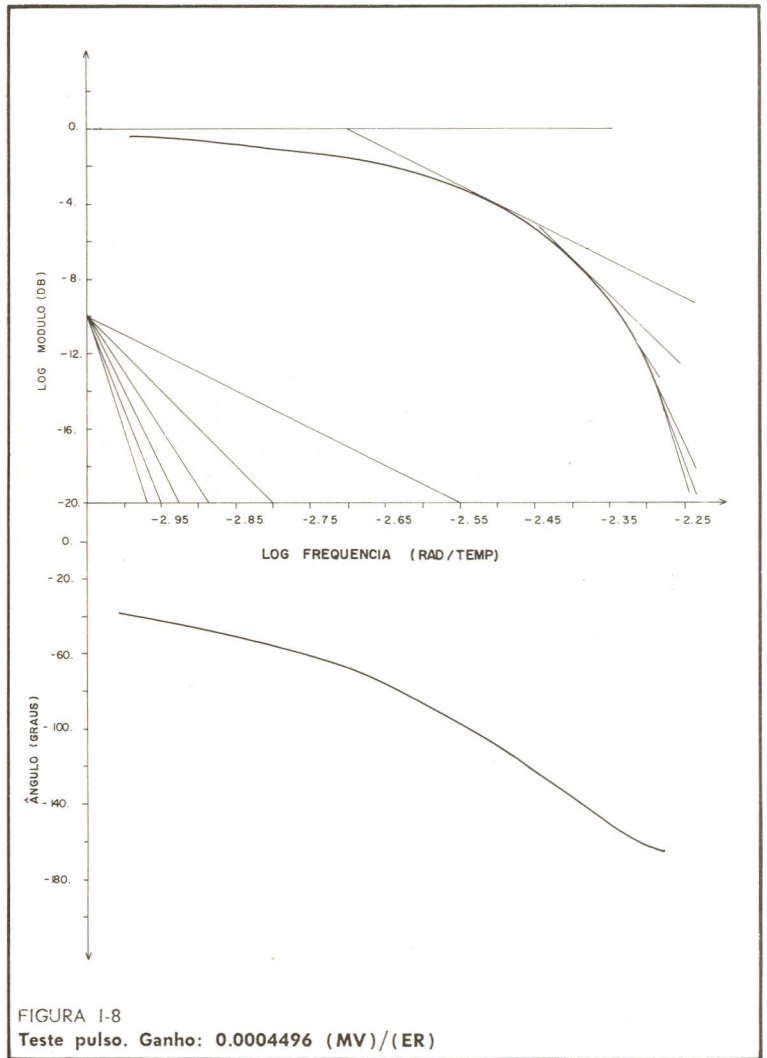


FIGURA 1-8 Teste pulso. Ganho: 0.0004496 (MV)/(ER)

a) A partir das curvas experimentais de perturbação e resposta do processo são obtidas as suas coordenadas para um certo número de pares de pontos suficientemente representativos;

b) O programa PULSE é processado com estes dados para faixas de frequência consecutivas escolhidas arbitrariamente;

c) O usuário do programa deverá escolher, por inspeção dos resultados tabelados na listagem, uma faixa adequada de frequência para o teste; o critério de escolha baseia-se no fato de que os intervalos de frequência analisados devem fornecer uma idéia da variável de log módulo L desde um valor bastante próximo de zero e ultrapassar o ponto de inflexão da curva do ganho nos seus valores subsequentes até a região assintótica da curva.

d) Estabelecida uma faixa adequada de frequência, os mesmos dados ex-

perimentais e este intervalo de frequência deverão ser fornecidos ao programa PULSE/GRÁFICO.

e) Obtidos os Diagramas de Bode através da plotadora, determina-se a faixa de frequência ideal para análise gráfica.

f) São obtidos novos Diagramas de Bode com apenas esta faixa.

