

自动检测系统的实用功率流模型*

梁 威

(郑州轻工业学院)

摘 要: 本文提出了建立自动检测系统实用功率流模型的想法,从而使系统的建模更为简洁、直观和规范化,对系统的分析研究更为方便和实用。由此模型可以很方便地转换为状态方程并进行仿真。

关键词: 自动检测, 功率流, 模型法

中国图书分类号: TP274

在自动检测系统的分析研究中,数学模型的建立是极为重要的一环。在电子计算机被广泛应用的今天,一般地说,数学模型大致表现为以下几种形式:

信息流模型——描述通过信息处理机符号的流动,它采用的形式如电子计算机中的程序流图。

信号流模型——描述在仪器仪表中传输信息的信号或变量之间的关系,这些关系通常用传递函数或状态方程来描述。

功率流模型——这是对各种不同的物理形式的系统使用相似原理进行描述的系统方法。在这种模型中,仪器仪表与待测系统之间或仪器仪表各部件之间的相互作用是采用功率流来描述的。描述物理系统功率流采用一对共轭变量:通过变量(through variable)和跨越变量(across variable)。它们两者的乘积表示网络中一个端口上的功率流动,两者的比值是这个端口的阻抗。这种模型能够对动态响应以及在使用条件下,系统的干扰、激励电源和环境干扰对系统的影响等性能进行预测。

自动检测系统,随其对象的不同,涉及不同的领域。比如,对位移、力、力矩、速度等机械量的检测,涉及到力学问题;对电流、电压、磁通等电量的检测,涉及到电学的问题;对温度、流量、压力等过程参量的检测,则涉及到流体力学、热力学的问题。而在实际应用中,一个系统往往同时涉及到这不同能量范畴的参量。显然,对于这种各具有不同物理形式的系统,若能采用标准的、统一的数学模型来描述,而且这种模型又能与传递函数或状态方程很方便地转换、结合,那么将会给自动检测系统的建模、分析研究带来极大的方便。

实际上,功率流模型可以说就是解决这一问题的一种尝试。但就其应用来讲有很大局

* 收稿日期: 1990.01.03

限性。目前一般地说还仅限于机电模拟，即利用熟知的和机械系统相对应的等值电路来研究机械系统的谐振、频率特性、阻尼系数等特性。笔者认为，产生这种局限性的主要原因有两个，一是功率流模型的研究尚未提出一种能包括电学、力学及热力学、流体力学领域内各种物理量间传输关系的统一的、标准的几何符号作为功率流的描述，二是功率流模型与传递函数、状态方程间的转换（目前实际就是系统等效电路与其的转换）不够方便。这样，自动检测系统（特别是过程参量的检测控制系统）功率流模型的建模含混不清且甚感困难。同时，又妨碍了人们运用经典和现代控制论去分析解决实际问题。

1 实用功率流模型的提出

“实用功率流模型”设想的提出，源于“键图”（Bond Graph）的启发——这是美国麻省理工学院潘特（Paynter）教授在从事机械工程研究中提出并加以应用的一种几何符号。这里，笔者将其含义加以引伸，并与一般功率流模型中跨越变量与通过变量的概念加以融合，这样，就产生了“实用功率流模型的基本元素”如下表所列。

表1 实用功率流模型基本元素表

名称	符号	定义
力源	Se $\frac{e}{f}$	$e = e(t)$
流源	S _r $\frac{e}{f}$	$f = f(t)$
阻性元	$\frac{e}{f}$ R	$e = f \cdot R$
容性元	$\frac{e}{f}$ C	$q = C \cdot e$ $q(t) = q(t_0) + \int f \cdot dt$
惯性元	$\frac{e}{f}$ I	$P = I \cdot f$ $P(t) = P(t_0) + \int e \cdot dt$
变换器	$\frac{e_1}{f_1}$ $\frac{1:m}{TF}$ $\frac{e_2}{f_2}$	$e_1 = m e_2$ $f_1 = \frac{1}{m} f_2$
转换器	$\frac{e_1}{f_1}$ $\frac{r:1}{GY}$ $\frac{e_2}{f_2}$	$e_1 = r f_2$ $f_1 = \frac{1}{r} e_2$
共流结点		$f_1 = f_2 = f_3$ $e_1 + e_2 = e_3$
共力结点		$e_1 = e_2 = e_3$ $f_1 + f_2 = f_3$

