

模拟电路故障诊断测试节点优选新算法

汪 鹏 杨士元

(清华大学自动化系 北京 100084)

摘 要 采用故障特征函数描述模拟电路故障字典法中的模糊集,提出了节点故障隔离度和条件故障隔离度的概念,用其描述节点对故障的区分能力.给出了测试节点优选的数学模型,并在此基础上给出了新的测试节点优选算法.最后给出了新算法的应用实例.

关键词 故障诊断;特征函数;故障隔离;测试节点

中图法分类号 TP306

New Algorithm for Test Node Selection for Analog Circuits Diagnosis

WANG Peng YANG Shi-Yuan

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Eigenfunction is used to describe ambiguity sets for analog circuit diagnosis. Fault isolation and conditional fault isolation are proposed to identify isolation ability of test node. Based on it, mathematic model for test node selection is presented and new selection algorithm is developed. Finally, an example is given to show the effectiveness of the presented method. And new method for test node selection is presented. Finally three new test node selection algorithms are presented.

Keywords fault diagnosis; eigenfunction; fault isolation; test node

1 引 言

在诸多模拟电路故障诊断方法中,故障字典法是最具有使用价值的一种方法.它的基本思想是根据经验或实际需要,确定被诊断电路的故障集合,通过仿真获得电路在故障集中的每种故障情况下电路的响应,然后对所得到的响应作必要处理,作为对应故障的特征,并将其存储为一部故障与其特征对应的字典.在实际电路诊断时,通过测量获得电路当前的特征,最后在故障字典中查得与此特征对应的故障.在故障字典法中,电路的仿真是在测前完成的,所以它属于测前模拟诊断方法.

在故障字典法中,测试节点的选择是一个非常重要的环节,其基本准则是:在故障集中的故障均可隔离的前提下,选择测试节点最少的方案.由于模拟电路中的元件存在容差,节点电压存在一定变化范围,而不是一个确定值.故障字典法通过划分模糊集来处理这一问题,相应的测试节点的优选则是通过模糊集的集合运算来实现的.

本文针对模拟电路故障诊断的特点,应用“故障隔离度”的概念表征节点对故障的区分能力,并对模糊集的集合运算进行量化,在此基础上提出了新的测试节点优选方法.算法利用动态规划的思想对节点进行优选,不仅能够保证在故障可被隔离的前提下选择最少数量的测试节点,而且容易通过编程实

现,实现故障诊断的自动化.该方法不仅能够适用于模拟电路,而且可以适用于数模混合信号电路.

2 模糊集的特征函数和故障隔离度

2.1 模糊集的特征函数

由于模拟电路中的元件存在容差,电路在正常状态和各种故障状态下测试节点的电压不是一个确定的值,而是一个连续的小区间.为了处理这一问题,传统的方法是将每个测试向量中的每一个元素的值划分成若干个模糊域,并用数字编号.在某一个故障状态下(包括正常状态),通过电路仿真可以得到某一测试节点的电压标称值,可以将该电压所属的模糊域的编号作为故障的数字代码,综合考虑每个测试节点的数字代码就可以得到该故障对应的故障代码.

设被测电路的故障集为 $F = \{F_0, F_1, F_2, \dots, F_n\}$,其中 F_0 表示正常状态,测试节点集为 $N = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$.在故障 $F_i (i=0, 1, \dots, n)$ 状态下,测试节点 $N_j (j=0, 1, \dots, m)$ 的电压标称值为 u_{ij} ,被测电路节点 N_j 的实测值为 u_j ,则定义故障 F_i 在测试节点 N_j 的特征函数为

$$U_{ij}(u_j) = \begin{cases} 1, & u_{ij} \text{ 和 } u_j \text{ 在同一个模糊域} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