A análise gráfica dos diagramas pode ser efetuada com o seguinte procedimento, correspondente às Figuras 1.8 e 1.9:

- a) Determinar a assíntota de maior inclinação (db/década) possível para obter uma estimativa inicial da ordem do sistema;
- b) Neste desenho são traçadas tangentes à curva superior correspondentes às inclinações 0, -20, -40, -60 "debye/década" até que surjam frequências de inflexão resultantes das intercessões de duas tangentes subsequentes;

c) Determina-se o inverso das frequências limites mencionadas, cujos valores correspondem às constantes de tempo do processo, e também os seus atrasos de fase correspondentes através do gráfico inferior;

d) Se a curva do gráfico inferior decresce continuamente, existe algum tempo morto no processo, o qual pode ser determinado, aplicando-se a equação abaixo para as constantes de tempo já determinadas:

$$\theta_{lido} = \arctg(-\omega T_1) + \arctg(-\omega T_2) + \dots - \omega T_0 \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (11)$$

- e) A igualdade dos termos da equação anterior deve ser confirmada para um ou mais valores de frequência diferentes, escolhidos preferencialmente para as maiores frequências do intervalo do gráfico superior;
- f) Se a igualdade da equação acima não ocorrer para os valores de fre-

QUADRO 11

PULSE/GRAFICO/F (38/24/81)