表中第一列, 根据物理学中的习惯用法, 暂为元素命名; 第二列为元素符号, 它们的组合, 可以以一种标准、统一的形式描述从属于不同能量范畴的各种系统内功率流的“流动”; 第三列定义表明了各跨越变量与通过变量的关系, 该表定义对应于线性系统的情况, 对非线性系统, 可将定义扩充或补充非线性元素来加以描述。元素中的字母 e, 可代表电学、力学、热力学、流体力学中的电压、力、温度、压力差等; 字母 f, 可代表电流、速度、热流量、流量强度等; 对它们积分, 又可获得我们所熟知的许多状态变量, 如磁链、动量、电荷、位移、热量、流量等等, 所有这些均属于跨越变量和通过变量的不同表现形式。

这种实用功率流模型的建模是从几何方法开始的, 建模过程对机理的考查, 只不过为元素的增减和符号的连接方式提供依据, 避开了复杂的推导和运算, 特别对过程参量的检测来说, 这种几何形式与仪器仪表物理系统对应, 也具有“单元组合”的特征, 非常直观。另一方面, 在模型确定之后, 只要选定状态变量, 即可根据共力结点和共流结点两个基本元素给定的关系, 仅通过一些简单的代数运算, 导出状态方程。这样就扫除了如前所述的, 在功率流模型应用中的两个主要障碍。

2 应用范例

图 1 所示液位自动检测控制系统, 由双容对象和单元组合仪表构成。以基本元素变换器表示液位变送器; 以元素转换器表示调节阀 (包括电气转换器); 以阻性元 R_0 、 R_2 、容性元 C_3 和力源 S_e 在不同结点上的组合表征比例积分调节器。液位对象则由容性元 (代表储箱体容) 和阻性元 (代表液阻) 的组合表示。然后, 按照各通过变量与跨越变量间的传输、转换关系, 将上述各单元在一定的结点上连接起来, 就完成了图 2 所示的该系统的实用功率流模型。

现在, 取储箱的体容量 q_1 和 q_2 及调节器等效电容上的电荷量 q_3 为状态变量, 根据该模型中各共力结点, 共流结点及各元件所定义的关系, 可分别列写结点方程如下:

$$\frac{dq_1}{dt} = \frac{1}{r} (e_3 + R_2 \frac{dq_3}{dt}) - \frac{e_1}{R_1}$$

$$\frac{dq_2}{dt} = \frac{e_1}{R_1} - \frac{e_2}{R_1}$$

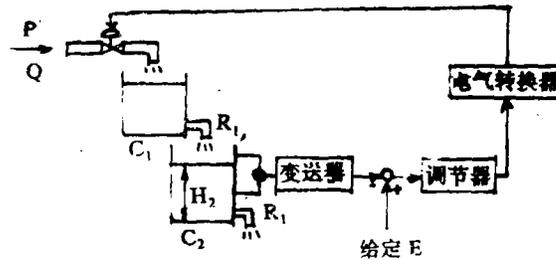


图 1 液位自动检测控制系统

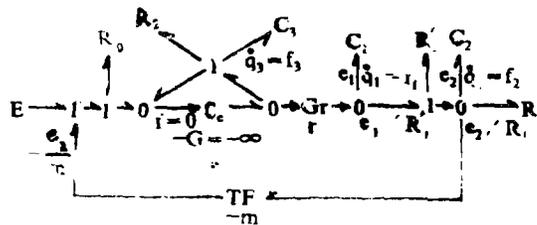


图 2 液位检测系统的实用功率流模型

$$\frac{dq_3}{dt} = -\frac{c_2}{R_0 m} + \frac{E}{R_0}$$

将 $c_1 = q_1 / C_1$ 、 $c_2 = q_2 / C_2$ 、 $c_3 = q_3 / C_3$ 代入上式并加以整理，可获得状态方程的矩阵形式为：

