

一个用于电路设计的实验性 专家系统“模块”*

方永绥 陆佶人
(中国科学院电子学研究所) (南京工学院)

胡宗煌 王兆明
(山东大学) (成都电讯工程学院)

提 要

建立了一个用于模拟电路设计的称为“模块”的实验性专家系统,目的在借此研究实现高水平电路专家系统的途径及方法。“模块”系统只需根据给定的对电路的输出及输入信号的要求,就能自动而快速地完成电路的方框设计,而这些工作通常是需要由电路设计者来完成的。

一、专家系统及基本概念

专家系统是人工智能的一个重要而实用的方面。1979年, A. Simon^[1]报道了用于发现物理定律的实验性专家系统 Bacon-3。近几年来,国内外不同专业的学者与计算机专家合作,正根据自己的需要来探索、研制各类专家系统,尝试用于医疗诊断、地质探矿、石油工程等。本文报道的是我们研究电路设计专家系统的初步结果。

现有的计算机辅助电路设计(CAD),一般均要求让机器知道电路的拓扑及电路中各元件的性质,然后由机器对元件参数进行调整及优化,直至满足要求。也就是说电路的基本结构(拓扑及元件的性质)的选定是由人的大脑而不是由机器来完成的。用于电路设计的专家系统应是只需根据对电路的输出输入要求(及其它附加要求),按照该系统所掌握的电路方面的专业知识,就能自动地选定电路的拓扑及元件的性质,进而设计出满足要求的电路来。为此,要解决以下两个问题^[2]:

(1) 如何把关于电路设计的知识,如电路定律、有源元件及无源元件的特性、集成电路参数、电路综合方法等,表达为适当的便于计算机掌握的形式,并使之构成必要并且完备的体系,即建立知识库的问题。

(2) 研制适当的启发式程序,使机器能根据问题的要求及知识库中的知识找到解答。

建立一个能解决各种类型复杂的电路设计问题的专家系统将是一个工作量相当大的

* 1983年9月26日收到,1984年10月17日修改定稿。

课题。为了探索途径和方法,我们先把问题局限在较小的范围内。

在这里,模拟电路的设计表达为求一个能实现将一组输入谱线变换到一组输出谱线的系统,亦即把问题放在频域中来考虑,以便计算机处理,这可写成:

$$[V_1(\omega), I_1(\omega)] \xrightarrow{C=?} [V_2(\omega), I_2(\omega)], \quad (1)$$

其中

$$\begin{aligned} V_1(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} v_1(t) e^{-j\omega t} dt, & I_1(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} i_1(t) e^{-j\omega t} dt; \\ V_2(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} v_2(t) e^{-j\omega t} dt, & I_2(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} i_2(t) e^{-j\omega t} dt; \end{aligned}$$

$v_1(t)$ 及 $i_1(t)$ 分别为待求电路输入端的已知信号电压及信号电流; $v_2(t)$ 及 $i_2(t)$ 分别为待求电路输出端的已知信号电压及信号电流; C 代表所需的变换系统,亦即待设计的电路。

当 $v_1(t)$ 、 $v_2(t)$ 、 $i_1(t)$ 、 $i_2(t)$ 为时间的周期函数时,相应的 $V_1(\omega)$ 、 $V_2(\omega)$ 、 $I_1(\omega)$ 、 $I_2(\omega)$ 为离散的,可分别表示为

$$\text{电压输入} = [\omega_i^{IV} | \dot{V}_i^{IV}] = \begin{bmatrix} \omega_0^{IV} & | & \dot{V}_0^{IV} \\ \omega_1^{IV} & | & \dot{V}_1^{IV} \\ \vdots & | & \vdots \\ \omega_n^{IV} & | & \dot{V}_n^{IV} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\text{电压输出} = [\omega_j^{OV} | \dot{V}_j^{OV}] = \begin{bmatrix} \omega_0^{OV} & | & \dot{V}_0^{OV} \\ \omega_1^{OV} & | & \dot{V}_1^{OV} \\ \vdots & | & \vdots \\ \omega_m^{OV} & | & \dot{V}_m^{OV} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