综合考虑每个测试节点,就可以得到故障 F_i 的特征函数:

$$U_i = \prod_{j=1}^m U_{ij}(u_j) \quad (2)$$

或

$$U_i = \bigwedge_{j=1}^m U_{ij}(u_j) \quad (3)$$

其中 \bigwedge 为内插符,表示取 $\{U_{i1}(u_1), U_{i2}(u_2), \dots, U_{im}(u_m)\}$ 的下确界.式(3)比式(2)有着更一般的意义.考虑实际被测电路,当其实得故障代码与故障集中的某一故障 F_i 的代码一致,则对应于在每一个测试节点,实测电压值与该故障的标称值处于同一个模糊域,当

$$U_{ij}(u_j) = 1, \quad j=1, 2, \dots, m,$$

由式(2)或式(3)可知故障 F_i 的特征函数取值为 1;当其实得故障代码与故障集中的某一故障 F_i 的代码不一致,则至少在一个测试节点上,实测电压值与该故障的标称值不在同一个模糊域,则故障 F_i 的特征函数取值为 0.

利用特征函数描述故障字典的方法同样适用于数字电路和数模混合信号电路.对于数字电路,模糊

域将退化为一个点(高电平或者低电平),而对于数模混合信号电路,在某些测试节点上的模糊域是一系列离散的电压值.所以只需根据具体情况给出式(2)新的形式即可.

2.2 故障隔离度

测试节点选择的基本准则是:在故障集中的故障均可隔离的前提下,选择测试节点最少的方案,也就是说需要优先选择故障区分能力强的可及点作为测试节点.我们用测试节点的“故障隔离度”来表示其对故障的区分能力.

设电路的故障集为 $F = \{F_0, F_1, F_2, \dots, F_n\}$,从 F 任意抽出两个故障 F_i 和 F_j ,构成一个故障对 (F_i, F_j) .设 P_F 为 F 中所有的故障生成的故障对所构成的集合,则有 $P_F = \{(F_i, F_j) | 0 \leq i, j \leq n \text{ 且 } i \neq j\}$. F 中元素的个数为 $n+1$,则 P_F 中元素的个数为

$$|P_F| = C_{n+1}^2 = \frac{n(n+1)}{2} \quad (4)$$

选定一个测试节点 N_j ,设在 F 中的各种故障状态下,节点 N_j 的电压标称值为 $u_{A0}, u_{A1}, \dots, u_{An}$.设某一故障 F_i 上的特征函数为 $U_{ij}(u_j)$,对于故障集中的其它故障 $F_k (k=0, 1, \dots, n \text{ 且 } k \neq i)$ 的电压标称值如果满足

$$U_{ij}(u_{jk}) = 1 \quad (5)$$

则说明故障 k 的电压标称值和故障 F_i 的电压标称值在同一个模糊域内,即节点 N_j 无法区分此两故障;反之如果式(5)的取值为 0,则说明故障 F_k 的电压标称值和故障 F_i 的电压标称值不在同一个模糊域内,即节点 N_j 可以区分此两故障;我们可以利用节点能够区分的故障对数来表征节点的区分能力.

定义 1(可及节点的故障隔离度). 设电路的故障集为 F (包含正常状态),故障对集为 P_F ,在给定模糊集划分规则的条件下,某一可及节点能够区分的故障对数称为该节点的故障隔离度,用 I 表示.

设节点 N_j 能够区分的故障对所构成的集合(简称故障对区分集)为 D_j ,则 D_j 中元素的个数即为故障隔离度

$$I_j = |D_j| \quad (6)$$

设节点 N_j 不能够区分的故障对所构成的集合为 D_j^* ,则可以得如下关系:

$$\begin{cases} D_j \cap D_j^* = \emptyset \\ D_j \cup D_j^* = P_F \\ |D_j| + |D_j^*| = |P_F| = \frac{n(n+1)}{2} \end{cases} \quad (7)$$

所以同样也可以用 $|D_j^*|$ 表征节点的区分能力.

定义 2(可及节点集的故障隔离度). 设 $N = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$ 为电路中 m 个可及节点的集合, 在给定模糊集划分规则的条件下, N 中每个可及节点故障对区分集分别为 D_1, D_2, \dots, D_m , 则 N 的故障对区分集 $D^N = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_m$, D^N 中元素的个数称为 N 的故障隔离度.