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1 C_1} & -\frac{R_2}{R_0 C_2 m r} & \frac{1}{r C_3} \\ \frac{1}{R_1 C_1} & -\frac{1}{R_1 C_2} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{R_0 m C_2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{R_2}{R_0 r} \\ 0 \\ \frac{1}{R_0} \end{bmatrix} E$$

若以储箱液位 H_2 为输出，介质重度为 ρ ，则有输出方程：

$$[H_2] = [0 \quad \frac{1}{\rho C_2} \quad 0] [q_1 \quad q_2 \quad q_3]^T$$

作为对比，同一对象采用双闭环调节方式（如图3所示）时，可导出相应的实用功率流模型如图4所示。

对应的状态方程为：

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{R_2}{m_1 r R_0 C_1}) & -\frac{R_2 R_2'}{m_2 r R_0 R_0' C_2} & \frac{R_2'}{r R_0' C_3} & \frac{1}{r C_4} \\ \frac{1}{R_1 C_1} & -\frac{1}{R_1 C_2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{m_2 R_0 C_2} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{m_1 R_0 C_1} & -\frac{R_2}{m_2 R_0 R_0' C_2} & \frac{1}{R_0 C_3} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{R_2 R_2'}{R_0 R_0' r} \\ 0 \\ \frac{1}{R_0} \\ \frac{R_2}{R_0 R_0'} \end{bmatrix} E$$

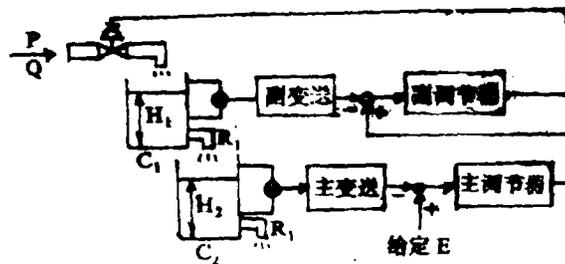


图3 双闭环液位控制系统

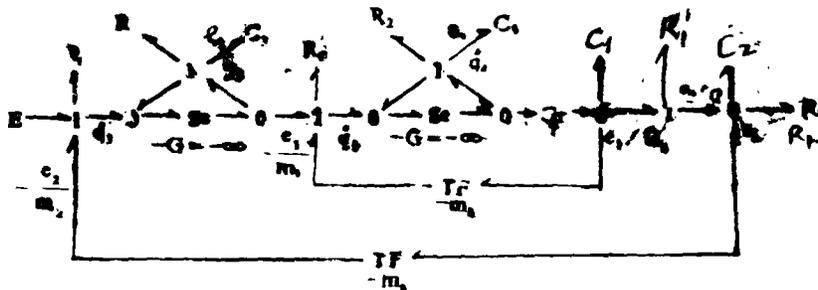


图4 双闭环系统的实用功率流模型

输出方程为:

$$[H_2] = [0 \quad \frac{1}{\rho C_2} \quad 0 \quad 0]$$

$$\times [q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad q_4]^T$$

为考查系统的特性, 在初始条件均为 0, 调节器给定为 2 伏, 其他参数保持不变的情况下对以上两不同系统分别进行计算机数字仿真, 结果如图 5 和图 6 所示。

由图可看出, 单回路情况下, 大约 100 秒左右进入稳态, 峰值约为 0.31; 双闭环情况, 约 20 秒左右进入稳态, 峰值 0.28。该结果与实际常规仪表构成系统所获实验结果是基本吻合的。