其中 $\omega_i^{IV}(i=0, 1, \dots, n)$ 是输入电压中包含的频率谱线, $\dot{V}_i^{IV}(i=0, 1, \dots, n)$ 是谱线 ω_i^{IV} 所具有的复振幅; $\omega_j^{OV}(j=0, 1, \dots, m)$ 是输出电压中包含的频率谱线, \dot{V}_j^{OV} 是谱线 ω_j^{OV} 所具有的复振幅。

$$\text{电流输入} = [\omega_l^{IC} | \dot{I}_l^{IC}] = \begin{bmatrix} \omega_0^{IC} & | & \dot{I}_0^{IC} \\ \omega_1^{IC} & | & \dot{I}_1^{IC} \\ \vdots & | & \vdots \\ \omega_k^{IC} & | & \dot{I}_k^{IC} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\text{电流输出} = [\omega_g^{OC} | \dot{I}_g^{OC}] = \begin{bmatrix} \omega_0^{OC} & | & \dot{I}_0^{OC} \\ \omega_1^{OC} & | & \dot{I}_1^{OC} \\ \vdots & | & \vdots \\ \omega_p^{OC} & | & \dot{I}_p^{OC} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

其中 $\omega_l^{IC}(l=0, 1, \dots, k)$ 是输入电流中所包含的频率谱线, $\dot{I}_l^{IC}(l=0, 1, \dots, k)$ 是谱线 ω_l^{IC} 所具有的复振幅; $\omega_g^{OC}(g=0, 1, \dots, p)$ 是输出电流中所包含的频率谱线, $\dot{I}_g^{OC}(g=0, 1, \dots, p)$ 是谱线 ω_g^{OC} 所具有的复振幅。

下面引入若干基本概念及符号,以便讨论。

(1) 输入、输出及态

INP——一组表达系统输入端信号的完备量,简称输入,具体内容如式(2)及式(4)

所示,也可以取其它方式.

OUT——一组表达系统输出端信号的完备量,简称输出,具体内容如式(3)及式(5)所示,也可以取其它方式.

S_i ——一组表达在系统某一中间位置 i 上的信号的完备量,简称态. $S_1 = INP$, 亦称初始态. $S_f = OUT$, 为终态.

(2) 差别函数

$D(S_i, S_j)$ ——用以表达处于态 S_i 及态 S_j 的信号之差别的一组完备量;

$D(INP, OUT)$ ——用以表达输入与输出之差别的一组完备量;

$D(INP, OUT) = D(S_1, S_f)$; $D(S_i, S_j) = 0$ 表示 S_i 与 S_j 全同,即无差别.

(3) 目标

为了使差别函数 $D(S_i, S_j)$ 部分*或全部为零所需解决的任务,称为目标 $G_{i,j}$.

(4) 操作子

操作子是实现目标的具体手段. 在本文中它代表具有某种功能的电路块. 操作子 $R_{i,j}$ 使处于态 S_i 的信号通过它的变换而变为态 S_j , 记作 $S_i \xrightarrow{R_{i,j}} S_j$. 操作子间的级联关系用乘号表达,即 $R_{i,j} \cdot R_{j,k} = R_{i,k}$.

(5) 知识库

由计算机程序控制的、由程序中的判决规则或存储器中的内容表达的信息集合. 据此,机器能根据目标找到相应的操作子.

图1及图2给出了我们考虑的构造电路专家系统的两种可能方式. 在建立“模块”系统时我们采用了图1的方式.

