

开关电容网络的广义节点故障 诊断及可诊断性

邹 冈

(海军潜艇学院, 青岛)

吴 正 国

(海军工程学院, 武汉)

摘要 本文首次引入了开关电容网络广义节点故障诊断的概念, 提出了一个简单、准确、有效的算法, 并着重强调了应用广义节点概念的优点。本文还探索性地研究了开关电容网络的可诊断性, 并给出了可诊断性的必要条件。

关键词 开关电容网络; 故障诊断; 可诊断性

1. 引言

开关电容网络(以下称 SC 网络)的故障一般包括: 电容标称值的偏移、运放增益标称值的偏移及开关错位。由于 SC 网络本身精度较高, 本文将不计及容差的影响, 只考虑由于电容元件标称值偏移引起的故障 SC 网络, 其它情况很容易推及。

文献 [1, 2] 提出了两种诊断方法, 但没给出任何系统步骤。实际上, 文献 [1] 是通过诊断等效模拟电路的故障来诊断 SC 网络中的故障的。然而, 要得到 SC 网络的准确的模拟等效电路是很困难的, 文献 [2] 提出了一种用 RMC 图来分析诊断 SC 网络的方法, 但最终也未给出有效的诊断算法。本文试图根据模拟电路的节点故障诊断法^[3]和 SC 网络的广义节点分析法^[4], 提出一种新的诊断方法。

2. 算法的建立

对任一 SC 网络, 有

$$\begin{bmatrix} C_l \\ -E_l^T \\ D + E_b^T \end{bmatrix} V_l(t) = \begin{bmatrix} C_{l-1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_{l-1}(t_{l-1}) + \begin{bmatrix} 0 \\ I \\ 0 \end{bmatrix} e(t) \quad (1)$$

式中 C_{l-1} 、 C_l 分别是 $l-1$ 、 l 相位 SC 网络电容矩阵根据网络拓扑结构施以行列运算得到的矩阵; E_l 、 E_b 分别为独立、受控电压源关联矩阵; D 为受控电压源系数矩阵; I 为单位阵。 $V_{l-1}(t_{l-1})$ 、 $V_l(t)$ 分别为 $l-1$ 、 l 相位网络的广义节点电压, $e(t)$ 为网络的激励源。

对 (1) 式应用文献 [4] 中提出的矩阵行列运算规则, 则有

$$M_{l,l}V_l(t) = N_{l,l-1}V_{l-1}(t_{l-1}^-) + E(t) \quad (2)$$

其中, $M_{l,l}$ 、 $N_{l,l-1}$ 是在第 l 、 $l-1$ 相位闭开关条件下实施行列运算后的矩阵, 式中 $E(t) = [0 \ I \ 0]^T e(t)$.

整理 (2) 式, 有

$$[M_{l,l} \quad -N_{l,l-1}] \begin{bmatrix} V_l(t) \\ V_{l-1}(t_{l-1}^-) \end{bmatrix} = E(t) \quad (3)$$

令

$$P = [M_{l,l} \quad -N_{l,l-1}] \quad (4)$$

$$V(t) = [V_l^T(t) \ V_{l-1}^T(t_{l-1}^-)]^T \quad (5)$$

则有

$$PV(t) = E(t) \quad (6)$$

类似于模拟电路的故障诊断, 对原 SC 网络及故障 SC 网络施加同一激励, 对故障 SC 网络有

$$(P + \Delta P)(V(t) + \Delta V(t)) = E(t) \quad (7)$$

(7) 式减去 (6) 式, 得

$$P\Delta V(t) = -\Delta P(V(t) + \Delta V(t)) \quad (8)$$

再令

$$Q = -\Delta P(V(t) + \Delta V(t)) \quad (9)$$

则有

$$P\Delta V(t) = Q \quad (10)$$

(9)、(10) 式即称为 SC 网络的广义节点诊断方程。

诊断 SC 网络的故障就是搜索 Q 向量中的非零元素, 因此, 首先要由 (9) 式求出 Q 向量. 需要说明的是, 虽然在算法中要求全部 $\Delta V(t)$ 可测, 但并不要求网络的全部节点可及. 这正是应用广义节点概念的优点所在。

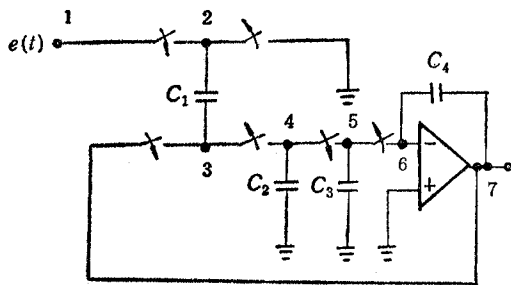


图 1

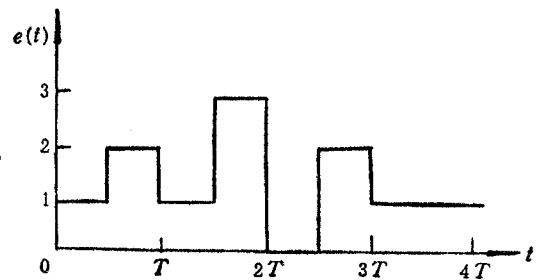


图 2

例 二阶单运放开关电容滤波器如图 1 所示. 激励电压如图 2 所示. 其中 $C_1 = 2$, $C_2 = C_3 = 4$, $C_4 = 8$. 首先要考察每一相位的广义节点. 可及节点的选择要使广义节点电压在每一相位可测. 本例中选节点 1、4、6 和 7 可及. 每一相位的广义节点电压

