Fundamentos de controlo e programação

1.ª Parte

INTRODUÇÃO

Para que se possa efetuar a gestão de um qualquer sistema de controlo é fundamental que se conheçam todos os parâmetros de controlo bem como os tempos de atuação. Para os sistemas de rega o controlo tem, também ele, que obedecer a parâmetros fundamentais que possam determinar o momento mais adequado para regar e a quantidade de água a aplicar em função, entre outros fatores, do estado de humidade do solo e da planta e da uniformidade da distribuição de água pelo sistema.

Assim, e na fase de automatização dos sistemas devem ser tomados em conta todos os elementos que poderão integrar o sistema. Como já foi referido ao longo desta coluna, todos os componentes dos sistemas de controlo podem ser agrupados de acordo com a sua funcionalidade, ou seja, sensores e transdutores (tensiómetros, manómetros, pressostatos, entre outros), *atuadores (interruptores, eletroválvula, bombas,* variadores de velocidade, entre outros), acondicionadores de sinal e unidades de controlo (reguladores automáticos, PLCs, Computadores, entre outros). É com base nestes elementos que se irá abordar agora os conceitos básicos necessários para se desenvolver um sistema de controlo para a *automatização e programação* de uma instalação de rega.

Definições

Os sistemas de controlo são utilizados principalmente no setor industrial, no entanto, com o desenvolvimento ocorridos nos últimos anos da informática e da microeletrónica bem como a redução de preços deste tipo de dispositivos, estão proliferando noutros setores como por exemplo os da rega. Conceptualmente, há que considerar uma série de definições básicas que são comuns a todos os sistemas de controlo.

Sistema físico

Um sistema físico é considerado como uma parte da realidade pela qual mostramos interesse sendo composto por vários elementos que interagem entre si para atingir um objetivo comum. Na maioria dos sistemas físicos é descrita a sua dinâmica mediante equações diferenciais pelo que qualquer sistema físico poderá ser modelado, por exemplo, um sistema produtivo. As equações diferenciais que descrevem os sistemas físicos são obtidas a partir de leis da física. Sendo assim, um dos fatores mais determinantes da análise e do desenho de processos de controlo é a obtenção dos modelos matemáticos dos ditos sistemas.

Modelo matemático

Um modelo matemático é a representação simplificada de um sistema físico que contém um conjunto de instruções ou equações para gerar dados de comportamento. Isto leva a que a representação de um determinado processo não seja única pois, um qualquer processo pode ser representado por vários modelos.

Sistema de controlo

Um sistema de controlo é definido como sendo um sistema que tem como objetivo manter uma ou mais variáveis dentro de limites predefinidos. Assim, quando se atuar sobre um sistema físico este poderá ser afetado por uma série de perturbações que poderão afetar o valor inicial do sistema. Estas perturbações obrigam a uma observação contínua do processo atuando-se para as corrigir. É este o objetivo de um sistema de controlo.

Os sistemas de controlo podem ser manuais ou automáticos pelo que se poderá dizer que o processo está automatizado (controlo automático) quando funciona por si só, ou seja, sem intervenção humana. Caso contrário, o processo é dito de manual. Assim, a partir de um processo automático e a partir da aplicação de uma série de sinais de entrada se poderá controlar e melhorar qualquer sistema físico ou processo produtivo.

Naturalmente que estes conceitos e aplicações se poderão estender ao setor agroalimentar, uma vez que existirão muitos sistemas em que se podem utilizar ou já se utilizam técnicas de controlo automático para controlar determinados processos. Por exemplo, no caso dos sistemas de rega, poderá ser controlado os níveis de Ph e a condutividade elétrica da água utilizada na rega mediante a utilização de um sistema de controlo automático. No entanto, e em geral, todo o sistema de controlo tem uma entrada denominada de consigna ou de valor de referência (valor desejado) que é utilizada para enviar ordens para que o valor real das variáveis controladas seja o mais parecido possível, com o valor de referência, quando existem perturbações (*Figura 1*).

Figura 1. Diagrama de blocos de um processo de controlo em malha aberta.

Num sistema de controlo devem ser realizadas uma série de ações básicas como sejam a quantificação das variáveis a controlar, comparar com o valor de referência desejado e atuar sobre o controlo de modo a que a variável possa obter o valor desejado. Neste sentido, e no ponto de vista das quatro variáveis de controlo deve-se, em primeiro lugar, agir sobre as variáveis a controlar, variáveis que pretendemos manter com um valor desejado (por exemplo, a pressão de uma válvula de controlo de pressão ou sobre a pressão num dado ramo da tubagem). Temos ainda as variáveis de consignação ou variáveis de referência, ou seja, o valor desejado para a variável a controlar, denominada também como SP (*Set Point*). No terceiro lugar, as variáveis manipuladas ou de controlo, variáveis utilizadas para compensar ou corrigir as variações provocadas pelas perturbações (por exemplo, o caudal de saída de uma válvula de alivio rápido para evitar sobrepressões ou golpes de ariete. E por último, as variáveis de perturbação, variáveis que afetam a variável a controlar, mas que não poderão ser manipuladas. As perdas de carga singulares que se produzem numa instalação serão um exemplo simples deste tipo de variáveis.