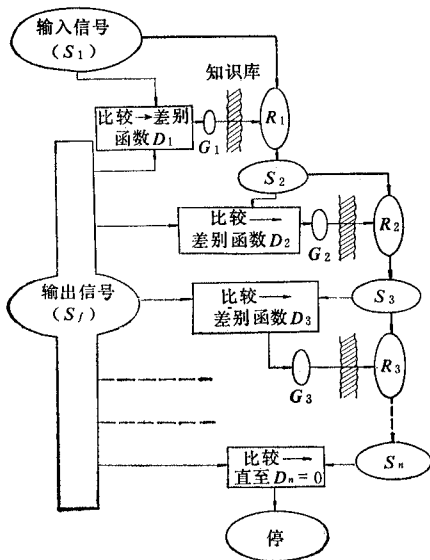


图1 串行方式

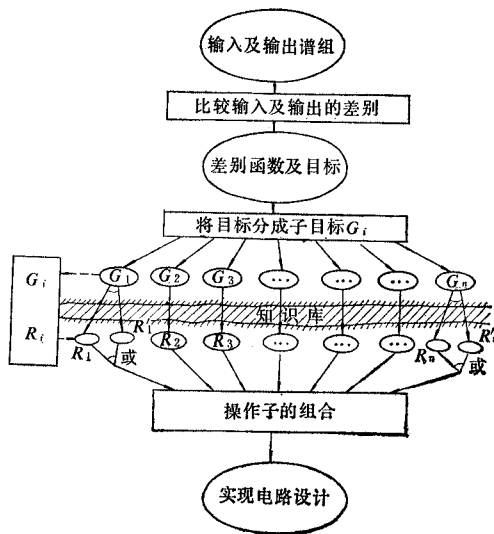


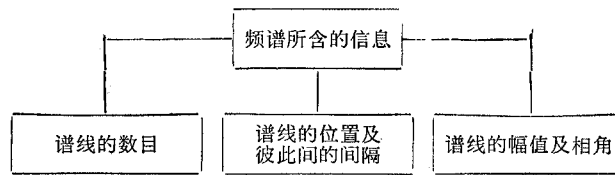
图2 并行方式

* 指其中某一项为零.

二、“模块”系统的要点

“模块”系统在接受待设计的电路的输入谱组 INP 及输出谱组 OUT 后, 就对它们进行一系列的比较, 找出差别函数, 确定目标, 并通过判决找出实现目标的操作子。用作比较及判决的完备信息是谱线的数目、谱线的位置(即频率值)及彼此间的间隔、每一谱线的幅值及相角, 如表 1(a)、(b)、(c) 所示。

表 1
(a) 频谱所含的信息



(b) 单根谱线所含的信息

位置 ω_i	幅值 A_i	相角 φ_i
---------------	----------	----------------

(c) 谱组所含的信息

位置差 $\omega_{i+1} - \omega_i$	幅值差 $A_{i+1} - A_i$	相角差 $\varphi_{i+1} - \varphi_i$
相对位置差 $\frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{\omega_i}$	相对幅值差 $\frac{A_{i+1} - A_i}{A_i}$	相对相角差 $\frac{\varphi_{i+1} - \varphi_i}{\varphi_i}$

下面是比较和判决的主要步骤:

(1) 比较 INP 及 OUT 中包含的谱线数目 N_i 及 N_o , 如果 $N_i < N_o$, 则调用非线性部分的操作子(“振荡器”、“混频器”等)待命;

(2) 将 INP 及 OUT 中所包含的频率相同的谱线消去, 如果 OUT 中有某些谱线未被消去, 则调用非线性操作子, 否则调用线性操作子(“滤波器”、“放大器”、“衰减器”、“短路线”等);

(3) 检查在 INP 中是否有某些未被消去的谱线, 如有, 则调操作子“滤波器”待命;

(4) 计算 INP 及 OUT 中所含的频率相同的谱线间的幅值比, 如果幅值比不是一个常数值, 则调操作子“滤波器”待命, 否则算出增益 A ;

(5) 如果 $A > 0$, 则调操作子“放大器”待命, 如果 $A < 0$, 则调操作子“衰减器”待命, 否则调操作子“短路线”。

在程序流程支线上进行的比较和判决将进一步对待命的操作子的内容细分, 以决定具体的类型及应有的参数, 这里从略。

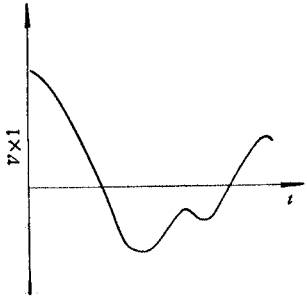
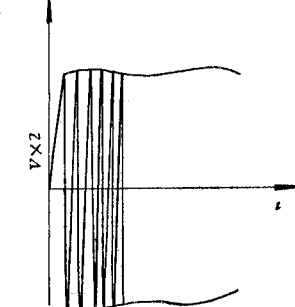
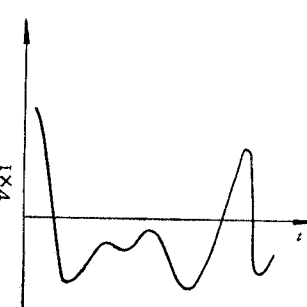
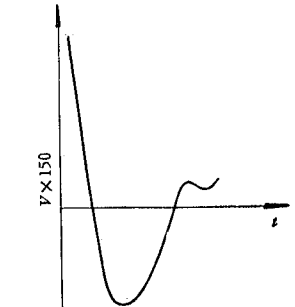
在知识库中还存放着某些标准规格的操作子, 如标准放大器 1, 标准放大器 2, ……等等。如果正好适用于某问题中所需的性能参数要求, 则机器将提出建议。为简化起见, 操作子的特性均暂予理想化, 如滤波器不计损耗、混频器效率为 1 等等。