9:04 PM MONDAY
AUGUST 24, 1981

```

100 $RESET LIST
101 $ SET AUTOBIND
102 $ DIM FROM PLOTTER
103 $ INCLUDE $PLOTTER/BLDGCS(ZE=83)
104 FILE $C(INDIR)APE/BLDGCS(ZE=83)
105 $ INCLUDE $PLOTTER/BLDGCS(ZE=83)
106 C PROGRAMA PARA ESTE DE PULSOS
107 DIMENSION N(17)
108 DIMENSION QIN(200),TINC(20),XOUT(200),TOUT(200),SET(1),ANG(420)
109 DIMENSION UNI(1),UNX(1),UNZ(1),EIN(1),EINX(1)
110 REAL LOG(4.20),LOG(4.25),NOW,NG,NG1,N*H1
111 COMPLEX GNUM,GDENM,G1,G2,G3,G4,G5,G
112 NG = NUMERO DE GRAFICOS
113 READ(5,7)NG
114 NG1=NG/40
115 CALL LIMITE(NG1,50)
116 CALL PLOTSE(3)
117 READ(5,10)NUN,CONTA(1),CONTA(2),NOM
118 FORMAT(12,A5,82,A6)
119 CALL NOME(NU,CNTR,NOM)
120 GO TO 2
121 4 M=N*40
122 2 READ(5,1)NHO(1),L=L+73
123 1 2 FORMAT(7A6)
124 READ(5,2)UNIT(1),UNIT(1),UNIX(1)
125 FORMAT(3A6)
126 42 C LEITURA DOS DADOS - PERTURBACAO E RESPOSTA
127 READ(5,7) NIN,NOUT
128 READ(5,7)(CQIN(K),I(1)(K)),K=1,NIN)
129 READ(5,7)(CQOUT(K),I(1)(K)),K=1,NOUT)
130 C MD=FREQUENCIA INICIAL
131 1000 C MDA=FREQUENCIA MAXIMA
132 300 READ(5,7),END=110*MD,MMAX
133 C PARA CDR NOVA CORNIDA COLOCAR ANTES DOS NOVOS DADOS CARTAO C/ MD=-1
134 IF(MD.EQ.-1)GO TO 4
135 MD=0
136 MD=0.001/(600/(ALOG(MMAX/MD)))
137 3000
138 100 IF(MD.GT.MMAX) GO TO 200
139 IF(MD.LT.0) GO TO 200
140 C CALCULO DA PERIFERIA DO PULSO RETANGULAR
141 IF(MD.EQ.0) GO TO 25
142 420 G2=CMPLX(0.0,-M*INC(1))
143 G2=CMPLX(G2,1.0)
144 GO TO 50
145 C CALCULO DA FREQUENCIA = 0
146 25 GNUM=CMPLX(QIN(1),TINC(1)+0.0)
147 4800 C CALCULO PARA PERTURBACAO ARBITRARIA
148 50 IF(MD.EQ.0) GO TO 40
149 5100 G2=CMPLX(0.0,-M*INC(1))
150 G2=CMPLX(G2,1.0)
151 DD 35 N=2*NIN
152 G2=CMPLX(G2,-M*INC(1))
153 G2=CMPLX(G2,-M*INC(1))
154 G2=CMPLX(G2,-M*INC(1))
155 G4=CEXP(G2)
156 G5=(G4-1.0)/(DELTA*M**2)
157 GDENM=GDENM+CEXP(G3)
158 GQIN(N)=(G5-G4/G1)*QIN(N-1)+(G5-1.0/G1)*QIN(N)
159 CONTINUE
160 GO TO 50
161 40 AREA=QIN(1)+TINC(1)/2.0
162 DELTA=QIN(1)-TINC(1)
163 GQOUT(N)=AREA*(QOUT(N)+XOUT(N-1))+DELTA/2.0
164 GQDENM=CMPLX(KAREA+0.0)
165 C CALCULO DA RESPOSTA ARBITRARIA
166 50 IF(MD.EQ.0) GO TO 80
167 G2=CMPLX(0.0,-M*INC(1))
    
```

```

7100 GNUM=XOUT(1)+(CEXP(G2)-1.0)/(TOUT(1)+M**2)-CEXP(G2)/G1
7110 DD 5 N=2*NOUT
7120 DELTA=TOUT(N)-TOUT(N-1)
7130 G2=CMPLX(0.0,-M*INC(1))
7140 G2=CMPLX(G2,-M*INC(1))
7150 G4=CEXP(G2)
7160 G5=(G4-1.0)/(DELTA*M**2)
7170 GNUM=GNUM+CEXP(G3)+(XOUT(N)+(G5-G4/G1)*XOUT(N-1)+(G5-1.0/G1)*XOUT(N-1))/2.0
7180 55 CONTINUE
7190 60 AREA=XOUT(1)+TOUT(1)/2.0
7200 DD 61 N=2*NOUT
7210 DELTA=TOUT(N)-TOUT(N-1)
7220 61 AREA=AREA+(XOUT(N)+XOUT(N-1))+DELTA/2.0
7230 GNUM=CMPLX(KAREA+0.0)
7240 C CALCULO DA FUNCAO DE TRANSFERENCIA
7250 70 G=NUM/GDENM
7260 IF(MD.EQ.0) GO TO 90
7270 DD 25 *ALOG(OCBBSG)/ABS(GA(1))
7280 DEG=ATAN(OCBBSG/REAL(G))
7290 IF(REAL(G)/GA(1)).LT.0.0)DEG=DEG-180
7300 M=N*40
7310 ML=ALOG(OC)
7320 NP=N*40
7330 LOGW(NP)=ML
7340 LOGM(NP)=DB
7350 ANG(NP)=DEG
7360 M=N*40
7370 GO TO 100
7380 90 GAIN(1)=REAL(G)
7390 M=0
7400 GO TO 100
7410 200 SEFC(1)=6
7420 K=10.-3.*Y/2.
7430 CALL FACTOR(2)
7440 CALL SCALE(LOGW+17,NP+1)
7450 CALL SCALE(ANG+12,NP+1)
7460 CALL SCALE(LOGM+12,NP+1)
7470 M=N
7480 CALL PLOT(1,17,-3)
7490 CALL AXIS(0,0," LOG FREQUENCIA ( RAD/TEMP ) "-29,17,0,LOGW(NP+1),
7500 *LOGM(NP+1),2)
7510 CALL SYMBOL(17,0,3,SET(1),-90,-1)
7520 CALL XSPEN(2)
7530 CALL SYMBOL(0,12,3,SET(1),0,-1)
7540 CALL AXIS(0,0," LOG MODULO ( DB ) "-19,12,90,LOGM(NP+1),LOGM(NP+
7550 *2)2)
7560 CALL LINE(LOGW+LOGM,NP+1,0+0)
7570 CALL XSPEN(3)
7580 CALL SET(0,-1)
7590 CALL SYMBOL(0,0,3,SET(1),180,-1)
7600 CALL SET(0,0,ANG(1) ( DRU ) *-16,12,90,ANG(NP+1),ANG(NP+2)2)
7610 CALL LINE(LOGW+ANG,NP+1,0+0)
7620 CALL XSPEN(1)
7630 CALL SYMBOL(0,-2,25,*GAIN(1)+0+6)
7640 CALL NUMBER(9,-2,25,GAIN(1)+0+7)
7650 CALL SYMBOL(1,-2,25,UNX(1)+0+6)
7660 CALL SYMBOL(1,-2,25,*F+0+1)
7670 CALL SYMBOL(1,-2,25,UNZ(1)+0+6)
7680 CALL SYMBOL(1,-2,25,*I+0+3)
7690 CALL SYMBOL(1,-2,25,UNIT(1)+0+6)
7700 CALL SYMBOL(1,-2,25,*QIN(1)+0+5)
7710 CALL SYMBOL(1,-2,25,*QOUT(1)+0+6)
7720 CALL SYMBOL(1,-2,25,UNIX(1)+0+6)
7730 CALL SYMBOL(K,-5,25,ADMIC(1)+0+6)
7740 M=N+1
7750 CONTINUE
7760 GO TO 80
7770 CALL PLOT(0,0,999)
7780 110 STOP
7790 END
    
```

