

开关电流网络的信号流图分析法*

杨嘉澍 吴杰 李学田 宋明 童调生

(湖南大学电气工程系 长沙 410082)

摘要 开关电流作为一种新的电流模式技术已经成为电流模式信号处理的前沿课题。本文引入“偶镜”和“奇镜”的概念,提出了开关电流网络的信号流图分析法,并把它用于对开关电流滤波器的分析研究。计算机仿真结果验证了本文方法的正确性和可行性。

关键词 开关电流,奇镜,偶镜

1 引言

1989年, J. B. Hughes 等人^[1]提出开关电流这一新的模拟采样数据信号处理技术。鉴于开关电流网络的种种优点^[1-3],已经引起国内外学术界的重视。开关电流技术作为电流模式信号处理的热点课题,相继在国内外的一些学术刊物上有所报道,但对于开关电流网络的分析方法研究尚未开展。本文在此提出了一种适用于开关电流网络的信号流图分析法。

信号流图法是表示复杂系统的一种简捷、有效的分析方法。可以从一个代表给定系统的方块图得到信号流程的几何图,也可以由描述系统的线性代数方程得到信号流图。然后,根据信号流图的理论,从网络的信号流图上进行一些等效的简化,找到所需求解系统的转移函数。本文从表征系统性质的方块图出发,得到系统的信号流图,再利用信号流图理论进行分析。为此,提出奇镜和偶镜两个概念。

2 奇镜和偶镜

迄今发展的网络综合技术主要是在频域上进行的。网络分析作为网络综合的理论基础,也希望将开关电流网络描述为频域上的网络。值得注意的是开关 ϕ_1 (偶相)和开关 ϕ_2 (奇相)所起的作用,使得开关电流网络的求解不同于一般电路。在 J. B. Hughes 等人提出的电路模型中,基本组成为图 1 所示的通用块,由此构成各种复杂的开关电流网络。把图 1 中含有奇相开关的电流镜定义为奇镜 (odd mirror),把含有偶相开关的电流镜定义为偶镜 (even mirror),见图 2。对于奇镜和偶镜都存在着两个信号通道,即奇相信号通道和偶相信号通道。奇相信号通道传送奇相电流信号,偶相信号通道传送偶相电流信号,奇镜的奇相信号通道与偶镜的奇相信号通道相连接,奇镜的偶相信号通道与偶

1994-03-14 收到, 1995-02-15 定稿

* 国家自然科学基金、机械部教育司科技基金、湖南省自然科学基金资助项目

杨嘉澍 男, 1965 年生, 工程师, 主要从事计算机网络设计、电网络分析等研究工作, 现在四川省电力调度局自动化处工作。

吴杰 男, 1957 年生, 教授, 从事电路、信号系统和滤波器的教学和科研工作。

李学田 男, 1935 年生, 教授, 从事电网络分析的学术研究工作。

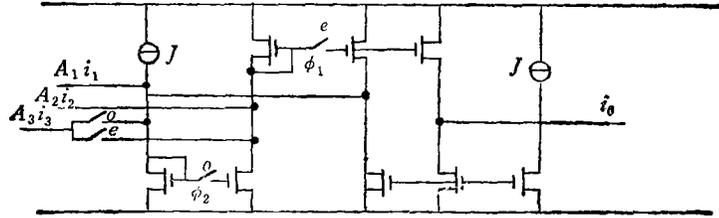


图1 开关电流通用积木块

A_1, A_2, A_3 分别是输入电流的增益因子;
 i_1, i_2, i_3 分别是奇相和偶相输入电流, i_o 是输出电流;
 e 表示偶相, o 表示奇相

