第1卷 第3期 电 子 学 通 讯 Vol. 1, No. 3
1979 年 7 月 JOURNAL OF ELECTRONICS July, 1979

信 息 与 系 统*

沈 光 铭
（中国科学院电子学研究所）

提 要

本文论述无线电电子学的一个重要的发展方面——“信息与系统”科学．这里的“信息”不局限于经典信息论；这里的“系统”主要指通用系统理论．通用系统理论是一种抽象的概括，不受物理模型的约束；它既是近代网络、近代控制论和近代通讯理论的有用工具，也是日益发展中系统工程各种课题的共同基础．本文从“电路与系统”发展角度论述一些有关问题，如信息与系统的辩证关系，系统基本单元的数学基础，网络与系统的分野，以及系统理论在电路与系统中的应用性和重要性等．

一、导 言

“信息与系统”是一门新发展中的科学．“信息科学”和“系统科学”是研究“信息与系统”的二个侧重面．信息与系统把信息科学和系统科学紧密地联系在一起，其重要性超出了电子学的范畴．“信息”不仅仅是电信息，也是一切物理量以及社会科学中各种现象所包含的信息．“系统”也不仅是电路、网络和电子系统，而包括：生态系统、交通运输、国防、国家管理系统、工农业生产组织系统等等．信息必定依附系统而存在，在系统中运动、转化和推动系统的发展．所以信息与系统必须作为一个整体来考虑．动态系统中存在着各种信息矛盾，错综复杂、互相牵连．一个没有信息在其中运动着的系统是无生命之体，或是闲置在一旁的机器．

在数学上，把一个系统中欲考虑的矛盾诸因素称为系统的“态集”，把系统以外的空间称为“环境”，“环境”对此特定系统所施加的各种影响为“输入集”．此系统在输入集信息的综合作用下，根据系统的系统特征由“初态”开始演变．在有的系统中，这个态变量本身就是输出；在另外一些情况下，态变量通过制束量构成“输出集”．这种系统分析和设计方法是近代系统理论中重要发展之一．近代系统理论是多元控制的，多态的，既明确地要求获得输出和输入的关系，又把系统内部状态变化的全部内容，在原则上和演电影一样，看得清清楚楚．这就把系统理论（目前较多工作在控制理论、通讯理论和网络理论上）推广到其他领域中去（如实验物理系统、生理生态系统、防务设计系统和社会组织科学问题等等）为自适应、自组织和自产生系统的发展奠定理论基础．

实验物理学的一个基本方法就是把参变量孤立起来一个一个地进行测试和数据分析．在近代系统理论工作中却把欲考虑的参变量置集在一起，把可能施加影响的环境因

* 1979年1月12日收到．

素置集在一起，建立相应的数学模型，进行分析、模拟和设计. 这将大大扩展科学研究的手段和概观. 例如：利用系统研究有可能指导合成新的化合物，提供新的教育方法. 所以也有人说“信息与系统”是科学的科学.

我们要分析和研究的系统是如此复杂，必须借助于数字电子计算机. 所以离散系统、计算机机助设计、信息编码处理和加工、人工智能、自适应系统和系统工程等等则是信息系统科学的应用方面或发展方向.

在这篇报道里，我们将论述“信息与系统”的基本内容、概念和一些数学方法等.

二、信息与信号

首先，我们来研究一下什么是信息. 在日常生活中“书信”是最古老而仍在大量沿用的通讯方法. 我们说：“书信寄消息”；“信息”一词就是从这里提出来的.

“信息”不光是书信里有，诸如：电报、电话、传真、扩播和电视等，显而易见，也都包含有信息. “叶落知秋深”一种自然现象，包含有季节更换的信息. “路遥知马力”一种反映事物功效的信息. 老鼠过街、蚂蚁搬家、牲口闹槽、井水泛浆等自然现象或代表着某种突变事件的预兆、预示着可能发生的暴雨、洪水或地震等的信息. “春雾雨、夏雾火、秋雾凉风冬雾雪”意味着：春雾将带来春雨，夏雾预示大热天，见秋雾知将风矣，冬晨雾后雪花飞. 这些都是几千年来人们从自然现象中观察到的信息事例.