由定义 2 可知, 任意可及节点集 N 都满足如下关系:

$$\begin{cases} D^N \subseteq P_F \\ |D^N| \leq |P_F| \end{cases} \quad (8)$$

当 $|D^N| = |P_F|$ 时, 节点集 N 能够完全隔离所有的故障. 所以测试节点选择的基本准则可以表述为: 寻找一个测试节点集 N^* 满足 $|D^{N^*}| = |P_F|$ 且 $|N^*|$ 最小. 由于任意两个节点的故障对区分集的交集一般不为空, 寻找 N^* 的过程通常十分复杂, 甚至无法实现. 所以在实际故障诊断中, 一般只能保证 $|D^{N^*}| = |P_F|$ 的前提下满足 $|N^*|$ 尽可能小.

3 节点优选算法

3.1 节点优选的数学模型

命题 1. 设有集合 A 和 B , A 和 B 的幂集为 2^A 和 2^B , N 为自然数集, 定义映射 f 和 g :

$$\begin{cases} f: a \mapsto b, & 2^A \rightarrow 2^B \\ g: a \mapsto n, & 2^A \rightarrow N \end{cases} \quad (9)$$

映射 f 和 g 之间满足如下关系:

$$g(a) = |f(a)|.$$

如何寻找一个集合 $D (\in 2^A)$, 满足

$$f(D) = |B| \text{ 且 } |D| = \min\{|D_k| \mid f(D_k) = |B|\} \quad (10)$$

如果设集合 A 为电路的可及节点集 N , 集合 B 为电路的故障对集 P_F , 则求解集合 D 的过程就是测试节点优选的过程.

3.2 节点优选基本算法

节点优选基本算法不考虑节点故障对区分集间的交集的影响. 设被测电路的故障集为 F (包含正常状态), 故障对集为 P_F , 可及点集为 $N_0 = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$, 在给定模糊集划分规则的条件下, 节点优选基本算法可表述如下:

1. 根据故障特征函数计算 N_0 中每一个节点的故障隔离度 I ;
2. 设 $N^* = \emptyset$;
3. 如果 $N_0 \setminus N^* = \emptyset$, 转步 5; 否则, 取 $Q' \in N_0 \setminus N^*$, 满足 $I_{Q'} = \max\{I_{Q_j} \mid Q_j \in N_0 \setminus N^*\}$;

4. $N^* \leftarrow N^* \cup \{Q'\}$, 如果 $|D^{N^*}| = |P_F|$, 结束; 否则, 转步 3.

5. 提示: 故障集不可隔离, 结束.

节点优选基本算法简单, 容易实现. 但是由于没有考虑节点故障对区分集间的交集, 所以该算法得到的结果一般与实际需要相差较大.

3.3 节点优选优化算法

设有 3 个可及点 N_1, N_2 和 N_3 满足 $|D_{N_1}| > |D_{N_2}| > |D_{N_3}|$, 如果考虑节点故障对区分集间的交集, 根据容斥原理得

$$|D_{N_1} \cup D_{N_2}| = |D_{N_1}| + |D_{N_2}| - |D_{N_1} \cap D_{N_2}|$$

和

$$|D_{N_1} \cup D_{N_3}| = |D_{N_1}| + |D_{N_3}| - |D_{N_1} \cap D_{N_3}|.$$

上面两式相减可得

$$\begin{aligned} |D_{N_1} \cup D_{N_2}| - |D_{N_1} \cup D_{N_3}| = \\ (|D_{N_2}| - |D_{N_3}|) - (|D_{N_1} \cap D_{N_2}| - |D_{N_1} \cap D_{N_3}|) \end{aligned} \quad (11)$$

显然, 如果 $(|D_{N_2}| - |D_{N_3}|) < (|D_{N_1} \cap D_{N_2}| - |D_{N_1} \cap D_{N_3}|)$, 则 $|D_{N_1} \cup D_{N_2}| < |D_{N_1} \cup D_{N_3}|$, 所以应该优先选择 N_1 和 N_3 . 但是按照基本算法则会选择 N_1 和 N_2 . 为了处理这一问题, 我们给出节点的条件故障隔离度的概念.