BIBLIOGRAFIA

- (1) Valdman, Belkis — "Simulação e Controle de Processos" Escola de Química, Rio de Janeiro, 1978.
- (2) Kafarov, V. — "Cybernetic Methods in Chemistry & Chemical Engineering" — Mir Publishers, Moscow, 1976.
- (3) Himmelblau, David M. — "Process Analysis by Statistical Methods" — John Wiley & Sons, New York, 1970.
- (4) Harriott, Peter — "Process Control" — McGraw Hill Book Company, New York, 1964.
- (5) Buckley, P. S. — "Techniques of Process Control" — John Wiley & Sons, Inc., New York, 1964.
- (6) Perry & Chilton — "Manual de Engenharia Química", 5.ª Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.
- (7) Luyben, W. L. — "Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers" — McGraw Hill Book Company, New York, 1973.
- (8) Perlmutter, Daniel, D. — "Introduction to Chemical Process Control" — John Wiley & Sons, New York, 1973.
- (9) Coughanowr, D. R. e Koppel, L. B. — "Análise e Controle de Processos" — Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1978.
- (10) Messa, C. J.; Luyben, W. L. e Pochlein, G. W. — "Criteria for Determining the Computational error of Numerically calculated Fourier integral Transforms" — Ind. Eng. Chem., Fundamentals, 8, 745, 1969.

Belkis Valdman e Abraham Zakon são engenheiros-químicos e professores do DEQ — EQUFRJ. Flavio Moraes Folly e Monel C. Pereira Gomes são engenheiros-químicos formados pela EQUFRJ.

Viação Montenegro S.A.
presente no Pólo Petroquímico do Sul!

Por sua capacidade e estrutura operacional, a VIAÇÃO MONTENEGRO S.A. foi contratada para atender ao PÓLO PETROQUÍMICO DO SUL ligando os mais diferentes pontos com harmonia e precisão. Identificada com seu município a empresa sente-se orgulhosa em também contribuir para o desenvolvimento local e com o progresso industrial do Sul do País.

VIAÇÃO MONTENEGRO S.A.
Rua Capitão Porfírio, nº 2238 · Fones: (051) 632-1500 · 95-780 · MONTENEGRO - RS