小儿号哭非饥即疾，脉律不齐或有心病，大便带血谨防肠癌，问闻望切中医所识：这些是医学上的信息事例.

“市场繁荣、张灯结彩”表示节日之将来临. “失业人数猛增”说明资本主义国家经济危机. “调兵遣将、积草屯粮”则暗藏着战争危机. 一枚导弹从地下井发射出来包含有战祸信息；导弹进入外层大气后的方向与速度包含有目标信息；导弹飞行背景有噪声信息：这些正是战略防御系统所要对付的国防信息. 众所周知的“电子对抗”技术，若改名为“信息对抗”似乎更确切些.

在工厂里，工人师傅一听到机器中有不自然的格格声，就会指出这是故障信息. 铁道两旁、公路两侧有指导驾驶员行车规章的指示牌，这里包含有重要的交通运输与旅客安全的有关信息.

综上所述，不论是工农业生产、自然现象和社会管理等等，时时刻刻存在着信息和信息的演变.

我们必须注意到：书信以及书信中的文字本身不是信息，而是代表信息的信号或载运信息的工具. 今有一信不过片纸只字，寥寥数言，但你却一遍又一遍地读个没完；这封信对你说来一定有很大的信息量. 另有一封信虽千言万语，但你早已知道其中内容，这封信的信息量几乎等于零. 同理，说话和说话的声音不是信息，只是代表某种信息的信号. “听君一席言，胜读十年书”；“喃喃而语，不知所云”，两个不同的对话有十分悬殊的效果.

上面提到的例子中：“叶落”是信号，“秋深”是信息；“春雾、夏雾、秋雾和冬雾”是信号，相应的“将雨、将火、将风和将雪”则是信息；“格格作声”是信号，“机器故障”是信息；“张灯结彩”是信号，“节日来临”是信息. 所以可以说：信息是抽象的概念，信号是表达此

概念的物理量(一般表示信号的物理量有：力、电、光、声和热等)．信息和信号是共生的，相互依存的；也可以说：信息是内容而信号是外部形式．

对某一信息量或信息率而言，在约束条件下，信号是一个常值．但是对不同信息量或信息率，信号会发生相应的线性或非线性变化；不但会有“量”的变化，也可能发生“质”的变化．例如：地震时可能同时发生光、声、热和机械振荡．又如欲表达某种概念时，可用语言表态，可用文字达意，可以打在传真机上，也可以编码存放到电子计算机中去．

上面说过：信息和信号是共生的，但是它们不能独立存在．信息与信号必依附某一事物(或系统)而存在．当一个事物(或系统)在自激或他激情况下处于不平衡状态时就产生信息或信息变化．产生信息的事物(或系统)被称为“信息源”．代表信息的信号就有可能在事物(或系统)内部流传，并有向外(环境)发送的趋向．

假如我们钻进“信息源”来看，用后面所提到的术语来说，则信息相当于信息源这个特定系统中的“态”，信号则为这个系统的态变量对外界(或环境)所施加的影响(或称输出)．所以信息与信号有某种因果关系，信息与信号本身就是系统的组成部分．

三、系统与系统元

“系统”是特定命题和制束条件下的有组织体制的通称．有组织的自然体制是自然系统、工业生产的机器、零件和产品是人造系统；人与人的社会关系形成各种社会系统．一个“人”是社会系统中一个元素，但是“人”作为一个个体而言，是自然界中一个(高级的)生命系统．从解剖学角度看，若讨论的命题是“消化系统”则从嘴巴到肛门是研究对象；而整个人体和人体以外的空间成为该系统(消化系统)的环境．一个双稳态触发器作为一个系统，它包括二个晶体管，几个电阻和电容；但在某一个运算或控制系统里，这个双稳态触发器退居为一个逻辑单元了．这个运算或控制系统在一架复杂的电子计算机中只能算得上一个分系统罢了．所以说“系统”概念与我们要讨论的命题和要达到的目的有关．