定义 3(可及节点的条件故障隔离度). 设 $M = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$ 为电路已确定测试节点的集合, 在给定模糊集划分规则的条件下, 除开 M 可区分的故障对以外, 节点 $N (N \notin M)$ 可区分的故障对数称为 N 相对于 M 的条件故障隔离度, 简称条件故障隔离度, 记作 I_{NM} 或 $I_N(M)$.

显然, $I_N = I_N(\emptyset)$, \emptyset 为空集. 设除开 M 可区分的故障对以外, 节点 N 可区分的故障对构成的集合为 D_{NM} , 可得

$$D_{NM} = D_N \setminus D^M \quad (12)$$

$$I_{NM} = |D_{NM}| = |D_N \setminus D^M| \quad (13)$$

定理 1. 设 $M = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$ 为电路已确定测试节点的集合, 令 $M_1 = \{N_1\}$, $M_2 = \{N_1, N_2\}$, \dots , $M_{m-1} = \{N_1, N_2, \dots, N_{m-1}\}$, $M_m = M$, 在给定模糊集划分规则的条件下, 节点 $N (N \notin M)$ 的故障隔离度及其相对于 $M_i (i=1, 2, \dots, m)$ 的条件故障隔离度满足如下递推关系:

$$I_{NM_1} = I_N - |D_N \cap D_{N_1}|,$$

$$I_{NM_2} = I_{NM_1} - |D_N \cap D_{N_2M_1}|,$$

$$I_{NM_3} = I_{NM_2} - |D_N \cap D_{N_3M_2}|,$$

\dots

$$I_{NM} = I_{NM_{m-1}} - |D_N \cap D_{N_m M_{m-1}}|.$$

证明. 首先证明定理中的第一个式子.

因为 $M_1 = \{N_1\}$, 直接由定义可得,

$$\begin{aligned} \text{所以 } I_{NM_1} &= |D_{NM_1}| = |D_N \setminus D^{M_1}| = |D_N \setminus D_{N_1}| = \\ &|D_N| - |D_N \cap D_{N_1}| = I_N - |D_N \cap D_{N_1}|. \end{aligned}$$

再证明定理中的其它等式, 只需证明对任意 $k(k=2, 3, \dots, m)$, 下式

$$I_{NM_k} = I_{NM_{k-1}} - |D_N \cap D_{N_k M_{k-1}}| \quad (14)$$

成立.

因为

$$\begin{aligned} D_N &= D_N \setminus \emptyset = D_N \setminus (D^{M_{k-1}} (D_{N_k} \cap \setminus D^{M_{k-1}})) \\ &= D_N \setminus (D^{M_{k-1}} \cap (D_{N_k} \setminus D^{M_{k-1}})) \\ &= D_N \setminus (D^{M_{k-1}} \cap D_{N_k M_{k-1}}) \\ &= (D_N \setminus D^{M_{k-1}}) \cup (D_N \setminus D_{N_k M_{k-1}}) \\ &= D_{NM_{k-1}} \cup (D_N \setminus D_{N_k M_{k-1}}) \end{aligned} \quad (15)$$

又

$$\begin{aligned} I_{NM_k} &= |D_{NM_k}| = |D_N \setminus D^{M_k}| \\ &= |D_N \setminus (D^{M_{k-1}} \cup D_{N_k})| \\ &= |D_N \setminus (D^{M_{k-1}} \cup (D_{N_k} \setminus D^{M_{k-1}}))| \\ &= |D_N \setminus (D^{M_{k-1}} \cup D_{N_k M_{k-1}})| \\ &= |(D_N \setminus D^{M_{k-1}}) \cap (D_N \setminus D_{N_k M_{k-1}})| \\ &= |D_{NM_{k-1}} \cap (D_N \setminus D_{N_k M_{k-1}})| \end{aligned} \quad (16)$$