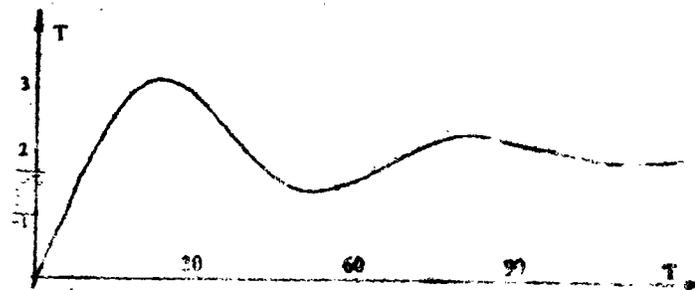


图 5 单回路系统实用功率流模型仿真结果

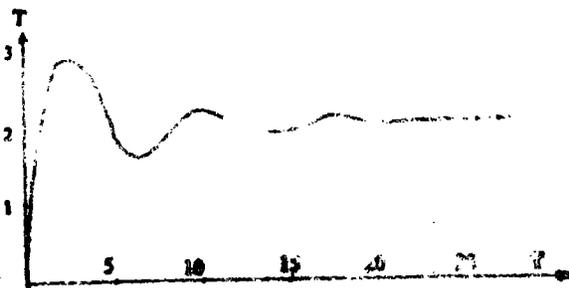


图 6 双闭环系统实用功率流模型仿真结果

3 结束语

实用功率流模型方式的引入, 使建模从几何方法开始, 避开了较为复杂的机理考查、推导与运算过程, 比较简单。这种几何形式所具有的“单元组合”之特征, 又使其非常直观。各种参量, 不论是隶属于电学的、力学的、气体动力学的, 还是流体力学的或热力学的范畴, 都可以以统一的标准形式表达, 这对于自动检测系统有很强适用性。本文为便于说明问题, 仅举一相对简单的对象为例, 实际上, 应用于更复杂一些的对象时, 这种优点将更显突出。对于十几阶、几十阶的高阶系统, 由模型导出状态方程的过程尽管是一些代数运算, 仍是比较麻烦的, 为此, 可编制合适的程序, 将实用功率流模型的几何图形, 按序号、参量值依次直接送入计算机进行仿真, 这显然大大提高、扩展了这种模型的应用价值。

参 考 文 献

- (1) 张是勉, 杨树智编著. 自动检测. 科学出版社, 1987
- (2) Paynter, H.M.. Analysis and Design of Engineering Systems. MIT Press, Cambridge, Mass, 1961
- (3) Karnopp, D.C., and Rosenberg, R.C.. System Dynamics: A Unified Approach, Wiley, New York, 1975

(下转第 48 页)

- (6) 牛焱洲, 钱济成. 弹塑性各向同性损伤介质的守恒积分. 应用数学和力学, 待刊
- (7) 牛焱洲. 弹塑性各向异性损伤介质中的守恒积分方程. 郑州工学院学报, Vol.11, No.2, 1990
- (8) 牛焱洲. 损伤介质中守恒积分的研究. 东南大学学报, Vol.20, No.1, 1990
- (9) 钱伟长. 变分法及有限元(上册). 科学出版社, 1980

On Conservative Laws in Large Deformational Elasticity

Niu Yanzhou

(Mid-South Design Institute For Hydroelectric Projects, Changsha, P.R.China)

Abstract: In this paper, from the minimum potential energy principle and the complementary energy stationary principle in large deformational elasticity, the conservative laws and their dual laws are presented. Based on these laws, the conservative integrals and dual conservative integrals of Fracture Mechanics can be defined easily.

Keywords: elastic theory, elastic bodies, deformation

(上接第 91 页)

The Practical Power Flow Models of the Automatic Measurement Systems

Liang Wei

(Zhengzhou Light Industry Institute)

Abstract: This paper bring out an idea which is about how to build the practical power flow model of the automatic measurement systems. This idea will make the process of building model more terse, more visualized and more standard. It is more convenient and more practicable for us to analyze the systems. So that we can transform the models to be the state equations and make simulation conveniently.

Keywords: automatic detection, power circuits, modeling