上面提到过：当一个系统在自激或他激的情况下而处于不平衡状态时就产生信息，并有以某种物理量(信号)向外发送的趋向．对某一命题的系统而言，信息源发送的信号总有一个或多个接收对象．信息源和接收器二者构成一个对立统一的矛盾体；我们称此矛盾体为“系统基本单元”简称“系统元”，参见图1(a)．一般说来，接收器在接收到信息源发来的信号以后，会发生状态变化，并对外界施加某种影响(接收器输出)．如图1(a)实线所示的结构称为“开路系统元”．若接收器的输出，部分或全部地，倒转来又施加到信息源，如图1(a)虚线所示，则称为“闭路系统元”．

例如：有一个不满周岁的小孩因饥饿而啼哭；则哭声是信号，饥饿是信息，那个孩子就是信息源．哭声传到母亲耳中，母亲是接收对象是接收器；则孩子和母亲构成一个系统元．显然，这个以“育婴”为命题的系统元是一个闭路系统．接收器(母亲)听到哭声后，略加思考(信息加工)后，就给孩子喂奶去了，使信息源得到新的平衡．这是自然界一个平凡的闭路系统，却是人类社会赖以持续、发展和壮大的最基本的系统之一．

概言之，系统的最基本单元是由信息源和接收器双方所组成的对立统一的矛盾体．信息源和接收器二者之中，至少有一方为有存储或记忆功能的元件或体制．

从数学模式来说，“系统元”就是一个以一阶微分方程所表示的单元系统，其系统图表示图 1 (b) 中. 这里 x 表示系统的一个态，$\dot{x}$ 表示态的时间变化率，a 代表积分器二端的反馈系数，则此系统的微分方程为，

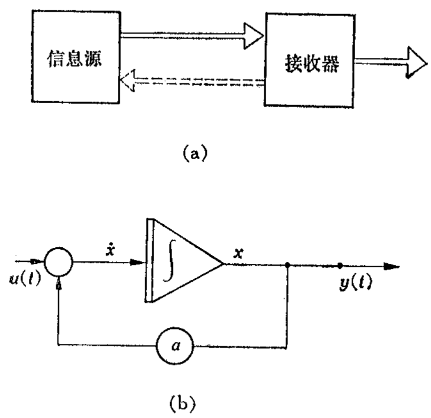
$$\dot{x} = ax, \quad u(t) = 0 \tag{1}$$

因此，

$$x(s) = \frac{x(o)}{s - a} \tag{2}$$

式 (1) 的解为：

$$x(t) = x(o)e^{at} \tag{3}$$



(a) 系统基本单元　(b) 系统元的数学模式

图 1　系统基本单元和它的模式图

在电路理论里，式 (3) 是式 (1) 的暂态解. 系数 a 为在 s–平面上的“极”值；在矩阵里 a 就是无交叉反馈系统的“本征值”. $x(o)$ 为系统始态，或存储于系统里的原始信息. “e^{at}” 代表此系统的自然模；在复数系统里，它代表一个自由振荡(谐振)态. 在系统理论里，式 (3) 代表系统的“零输入解”. 由此可见，系统的零输入解，决定于系统的“始态”和“自然模”.

我们将会碰到的许多系统远比此系统元繁复得多，但是对此系统元的一般理解有普遍性意义. 在这里，将不同学科(数学、物理和电学)的概念在信息与系统科学里贯穿起来，这是“信息与系统”巨大威力的一个方面. 这一些将在后面再次讨论.

总之，信息和信号必须运行于一定的系统之中，信号携带着信息在系统中流通、转换、加工乃至推动系统的发展. 没有信息和信号在其间运行的系统是无生命之体或闲置于一旁的机器. 所以信息、信号与系统是不可分割的整体.

“花儿为什么这样红！鸟儿为什么婉转歌唱”！这是诗人语言. 但对“信息与系统”工作者来说，这二句话包含着重要的科学哲理：激素、遗传因子、生物钟、……等等.