由容斥原理, 可得

$$\begin{aligned} |D_{NM_{k-1}} \cap (D_N \setminus D_{N_k M_{k-1}})| &= \\ |D_{NM_{k-1}}| + |(D_N \setminus D_{N_k M_{k-1}})| - \\ |D_{NM_{k-1}} \cup (D_N \setminus D_{N_k M_{k-1}})| \end{aligned} \quad (17)$$

将式(15)和式(17)代入式(16)可得

$$\begin{aligned} I_{NM_k} &= |D_{NM_{k-1}}| + |(D_N \setminus D_{N_k M_{k-1}})| - |D_N| \\ &= |D_{NM_{k-1}}| - (|D_N| - |D_N \setminus D_{N_k M_{k-1}}|) \\ &= |D_{NM_{k-1}}| - |D_N \cap D_{N_k M_{k-1}}| \\ &= I_{NM_{k-1}} - |D_N \cap D_{N_k M_{k-1}}| \end{aligned}$$

则式(14)成立, 定理得证.

证毕.

定理的意义在于当向测试节点集 M_k 新增一个测试节点时, 得到新的测试节点集 M_{k+1} , 其它节点相对于 M_{k+1} 的条件故障隔离度可以由其相对于 M_k 的条件故障隔离度和新增测试节点相对于 M_k 的条件故障隔离度得到, 而无需根据定义重新计算. 我们可以利用动态优化策略, 将测试节点优选过程分解为若干个简单的步骤, 每一个步骤则是向测试节点集新增加一个当前条件故障隔离度最大的可及节点, 如果新的测试节点集的故障隔离度等于故障对总数(即 $|P_F|$), 则结束; 否则, 根据定理对其它节点的条件故障隔离度作修正, 转入下一个步骤.

设被测电路的故障集为 F (包含正常状态), 故障对集为 P_F , 可及点集为 $N_0 = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$,

在给定模糊集划分规则的条件下, 节点优选优化算法可表述如下:

1. 根据故障特征函数计算 N_0 中每一个节点的故障隔离度 I ;
2. 设 $N^* = \emptyset$;
3. 如果 $N_0 \setminus N^* = \emptyset$, 转步 5; 否则, 取节点 $Q' \in N_0 \setminus N^*$, 满足 $I_{Q'N^*} = \max\{I_{Q_j N^*} | N_j \in N_0 \setminus N^*\}$;
4. $N^* \leftarrow N^* \cup \{Q'\}$, 如果 $|D^{N^*}| = |P_F|$, 结束; 否则, 根据定理计算 $N_0 \setminus N^*$ 中的节点相对于 N^* 的条件故障隔离度, 转步 3.
5. 提示: 故障集不可隔离, 结束.

3.4 穷举法

如果不考虑时间开销问题, 直接从 3.1 节中的命题出发, 可以直接得到穷举法.

设被测电路的故障集为 F (包含正常状态), 故障对集为 P_F , 可及点集为 N_0 , 在给定模糊集划分规则的条件下, 穷举法可表述如下:

1. 根据 N_0 得到其幂集 2^{N_0} ;
2. 利用式(9)计算 $f(2^{N_0})$ 和 $g(2^{N_0})$;
3. 比较得到故障隔离度等于 $|P_F|$ 且元素个数最小的节点集作为结果; 如果未找到, 提示: 故障集不可隔离;
4. 结束.

3.5 时间复杂度分析

从上文可以看出, 测试节点选择的方法包含故障隔离度的计算和故障隔离度之间的比较运算, 而前者涉及到集合运算, 所以时间消耗远大于后者. 因此在时间复杂度分析中我们主要考虑故障隔离度的计算.