($C_2 = 4$ 和 $C_2 = 4.4$ 时) 分别可由程序得到(实际中应由测量得到)。

诊断在第三周期中进行。

第一相位中:

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4012 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \end{bmatrix}$$

第二相位中:

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2112 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \end{bmatrix}$$

令 N_{ij} 表示故障广义节点集(其中 i, j 分别表示广义节点号及相位号), 则有

$$N_{11} = \{4, 5\}, \quad N_{12} = \{3, 4\}$$

其交集(即故障范围)为 $N_f = N_{11} \cap N_{12} = \{4\}$ 。即节点 4 故障, 亦即 C_2 故障。

3. SC 网络的可诊断性

定义 一个 SC 网络是可以诊断的, 当且仅当其故障可以被孤立或故障范围可被缩小。

据此定义及大量计算, SC 网络可诊断的必要条件由下述定理给出。

定理 SC 网络在第 k 相可诊断的必要条件是换相时有电荷转移。

事实上, 广义节点故障诊断的原理是检验广义节点电荷守恒方程是否成立。在此算法中, 就是计算向量 Q 并搜索其中的非零元素。然而, 由于换相时节点电压不变, 电路被“强迫”满足电荷守恒。结果, 尽管电路有故障, Q 的所有元素仍全部为零; 另一方面, 如果 Q 在第 k 相中非零, 也不能保证 SC 网络可诊断, 在很大程度上取决于电路的拓扑结构和故障的分布。这就证明了定理中所列条件只是必要的, 而不是充分的。

SC 网络的可诊断性与其拓扑结构有关。必须指出, SC 网络的拓扑结构由于时变而不同于一般模拟电路, 同一电路在一相位中可以诊断, 而在另一相位中则可能不可诊断。

SC 网络的可诊断性与故障及分布有关。如果故障数太大, 则故障范围一般难以缩小。一般说来, 应用本算法, 对只有 N_g 个广义节点的 SC 网络, 最大的可诊断数为 $N_g - 1$ 。但对某些特殊情况(如数个故障与同一广义节点相关联)下, 可诊断的故障数可以增多。

激励电压可以影响 SC 网络故障的诊断。然而以诊断为目的的激励源是可以选择的。选择激励源的一般原则——至少在诊断周期(第 M 周期)和其前一周期($M - 1$ 周期)中各相位激励电压应当不同。

应该指出, 在搜索 Q 向量中非零元素时, 须选定一判决阈值。这一阈值的选择, 也将影响诊断水平。一般情况下, 该阈值随网络的不同而不同。

4. 结论

本文对故障 SC 网络提出了全新的诊断方法, 其步骤为: (1) 对给定的 SC 网络, 根据其拓扑结构判定其可诊断性; (2) 选择可及节点; (3) 输入拓扑结构及元件参数, 计算矩阵 P ; (4) 在正常网络和故障网络两种情况下测量可及节点电压, 计算 $\Delta V(t)$; (5) 由诊断方程 $P\Delta V(t) = Q$ 求出向量 Q ; (6) 搜索 Q 向量的非零元素, 确定故障广义节点; (7) 通过适当的逻辑运算隔离故障或缩小故障范围。

SC 网络的可诊断性主要与下列因素有关: (1) SC 网络的拓扑结构; (2) 故障数及分布。

SC 网络的故障诊断是一个非常困难的课题, 尤其是对非理想 SC 网络的诊断。未来的研究可能集中在如何使诊断算法在优化 SC 电路的设计中得以实用。

参 考 文 献

- [1] S. D. Bedrosian, S. I. Refai, Switched Capacitor Networks: Analysis and Fault Diagnosis, Proc. IEEE ILSS'82, Virginia Beach, VA., (1982), pp. 316—320.
- [2] Dawei Feng, S. D. Bedrosian, Multiple-Fault Diagnosis of Analog Circuits and Its Applications to SC Networks Proc. IEEE ISCAS'84, Philadelphia, (1984), pp. 693—696.
- [3] Z. F. Huang, C. S. Lin, R. W. Liu, *IEEE Trans. on CAS*, CAS-30(1983)5, 257—265.
- [4] 周炎涛, 吴正国, 利用矩阵行列运算的开关电容网络分析法, 海军工程学院学报, 1987年, 第4期, 第11—17页

GENERAL-NODE FAULT DIAGNOSIS AND DIAGNOSABILITY OF SWITCHED CAPACITOR NETWORKS

Zou Gang

(Submarine College of Navy, Qingdao)

Wu Zhengguo

(Naval Academy of Engineering, Wuhan)

Abstract A concept of general-node fault diagnosis of switched capacitor (SC) networks is introduced. A simple, exact and effective algorithm is presented with emphasis on the advantages of using general-node concept. The diagnosability of SC networks is studied and the necessary conditions which make SC networks diagnosable are given.

Key words Switched capacitor networks; Fault diagnosis; Diagnosability