四、网　　络

网络，简单说来，可以认为是许多不同个体根据某种机理或要求而交织在一起的具有一定性能的集合体. 例如，由电阻、电容和电感组成的无源网络；由电抗元件和晶体管等器件所组成的有源网络等.

在网络中，有线性和非线性之分；有时变和时不变之分；有分布和集中之分；还有如上述的有源和无源之分等. 在非电网络中，有交通运输网络，生物网络和化学网络等近代课题.

在网络理论中：用数学方法来模型化和表达一个网络的特性，以及解出它在输入信息影响下对外界的作用(输出)则称为网络分析；倒转来，在某一特定要求下来设计一个(或多个)符合要求的网络称为网络综合. 近年来，网络作为一个学科已逐渐被“信息与系统”所吸收. 在下一节中将进一步讨论这个问题.

五、系统的数学方法

在上面讨论中，我们似乎看不出网络和系统有什么本质不同．诚然，近代系统理论基本上吸收了网络；网络分析和综合是系统理论的组成部分．

就电网络而言，根据定义，网络是由电元件所组成．问题是如何定义“元件”．五十年代以前，元件主要指电阻、电容、电感和电子管．正如上面所提到过的，一个由阻容感和晶体管所组成的双稳态触发器就是一个网络．由于半导体技术的突飞猛进，一个大规模集成电路里远不只包括一个双稳态单元．所以原来的网络退居为一个元件或甚至是几十分之一个元件了．这样，系统概念就突出来了．另一方面，系统的分析方法可以应用于网络．事实上，上面所讨论的“系统元”本来就是一个简单的网络问题．

就系统的数学方法而言．第一代系统理论（五十年代和五十年代以前）无例外地采用微分方程、拉普拉斯和傅里叶变换，多在频域中进行分析．第二代（六十年代）发展到态变量方法，线性系统的时域分析方法重又获得活力．第三代（七十年代）系统理论学家，综合了前二代人的成果，将态变量法，矩阵和变换等不同数学方法组合在一起，使系统理论的内容大为改观；系统科学面向多种学科受到近代科学技术界的普遍重视．

最有说服力说明这种网络和系统的亲缘关系的莫甚于数学模式．

参见图 1 (b)，若输入信号 $u(t)$ 不等于零，则式 (1) 微分方程应改写为：

$$\dot{x} = ax + bu \tag{4}$$

其解为

$$x(t) = x(o)e^{at} + \int_o^t e^{a(t-\tau)} bu(\tau) d\tau \tag{5}$$

式 (4) 和式 (5) 是网络范畴问题；例如一个电源通过一个电阻向一个电容的充电过程就可以用式 (4) 来描述．

在系统范畴里，态矢量方程为：

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{6}$$

其通解为，

$$x(t) = x(o)e^{At} + \int_o^t e^{A(t-\tau)} Bu(\tau) d\tau \tag{7}$$

这里，矩阵 A 和 B 分别为，

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \tag{8}$$

和

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \tag{9}$$

式 (6) 的展开式为，

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n + b_{11}u_1 + b_{12}u_2 + \cdots + b_{1n}u_n \\ \dot{x}_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n + b_{21}u_1 + b_{22}u_2 + \cdots + b_{2n}u_n \\ \vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad\qquad\qquad \vdots \\ \dot{x}_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n + b_{n1}u_1 + b_{n2}u_2 + \cdots + b_{nn}u_n \end{cases} \tag{10}$$

这里；x_1，$x_2\cdots x_n$ 是系统各态；$\dot{x}_1$，$\dot{x}_2\cdots\dot{x}_n$ 是态的变化率；参数 a_{11}，$\cdots a_{nn}$ 描述系统各态相互交织或相互牵制的情况，用矩阵 A 表之；u_1，$u_2\cdots$，u_n 代表环境对此系统所施加的影响元(输入信号)；参数 b_{11}，$\cdots b_{nn}$ 则代表各元对系统各态所施加影响的程度和分配方法，用矩阵 B 表之.