(1) 节点优选基本算法复杂度

由 3.2 节可知, 节点优选基本算法只需要对 N_0 中的节点做一次故障隔离度的计算. 设 N_0 中元素的个数为 n , 则节点优选基本算法的时间复杂度为 $O(n)$;

(2) 节点优选优化算法复杂度

节点优选优化算法中的每一步都需要重新计算剩余待选节点的故障隔离度. 设最终得到的测试节点集中元素的个数为 k , 则优化算法计算故障隔离度的次数为

$$\frac{(n + (n - k + 1)) \times k}{2} = nk - \frac{k^2 - k}{2} \quad (18)$$

考虑极端情况 $k \rightarrow n$, 则可得

$$nk - \frac{k^2 - k}{2} \rightarrow \frac{n(n+1)}{2}.$$

算法的时间复杂度为 $O(n^2)$. 实际算法的时间复杂度应该在 $O(n)$ 与 $O(n^2)$ 之间. 如果采用 3.3 节中的

定理和算法,则除了第一步以外,其它各步骤中故障隔离度的计算也化为了比较运算,所以时间复杂度接近于 $O(n)$.

(3) 穷举法复杂度

穷举法需要计算 N_0 的幂集中每个元素的故障隔离度,所以时间复杂度为 $O(2^n)$.

4 实 例

诊断电路为图 1 给出的视频放大电路. 我们根据节点优选优化算法编写了生成直流故障字典的程序. 考虑电路的直流通路,设置的故障状态有: $C1 \sim C3$ 的短路故障, $L1$ 和 $L2$ 的开路故障, $R1 \sim R6$ 的开路和短路故障, 三极管的基极、集电极、发射极开路, 三极管基极和发射极之间的短路以及三极管集电极与发射极之间的短路, 包括正常电路一共 20 多种状态. 参与优选的节点包括 $N2 \sim N4, N6 \sim N8, N10$, 由于考虑直流故障, 所以 $N1$ 接地, $N5$ 和 $N12$ 接

直流电源, 不予考虑. 通过仿真, 我们可以得到在各种状态下每一个节点的响应, 表 1 给出了各节点的模糊集的划分结果, 表 2 给出了故障对应列表. 由于篇幅所限, 本文没有给出故障仿真的结果. 利用我们根据节点优选优化算法编写的程序, 可以得到电路的测试节点集为 $\{N2, N3, N6\}$.

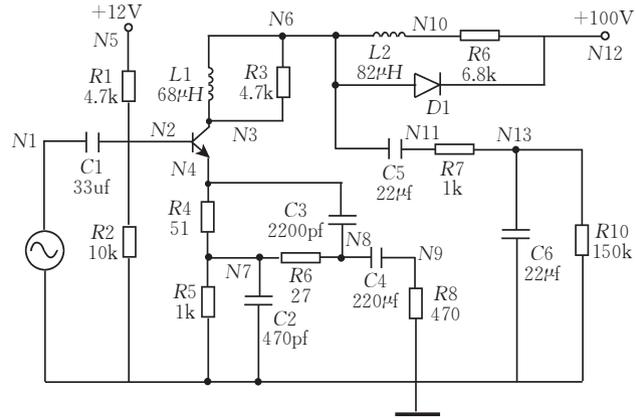


图 1 典型视频放大电路

表 1 模糊集划分结果

(单位: V)

编号	N2	N3	N4	N6	N7	N8	N10
1	-0.7 ~ 1.57	-0.222 ~ 2.43	-0.7 ~ 1.55	-0.222 ~ 2.42	-0.7 ~ 0.7	-0.7 ~ 0.7	-0.222 ~ 2.42
2	4.90 ~ 6.30	5.73 ~ 7.14	4.88 ~ 6.28	5.74 ~ 7.14	4.13 ~ 5.53	3.87 ~ 5.27	5.74 ~ 7.14
3	7.46 ~ 8.98	8.41 ~ 9.81	7.56 ~ 8.97	11.7 ~ 13.5	7.16 ~ 8.56	7.16 ~ 8.56	11.7 ~ 13.5
4	10.9 ~ 12.6	11.7 ~ 13.5	11.1 ~ 13.9	13.6 ~ 14.9	10.7 ~ 13.3	10.7 ~ 13.3	13.6 ~ 14.9
5	12.8 ~ 13.8	13.6 ~ 14.8	36.5 ~ 37.97	37.4 ~ 38.8	36.6 ~ 37.9	36.6 ~ 37.9	37.4 ~ 38.8
6	36.6 ~ 38.0	37.4 ~ 38.8	98.3 ~ 99.8	45.5 ~ 46.9	93.6 ~ 94.9	93.6 ~ 94.9	45.5 ~ 46.9
7	98.4 ~ 99.8	99.3 ~ 100.7		99.3 ~ 100.7			99.3 ~ 100.7