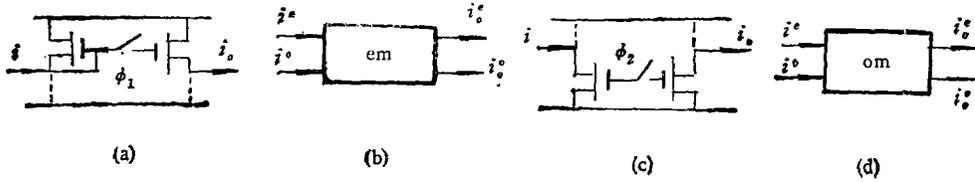


图2 奇偶镜单元电路

i^e, i^o 分别是偶相和奇相输入电流;
 i^e, i^o 分别是偶相和奇相输出电流;
 ϕ_1, ϕ_2 分别是偶相和奇相电路开关

镜的偶相信号通道相连接。

从开关电流的工作原理可以得知奇镜的输入和输出有下述关系式：

$$i_o^e(Z) = -i^o(Z),$$

$$i_o^o(Z) = -Z^{-1}i^e(Z).$$

i^o 和 i^e 分别为输入奇相、偶相电流, i_o^o 和 i_o^e 分别为输出奇相和偶相电流。

同理, 对于偶镜可以推得

$$i_o^e(Z) = -i^e(Z)$$

$$i_o^o(Z) = Z^{-1/2}i^o(Z)$$

有了上述定义, 便可以把任意一个开关电流网络分解为最基本的奇镜和偶镜的组合, 通过这种方法, 我们对一个复杂的网络系统, 不必画出网络元件之间的详细关系图, 只须用适当的模块(奇镜和偶镜)来表示它, 因为我们主要关心的是网络的传输特性(动态性能或输入-输出关系)。对图1所示的开关电流通用积木块分解为奇镜和偶镜所表示的镜块

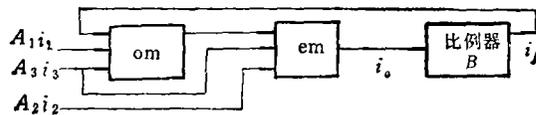


图3 开关电流通用积木块的等效镜块框图

A_1, A_2, A_3 分别是输入电流的增益因子;
 om, em 分别表示奇镜电路和偶镜电路;
 B 是比例因子, i_f 是反馈电流

图, 如图 3 所示。

3 开关电流滤波器的信号流图分析

我们可以用信号流图中的加权线段来替换前述定义的奇镜和偶镜, 如图 4 所示。

然后, 便可以方便地得到开关电流网络的信号流图。这种方法可以使前面所述的方块图表示法进一步简化。它的表示形式与方块图表示法基本相同, 只是用带指向的加权线段来表示每一个方块, 并且取消了加法元件。它的分析步骤如下: (1) 将开关电流电路图或 SIOA^[4] 图画成本文提出的镜块框图; (2) 在镜块框图的基础上, 用 $-Z^{-1}$ 代替奇镜, 用 -1 代替偶镜; (3) 最后, 利用 Mason 公式进行求解。

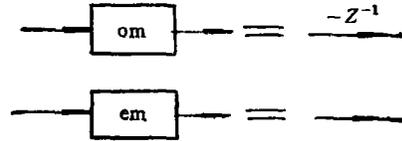


图 4 奇镜、偶镜的加权线段替换示意图

例如, 对于图 5 所示的一个二阶低通开关电流滤波器进行信号流图分析。首先, 分为奇镜、偶镜组成的镜块框图, 如图 6 所示。然后分别用 $-Z^{-1}$ 和 -1 代替奇镜和偶镜, 得到