以式(6)比式(4)，以式(7)比式(5)；可见它们之间的差别在于 a 与 A，b 与 B 之间. 当然在式(4)和式(5)中 x 只代表一个变量，而在式(6)和(7)中 x 代表一个系统中 n 个态的"态集". 同样，在式(4)和(5)中，u 代表一个输入信号，而在式(6)和(7)中 $u(t)$ 代表环境对系统种种影响的"输入集". 当 $n=1$ 时，$A\to a$，$B\to b$，则式(6)和式(7)分别简化为式(4)和式(5). 可见网络范畴只是系统问题的一个特例，网络发展为系统并逐步被系统所吸收. 当 $n=2$ 时，式(10)简化为:

$$\left.\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_{11}u_1 + b_{12}u_2 \\ \dot{x}_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + b_{21}u_1 + b_{22}u_2 \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

图2实线表示这个二阶系统图. 原则上，n 大小是无限制的，n 为正整数.

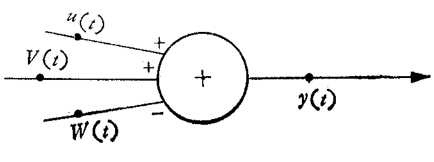
在许多系统中，系统的态变化本身构成输出；若再加上输入信号对输出的直接联系，则有:

$$y = Cx + Du \tag{12}$$

这里，y 是系统对"环境"的影响，即系统输出，矩阵 C 表示系统各态对环境影响的方式和权重，矩阵 D 表相对于系统的输出入信号间相互牵连的定量关系. 图2的虚线部分表示出式(12)的含意. 图3表示一个 n 态的系统图，它具有系统模型的普遍性意义.

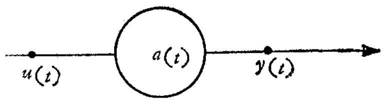
要求定量地描述在外界影响下一个系统的动态和它对外界的反影响，首先要提取系统特征，建立系统模型；这就是说要确定数学模式和相应的系统图. 今令:

[加法]



$$y(t) = u(t) + V(t) - W(t) \tag{13}$$

[标量乘法]



$$y(t) = a(t)u(t) \tag{14}$$

这里 $a(t)$ 是增益的时间函数.

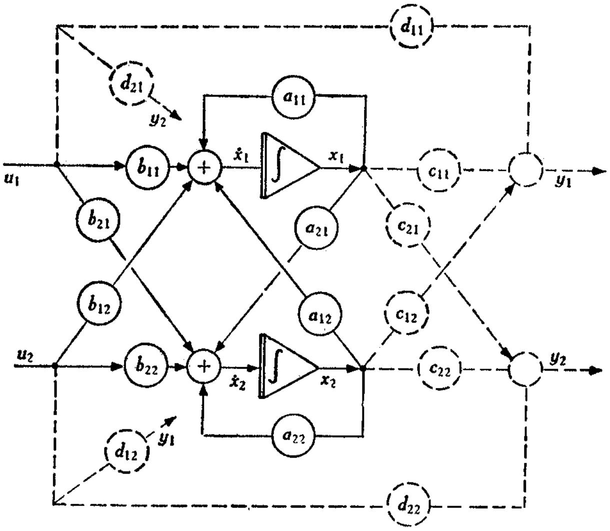
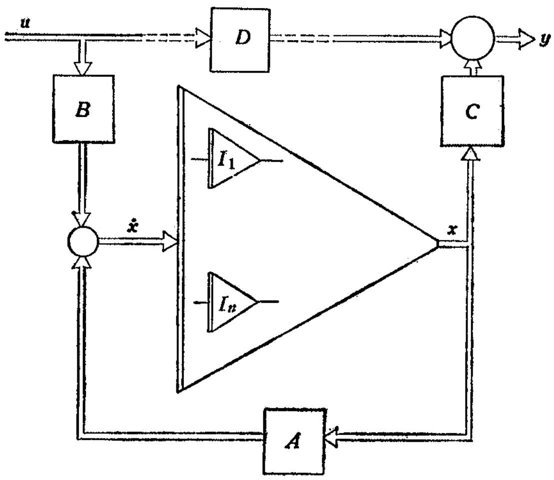