ANÁLISE DE SISTEMAS LINEARES

Neste ponto apresentar-se-á algumas noções do tratamento genérico dos processos de controlo e sua linearização. Para isso, irá utilizar-se como exemplos de processos de controlo e sua modelização os sistemas de rega. Assim, para analisar os sistemas reais e desenhar processos de controlo podem utilizar-se vários métodos de análise matemática pelo que, a partir da determinação das equações diferenciais de um sistema físico poderão ser estabelecidos os processos de controlo. Os sistemas reais poderão ser classificados em sistemas dinâmicos lineares e sistemas dinâmicos não lineares. Nos sistemas lineares, o lado direito da equação é uma expressão que depende linearmente de x, tal como: $x_{n+1} = 3x_n$.

Assim, se se conhecem duas soluções para um sistema linear, a soma delas é também uma solução; isto é conhecido como o princípio de sobreposição ou de superposição. Em geral, as soluções provenientes de um espaço vetorial permitem o uso da álgebra linear o que simplifica significativamente a sua análise. As ferramentas para a análise e o desenho de processos de controlo lineares encontram-se mais desenvolvidas que as utilizadas nos processos não lineares. Os processos não lineares são muito mais difíceis de analisar e pelo meio exibem um fenómeno conhecido como caus, com comportamentos totalmente imprevisíveis.

Por isso, sempre que possível, a maioria dos sistemas físicos não lineares transformar-se-ão em lineares, ou limitar-se-á o seu intervalo de operação a um domínio linear. Uma vez que se aproxima um sistema não linear mediante um modelo matemático linear, poderão aplicar-se várias ferramentas e métodos lineares para a sua análise e desenho. Esta modelização poderá então ser realizada através de dois métodos, muito utilizados, que permitem obter o modelo matemático do processo ou sistema considerando, sempre, que este é linear. Estes métodos são:

- **Funções de transferência e de resposta a impulso:** Este método só é valido para os sistemas lineares invariantes com o tempo com uma única entrada e saída.
- **Equações de estado:** Este método utiliza equações diferencias de primeira ordem podendo utilizar-se para descrever tanto sistemas lineares como não lineares com mais do que uma entrada e uma saída.

Assim, e dependendo do processo ou do sistema a controlar e das circunstâncias específica, um modelo matemático poderá ser mais apropriado que o outro. Por exemplo, em problemas de controlo ótimo, é proveitoso usar-se representações no espaço de estados e, por tanto, descrever-se-á o sistema mediante equações de estado. Pelo contrário, para as análises de respostas transitórias, ou de respostas em frequência de sistemas lineares com uma entrada e uma saída invariantes no tempo, a representação mediante a função de transferência poderá ser mais conveniente que qualquer outra. Para sistemas lineares contínuos, o método da transformada de Laplace também poderá ser usado para transformar a equação diferencial numa equação algébrica.

Uma vez obtido um modelo matemático de um processo, usar-se-ão diversas técnicas analíticas, como seja a aplicação de ferramentas informáticas para o seu estudo e simulação. Pela simulação pretendemos imitar aspetos importantes do comportamento do sistema mediante o seu desenho, construção e experimentação do modelo do mesmo. Este processo é em tudo semelhante à experimentação levada a cabo pelos cientistas em laboratório, com a qual pretendem contribuir para a melhor compreensão de uma qualquer teoria para sua validação e utilização posterior.

Transformada de Laplace

A transformada de Laplace é utilizada para converter uma equação diferencial numa equação algébrica em função do termo s. Com isto é possível manipular a equação mediante regras algébricas simples que conduzem à solução no domínio *s*. A solução final *s* é obtida através da transformada inversa de Laplace (Figura 2).

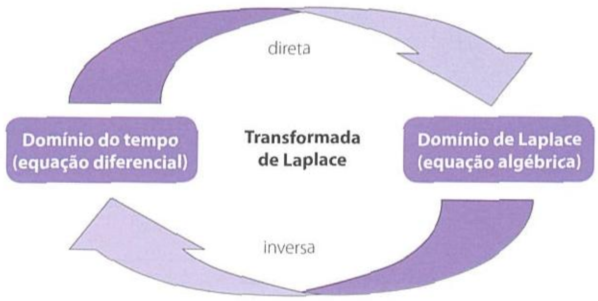

Figura 2. Diagrama de blocos de um processo de controlo em malha aberta.

A definição matemática da transformada de Laplace é a seguinte: seja uma função *f*(*t*) dependente do tempo, a transformada de Laplace converte-a numa função *F*(*s*) dependente da variável complexa da seguinte forma:

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_0^{\alpha} e^{-st}.f(t).dt$$

Sendo:

f(*t*) é a função que se deseja transformar e que se encontra expressa no domínio do tempo *t*, tal que $f(t) = 0$ para $t < 0$;
s variável complexa sobre que opera a função transformada;
$\mathcal{L}$ símbolo operativo da transformada de Laplace;
F(*s*) é a transformada de Laplace de *f*(*t*).