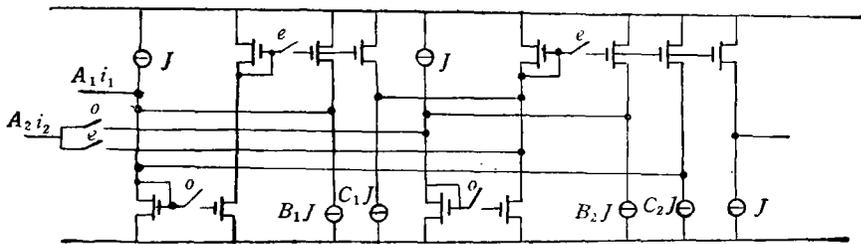


图 5 二阶低通开关电流滤波器

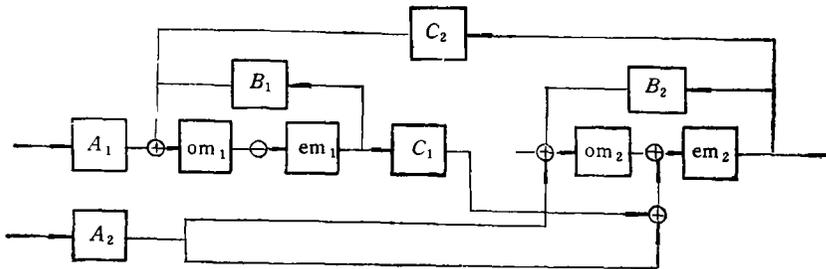


图 6 二阶低通开关电流滤波器的镜块框图

该电路的信号流图, 如图 7 所示。最后, 运用 Mason 公式求解得到该电路的转移函数, 其中 i_i 为源节点, i_o 为混合节点。

由 Mason 公式可知:

$$H(Z) = \frac{i_o}{i_i} = T = \frac{\sum T_k \Delta_k}{\Delta}; \tag{1}$$

$$T_1 = -A_1 B_2 Z^{-1}, T_2 = A_2 Z^{-1}, T_3 = -A_2;$$

$$\Delta = 1 - (B_1 + C_1 - B_2 C_2) Z^{-1} + B_1 C_1 Z^{-2},$$

$$\Delta_1 = 1, \Delta_2 = 1 - B_1 Z^{-1}, \Delta_3 = 1 - B_1 Z^{-1};$$

代入(1)式, 整理后得

$$H(Z) = \frac{\sum T_k \Delta_k}{\Delta} = \frac{-A_2 Z^2 + (A_2 + A_2 B_1 - A_1 B_2) Z - A_2 B_1}{Z^2 - (B_1 + C_1 - B_2 C_2) Z + B_1 C_1}$$