图 2　二阶微分方程系统图



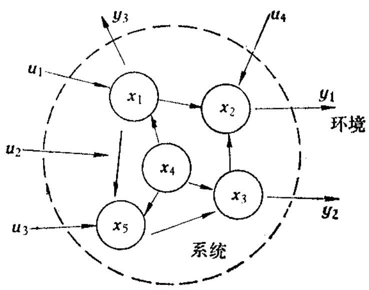
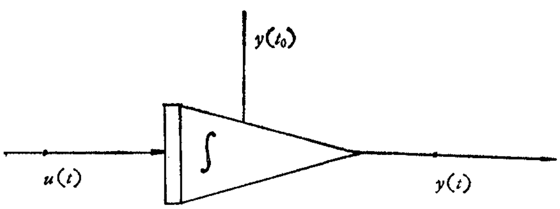


图 3　n 阶系统图

[积分]



$$y(t) = y(t_0) + \int_{t_0}^{t} u(\tau)d\tau \tag{15}$$

这里 $y(t_0)$ 是积分器始值.

利用上面几个基本运算的作图法可以对线性的、决定性的和连续的系统进行模式化.

如一个三阶常系数微分方程，

$$\frac{d^3y}{dt^3}+a_2\frac{d^2y}{dt^2}+a_1\frac{dy}{dt}+a_0y=u(t) \tag{16}$$

可作系统图如图 4 所示.

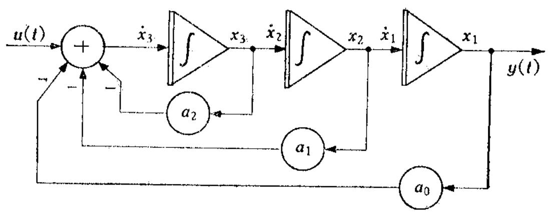


图 4 三阶微分方程系统图

由图 4 可见积分器的端信号(或系统的态)和输出 y 之间的关系有，

$$\left.\begin{aligned} x_1&=y\\ x_2&=\dot{y}\\ x_3&=\ddot{y}\end{aligned}\right\} \tag{17}$$

并可写出它们的变化率，

$$\left.\begin{aligned} \dot{x}_1&=x_2\\ \dot{x}_2&=x_3\\ \dot{x}_3&=-a_0x_1-a_1x_2-a_2x_3+u\end{aligned}\right\} \tag{18}$$

这样，我们把一个三阶微分方程式(16)，变换成一个态矢量方程，

$$\dot{x}=Ax+Bu \tag{19}$$

这里

$$A=\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\\ -a_0 & -a_1 & -a_2\end{bmatrix} \tag{20}$$

$$B=\begin{bmatrix}0\\0\\1\end{bmatrix} \tag{21}$$

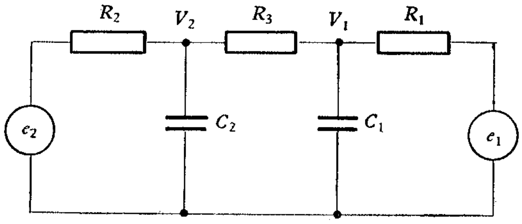
我们发现：矩阵 A 对角线以上的“1”代表直接相连积分器的结点，而所有反馈系数都在第三行(即最后一行)上.

现在可以简单地这样概括：研究 n 态的态矢量方程相当于解一个 n 阶微分方程；态的物理意义可以理解为系统内部具有独立记忆能力单元的集体量变过程；系统内部有 n 个这样单元，就有 n 个态. 在网络范畴里，只求输出和输入关系；在系统范畴里，既问输出入关系，又要求知道系统内部各态的演变情况.