表 2 故障列表

编号	种类	编号	种类	编号	种类
F_0	正常	F_9	Q1 c 开路	F_{18}	R4 短路
F_1	C1 短路	F_{10}	Q1 e 开路	F_{19}	R5 开路
F_2	C2 短路	F_{11}	Q1 be 短路	F_{20}	R5 短路
F_3	C3 短路	F_{12}	Q1 ce 短路	F_{21}	R6 开路
F_4	C4 短路	F_{13}	R1 开路	F_{22}	R6 短路
F_5	C5 短路	F_{14}	R1 短路		
F_6	L1 开路	F_{15}	R2 开路		
F_7	L2 开路	F_{16}	R2 短路		
F_8	Q1 b 开路	F_{17}	R4 开路		

的概念, 从而可以对节点的故障区分能力进行量化;

(2) 提出了测试节点优选的数学模型, 一方面可以采用数学方法研究测试节点优选问题; 另一方面, 可以将研究成果应用于其它能用该模型描述的问题, 如数字电路中的测试向量的选择;

(3) 在数学模型的基础上给出了新的测试节点优选算法, 综合考虑了优选的基本原则和时间复杂度问题.

参 考 文 献

- Hocchwald W., Bastian J. O.. A DC approach for analog fault dictionary determination. IEEE Transactions on CAS, 1979, CAS-26: 523~529
- Cai Jin-Yan, Alam M. S.. An algorithm for dividing ambiguity sets for analog fault dictionary. In: Proceedings of the MWS-CAS-2002, 2002, 1: 89~92
- Yang Shi-Yuan. Fault Diagnosis and Reliability Design for Analog System. Beijing: Tsinghua University Press, 1993 (in Chinese)

5 小 节

本文针对模拟电路故障字典法中的测试节点选择问题进行了研究, 采用故障隔离度和条件故障隔离度描述节点的故障区分能力. 在此基础上提出了新的测试节点优选数学模型和优选算法. 与传统方法相比, 本文中给出的方法具有如下特点:

(1) 采用特征函数描述模拟电路故障字典法中的模糊集, 并提出节点故障隔离度和条件故障隔离度

(杨士元. 模拟系统的故障诊断与可靠性设计. 北京: 清华大学出版社, 1993)

- 4 Lin Zheng-Hui, Wu Qiang. A new theory for the selection of testing points in analog circuit fault diagnosis. Journal of Shang-

hai Jiaotong University, 1995, 29(1): 165~170(in Chinese)

(林争辉, 武 强. 模拟电路故障诊断测试点选择的新理论. 上海交通大学学报, 1995, 29(1): 165~170)



WANG Peng, born in 1978, Ph. D. candidate. His main research interests include analog and mixed-signal circuit simulation and fault diagnosis.

YANG Shi-Yuan, born in 1945, professor, Ph. D. supervisor. His main research interests include home automation network, test technology, electronic technology application, and system fault diagnosing.

Background

The research task of this paper is one part of the project “Automatic Generation Platform of Test Vector for Analog Circuit” which is the cooperative project between China Shipbuilding Industry Corporation and Department of Automation, Tsinghua University. The project is based on fault dic-

tionary method, including fault set generation, fault simulation, tolerance and equivalent fault model, test node selection and interface criterion with ATE(automatic test equipment). The purpose of this paper is focused on test node selection issue in fault dictionary method.