A transformada de Laplace em algumas ocasiões poderá ser também denominada de transformada unilateral de Laplace, pois a integração é realizada entre 0 e α. Isto significa que toda a informação contida em *f*(*t*) anterior a α se ignora ou se considera igual a zero. Isto não pressupõe nenhum problema para os sistemas lineares, posto que quando se aplica uma entrada a um sistema físico com *t*=0, a resposta não começa antes de *t*=0, já que a resposta não pode ser anterior ao sinal de entrada.

A transformada de Laplace cumpre as propriedades de linearidade, derivação em t, integração em t, derivação em s, teorema do valor inicial e teorema do valor final pelo que a solução da integral da equação anterior será a função no domínio da variável s. Por outro lado, e dado que a resolução da integral da equação anterior pode ser complexa e trabalhosa, apresenta-se na tabela seguinte, Tabela 1, a transformada de Laplace das funções no domínio do tempo mais comuns.

Tabela 1. Pares da transformada de Laplace.

$f(t)$	$F(s)$
Função degrau $f(t)=1(t)=1$	$\frac{1}{s}$
Função rampa $f(t)\ t$	$\frac{1}{s^2}$
$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}\ (n=1,2,3,...)$	$\frac{1}{s^n}$
$e^{-a.t}$	$\frac{1}{s+a}$
$t.e^{-a.t}$	$\frac{1}{(s+a)^2}$
$sen(w.t)$	$\frac{w}{s^2+w^2}$
$cos(w.t)$	$\frac{s}{s^2+w^2}$
$sen(w.t+\theta)$	$\frac{s.sem\theta+\omega.cos\theta}{s^2+w^2}$
$cos(w.t+\theta)$	$\frac{s.sem\theta-\omega.cos\theta}{s^2+w^2}$
$e^{-a.t}sen(w.t)$	$\frac{w}{(s+a)^2+w^2}$
$e^{-a.t}cos(w.t)$	$\frac{s+a}{(s+a)^2+w^2}$
$senh(w.t)$	$\frac{w}{s^2-w^2}$
$cosh(w.t)$	$\frac{s}{s^2-w^2}$
$\frac{df(t)}{dt}$	$s.F(s)-f(0^+)$
$\int_0^t f(t)dt$	$\frac{F(s)}{s}$
$a_1.f_1(t)+a_2.f_2(t)$	$a_1.F_1(S)+a_2.F_2(s)$
$f(1-\tau).1(t-\tau)$	$e^{-s.t}.F(s)$
$\int_0^t f_1(\tau).f_2(t-\tau)dt$	$F_1(s).F_2(s)$

Para se obter a solução final s há que se aplicar a transformada inversa de Laplace. A operação consiste em obter a função no domínio do tempo $f(t)$ a partir da função no domínio da variável complexa $F(s)$, resultante da aplicação da transformada de Laplace que se pode exprimir como:

$$f(t)=\mathcal{L}^{-1}[F(s)]=\frac{1}{2.\pi.j}\int_{c-j\alpha}^{c+j\alpha}F(s).e^{-s.t}.ds$$

Sendo c a abcissa de convergência, constante real maior que as partes reais de todas as singularidades de $F(s)$. A integral da equação anterior é realizada no plano complexo s. Os limites da integral fazem com que a trajetória da integração seja paralela ao eixo imaginário y desfasado de uma distancia c do mesmo. Esta trajetória situa-se à direita de todos os pontos singulares de $F(s)$.

Na maioria dos problemas de sistemas de controlo a avaliação da transformada de Laplace não requer o uso da inversão da integral apresentada na equação anterior. Assim, a resolução da transformada inversa de Laplace baseada em funções racionais, pode ser levada a cabo usando uma tabela de transformadas de Laplace e sua expansão em frações parciais.

Função de transferência de um sistema

A função de transferência de um sistema (Figura 3), descrito mediante uma equação diferencial linear e invariante no tempo, é o quociente entre a transformada de Laplace e a função temporal do sinal de saída (função resposta) e a transformada de Laplace da função temporal do sinal de entrada (função de excitação).

$$G(s)=\frac{Y(s)}{U(s)}$$

Figura 3. Função de transferência de um elemento ou sistema.

A partir do conceito de função de transferência, é possível representar a dinâmica de um sistema mediante equações algébricas em s. Se a potencia mais alta de s no denominador da função de transferência é igual a n, o sistema denomina-se de n-enésima ordem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Górriz, Bernardo Martin – *Automatismos elétricos cableados.* In Canales, António Ruiz e Martínez, José Molina – *Automatización y Telecontrol de Sistemas de Riego.* Barcelona. Editora Marcombo, 2010. ISBN 9788426716347. Cap. 12.
- Katsuhiko Ogata. *Engenharia de Controle Moderno*, 5ª Ed. Pearson Ed., 2011. ISBN: 9788576058106.
- Richard C. Dorf e Robert H. Bishop. *Sistemas de Controlo Moderno.* Rio de Janeiro. LTC Editora, 2001.
- Santos, Adriano A. e Silva, António F. da. *Automação Integrada*, 2ª Ed. Porto. Editora Publindústria, 2015. ISBN 9789897231278.