今用一个具体电路，参见图 5(a)，为例子说明态矢量方程的求解规律和某些特性. 图 5(a) 中这个电路有二个独立的记忆元件 C_1 和 C_2，所以是一个二阶电路系统. 令 C_1 和 C_2 上的电压 v_1 和 v_2 为二个态，就电路的结点方程可以得出态矢量式如下：

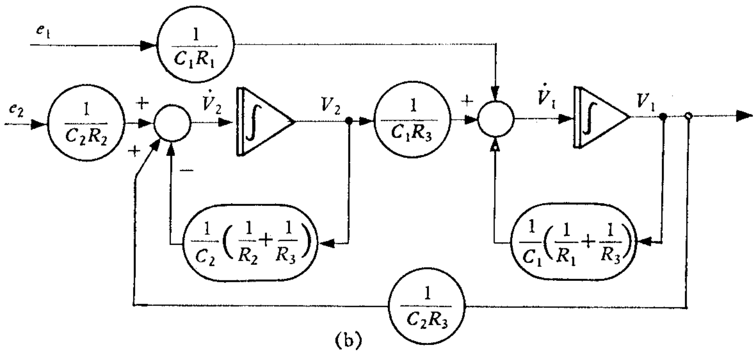
$$\dot{v}=Av+Be \tag{22}$$

这里



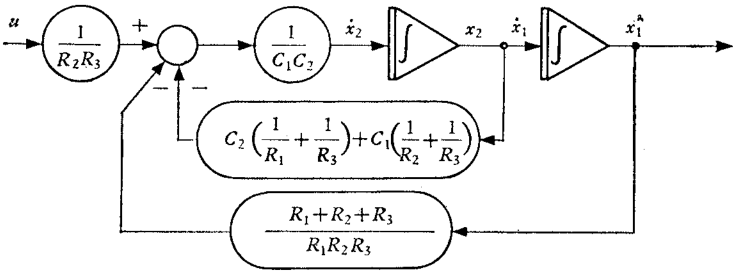
(a)

(a) 二态电路



(b)

(b) 二态电路的系统图



(c)

(c) 以 e_2 为主输入 ($e_1 = 0$), v_1 为输出的系统图

图 5　一个二阶微分方程电路和它的系统图

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{C_1}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_3}\right) & \frac{1}{C_1R_3} \\ \frac{1}{C_2R_3} & -\frac{1}{C_2}\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right) \end{bmatrix} \tag{23}$$

和

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{C_1R_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_2R_2} \end{bmatrix} \tag{24}$$

此外，e 是输入，即电路中的 e_1 和 e_2。对应于式 (23) 的系统图则表于图 5 (b) 中，其中二个积分器不是直接相连的。

上面我们曾经举例说明微分方程过渡到态矢量系统方程；倒转来，显然也是可能的。

若让本例中的 e_2 为输入，v_1 为输出，令 $e_1 = 0$，并消去 v_2 则有：

$$a_2 \frac{d^2 v_1}{dt^2} + a_1 \frac{dv_1}{dt} + a_0 v_1 = b_0 e_2 \tag{25}$$

这里，

$$\left.\begin{aligned} a_2 &= \frac{1}{C_1 C_2} \\ a_1 &= C_1\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) + C_2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}\right) \\ a_0 &= \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 R_2 R_3} \\ b_0 &= \frac{1}{R_2 R_3} \end{aligned}\right| \tag{26}$$

若让 $x_1 = v_1$，$x_2 = \dot{v}_1$：为我们指定的二个态，则式 (25) 过渡到另一个态矢量方程，

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\dfrac{a_0}{a_2} & -\dfrac{a_1}{a_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \dfrac{b_0}{a_2} \end{bmatrix} u \tag{27}$$

和上式相应的系统图表于图 5 (c) 中，这里 $u = e_2$. 一样是图 5 (a) 中电路，因所取的态不同，导致二个不同的系统图，图 5 (b) 和图 5 (c)，这说明在系统理论中命题的重要性.