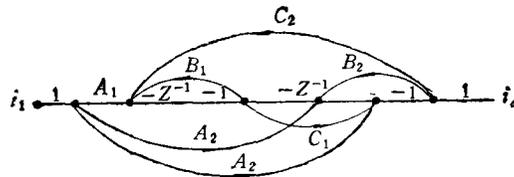


图 7 二阶低通开关电流滤波器的信号流图

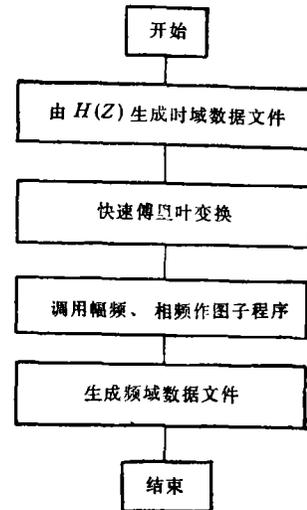


图 9 流程图

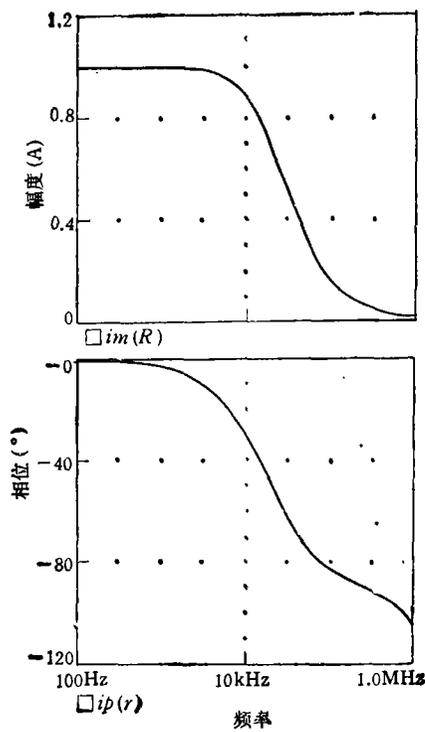


图 8 幅频和相频特性

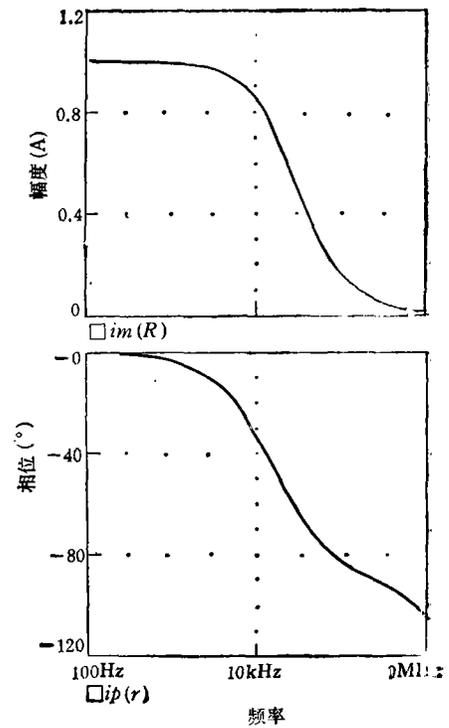


图 10 幅频和相频特性

4 计算机仿真分析

图 8 是利用 PSPICE 分析一个二阶低通开关电流滤波器的频响结果。参数选择如下: $A_1 = 1$, $A_2 = 10$, $B_1 = 0.2$, $B_2 = 1$, $C_1 = 0.3$, $C_2 = 0.24$ 。由本文提出的分析方法可以建立一个软件算法,流程如图 9。图 10 是利用上述算法求得的与图 8 所示二阶低通开关电流滤波器具有相同参数的频率响应结果。从图形和结果数据文件可知两者基本吻合,说明本文提出的分析方法所得到的结果与 PSPICE 仿真结果是一致的,从而验证了本文分析方法的正确性和可行性。

5 结论

本文把网络分析理论应用于开关电流网络,提出了开关电流网络的信号流图分析法。本文通过“奇镜”和“偶镜”概念建立了开关电流的方块图表示方法,并进一步简化为信号流图表示法。这一研究为开关电流网络的分析提出了一个可行的方法,也为开关电流网络的综合提供了一条便利的途径。

参 考 文 献

- [1] Hughes J B. Switched Current — A New Technique for Analogue Sampled-Data Signal Processing. IEEE ISCAS, 1989, 1584—1587.
- [2] Hughes J B. Switched Current Filter, IEEE Proc., 1990, 137(2):156—162.
- [3] Fiez T S. CMOS Switched-Current Biquadratic Filters. IEEE ISCAS, 1990, 2300—2303.
- [4] 吴杰,洪毅. 电子科学学刊,1992,14(6): 633—637.
- [5] 杨嘉混. 开关电流滤波器分析研究: [硕士论文]. 湖南大学电气工程系,1994.
- [6] 吴杰,洪毅. 科学通报,1993,38(17): 1575—1577.

SIGNAL-FLOW GRAPH ANALYSING METHOD FOR SWITCHED CURRENT NETWORKS

Yang Jiasi Wu Jie Li Xuetian Song Ming Tong Tiaosheng

(Department of Electrical Engineering, Hunan University, Changsa 410082)

Abstract As a new current-mode technique, switched current has been in a forward position of current-mode analog signal processing. This paper submitted a signal-flow graph analysing method for switched current networks by introducing concepts of “odd mirror” and “even mirror”, and applied them to analyse the switched current filter. The result of computer simulation verified the reliability and feasibility of the method.

Key words Switched current, Odd mirror, Even mirror