三、考核例题及小结

我们用 FORTRAN-IV 语言约 700 条语句的程序完成了上述“模块”系统。该系统具有的能力如表 2 给出的两个典型考核结果所示。

由于赋予机器的专业知识尚很有限，“模块”只是一个实验性的系统，主要目的是要弄

表 2 考核例题

所设计电路的输入 INP	所设计电路的输出 OUT	计算机对问题的回答
 $[\omega_j V_j] = \begin{bmatrix} 50 & 5.0 \\ 60 & 6.0 \\ 80 & 7.0 \\ 100 & 6.0 \\ 110 & 5.0 \end{bmatrix} \text{ kHz}$	 $[\omega_j V_j] = \begin{bmatrix} 1130 & 10.0 \\ 1140 & 12.0 \\ 1160 & 14.0 \\ 1180 & 12.0 \\ 1190 & 10.0 \end{bmatrix} \text{ kHz}$	<p>(1) 先接入一个混频器,本振频率 $f_c = 1080\text{kHz}$, 然后联滤波器如(2)所述;</p> <p>(2) 一个带通滤波器,特性为 $\left\{ \begin{array}{l} \text{中心频率 } f_0 = 1159\text{kHz} \\ \text{带宽 } \Delta f = 86\text{kHz} \\ \text{级数 } N = 7 \text{ (Butterworth 型)}, \end{array} \right.$ 然后联放大器如(3)所述;</p> <p>(3) 一个放大器,其特性为 $\left\{ \begin{array}{l} \text{中心频率 } f_0 = 1160\text{kHz} \\ \text{带宽 } \Delta f_0 = 60\text{kHz} \\ \text{增益 } G = 6.02\text{dB}, \end{array} \right.$ 建议取用 No. 2 标准放大器</p>
 $[\omega_j V_j] = \begin{bmatrix} 2005 & 0.1 \\ 3400 & 0.1 \\ 5000 & 0.1 \\ 5100 & 0.1 \\ 5300 & 0.1 \\ 7600 & 0.1 \\ 7800 & 0.1 \end{bmatrix} \text{ kHz}$	 $[\omega_j V_j] = \begin{bmatrix} 5000 & 15.0 \\ 5100 & 15.0 \\ 5300 & 15.0 \\ 7600 & 15.0 \\ 7800 & 15.0 \end{bmatrix} \text{ kHz}$	<p>(1) 只须用线性模块;</p> <p>(2) 先接入高通滤波器,其特性为 $\left\{ \begin{array}{l} \text{中心频率 } f_0 = 6400\text{kHz} \\ \text{带宽 } \Delta f = 3000\text{kHz} \\ \text{级数 } N = 24 \text{ (Butterworth 型)}, \end{array} \right.$ 然后联放大器如(3)所述;</p> <p>(3) 一个放大器,其特性为 $\left\{ \begin{array}{l} \text{中心频率 } f_0 = 6400\text{kHz} \\ \text{带宽 } \Delta f' = 2800\text{kHz} \\ \text{增益 } G = 43.52\text{dB}, \end{array} \right.$ 无标准放大器可取用,需另寻。</p>

清构造一个专家系统将遇到什么问题及如何去解决,为进一步的工作提供基础模型。

当前鉴于集成电路的大量应用,电路愈来愈模块化。电路设计者的工作可以不必细到决定单个基础元器件(晶体管、电阻、电容、电感等),而在很大程度上只要决定电路的方框图和模块,特别是对于数字电路。另一方面,集成块的种类繁多,查手册、查数据很费时间,因此建立一个专家系统,将有关知识及数据存入知识库,由机器来代替人进行某些设计,看来是很有必要的。本文的工作表明,这也是完全可能的。

本项工作是作者在美国俄亥俄大学进修期间完成的,谨对俄亥俄大学电机系所提供的方便表示感谢。

参 考 文 献

- [1] A. Simon, The Bacon-3 Artificial Intelligence System, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on A. I., in Japan, 1979.
- [2] 方永绥等,电子学报,1979年,第1期,第83页。

A PRELIMINARY EXPERT SYSTEM “BLOCK” FOR ANALOGOUS CIRCUITS DESIGN

Fang Yongsui

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

Lu Jiren

(Nanjing Institute of Technology)

Hu Zongxuan

(Shandong University)

Wang Zhaoming

(Chengdu Institute of Radio Engineering)

In order to study the approach of realizing a high level system on circuits design, an experimental model system named “Block” is proposed and described in this paper. The “Block” system is able to work out automatically the diagram of an analogous circuit only according to the given specifications of the input and output signals of the circuit. Ordinarily, this job must be under taken by the designer not by the machine.