式 (6) 态矢量系统方程，结合了微分方程，矩阵和态空间矢量概念，可以在时域里求解；这正是上文所交待的，是第二代系统理论的特点. 第三代系统理论再又从时域发展到(复数)频域并在(复数)频域里求解. 我们可以将式 (10) 逐项进行拉普拉斯变换，然后并项整理而得，

$$[s\mathrm{I}-A]x(s) = x(o) + Bu(s) \tag{28}$$

这里，I 是幺矩阵. 这样得出 x 集在 s-域里的表示式，

$$x(s) = [s\mathrm{I}-A]^{-1}\{x(o) + Bu(s)\} \tag{29}$$

式 (29) 展开后成为，

$$\begin{bmatrix} x_1(s) \\ x_2(s) \\ \vdots \\ x_n(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{D(s)} \{Adj[s\mathrm{I}-A]\} \left\{ \begin{bmatrix} x_1(o) \\ x_2(o) \\ \vdots \\ x_n(o) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(s) \\ u_2(s) \\ \vdots \\ u_n(s) \end{bmatrix} \right\} \tag{30}$$

式 (30) 说明系统中态的复频变换决定于态的始值、环境对系统的影响和系统的内部结构. 式 (30)，虽很复杂，但给出了系统的全息信息，因为 $D(s) = 0$ 时决定系统的自然模，而 $D(s)$ 影响到所有的态，所以系统的全部自然模原则上将发生在系统的每一个态上.

当 $n = 1$ 时，式 (30) 简化为

$$x(s) = \frac{x(o)}{s - a} + \frac{bu(s)}{s - a} \tag{31}$$

它的反变换即上面给出的式 (5).

当 n 等于任意正整数时，式 (30) 的通解就是它的反拉普拉斯变换，所以有：

$$x(t) = x'(t) + x''(t), \tag{32}$$

这里，

$$x'(t) = L^{-1}\{[sI-A]^{-1}x(o)\} = \Phi(t)x(o), \tag{33}$$

和

$$x''(t) = L^{-1}\{[sI-A]^{-1}Bu(s)\} = \int_0^t \Phi(t-\tau)Bu(\tau)d\tau \tag{34}$$

我们分别称 $x'(t)$ 和 $x''(t)$ 为“零输入解”和“零始值解”。组合零输入解和零始值解得系统方程的通解：

$$x(t) = \Phi(t)x(o) + \int_0^t \Phi(t-\tau)Bu(\tau)d\tau \tag{35}$$

或者

$$x(t) = e^{At}x(o) + \int_0^t e^{A(t-\tau)}Bu(\tau)d\tau \tag{36}$$

这里，

$$\Phi(t) = e^{At} \tag{37}$$

被称为“过渡矩阵”。利用过渡矩阵解系统方程并不一定是最有效方法，但是帮助我们在这里说明了从网络到系统的内在联系以及系统发展过程的部分内容。式(6)和式(12)，当然，不是唯一的系统方程组；系统理论正在发展中。

六、后　　言

一种重要的发展常常导致一种重要的近代工业，如半导体工业，计算机工业、激光工业和药物工业等等。有的近代技术常表现为看得见的实物，如：电视机、轧钢机、拦水坝等等。而“信息与系统”之所以重要并不在于能否举出一种或二种实物来说明它的重要性。“信息与系统”是搞“软件”的科学，是科学技术中的“上层建筑”，它贯穿于一切人类活动以及人类改造自然的过程之中。我们将用系统方法定量地：从事全球性气候预报工作；考虑南水北调方案；改造黄土高原；勘探和开发石油；设计高度自动化钢铁联合企业；设计超大规模集成电路；综合电子系统；研究产品的最佳设计；探讨最有效的管理方法；指导大规模化学合成和合成新材料；合理地利用地球上有限资源和探讨人类赖以生存的空间有关问题等等。并不是说所有上述课题都已圆满地解决了，而是说，由于“信息与系统”科学的发展，解决上述课题的可能性再也不是科学幻想了。事实上，在某些方面已做出了可观的成绩：语言识别、图象处理、机器人、高命中率的军事装备和高度自动化的生产流水线以及遥感器的成象处理等最新成就，都贯穿着以“信息与系统”为基础的软件；通过高速大容量计算机而发挥巨大威力，高效率地推动近代文明向前发展。“信息与系统”的实践方面，就是利用数字电子计算机解决各种系统问题。

“信息与系统”在发展中，发展中的“信息与系统”，将在创造“高效率”的世界过程中起到日趋重要的作用。