

[文章编号] 1004-0609(2001)05-0938-03

铝电解槽控制电路中故障元件存在的 最小范围的确定方法^①

李义府¹, 谢 宏²

(1. 中南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410083; 2. 湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

[摘 要] 对电解槽控制线路故障元件存在范围的确定, 提出了 K 故障下诊断的新方法。它是一种确定故障元件存在的最小范围的方法, 即在十分现实的 K 故障下, 确定能代表电路所有元件并给出在 K 故障假设下的最优可测试元件组, 使故障定位工作只局限于该组元件。通过可测试值计算和规范式不确定性组与最优可测试成分组的确定, 可以确定故障元件的范围, 从而为铝电解槽控制线路中的故障定位节省了大量的时间。

[关键词] 电解槽; 可测试性; 不确定性组; 故障定位; 参数故障诊断

[中图分类号] TM 13

[文献标识码] A

现代大中型铝厂多采用先进的中间点式下料预熔阳极电解槽, 其阳极由两排并列排布的阳极碳块 (如 2×12) 构成。对于电解槽系列, 目前检测技术水平可直接连续自动采集的过程参数只有两个, 即槽电压和系列电流; 可由计算机系统控制的过程变量也只有两个——下料和移动量。用计算机控制阳极升降机不定期移动阳极, 以实现铝电解过程的监控, 达到提高电流效率, 降低电耗, 延长槽寿命的目的。

由于控制电路会出现种种意想不到的故障, 影响产品的质量。因此如何确定系统故障范围, 快速找到故障, 恢复系统的正常性能成为电控线路维修当务之急。为此, 作者提出了 K 故障下故障元件最小范围的确定方法。该方法是基于电路的可测试值计算和规范式不确定性组的确定, 而与所给出的信息与故障定位方法无关。

1 规范式不确定性组与最优可测试成分组的确定

1.1 规范式不确定性组的确定

可测试性度量就是可测试值计算, 它由一组描述电路的非线性故障诊断方程的可解度决定。在不考虑硬故障 (开路和短路故障) 的情况下, 可测试值 T 由与故障诊断方程相联系的雅可比矩阵的线性

独立的最大列数给出, 它代表了该组非线性方程可解度的度量。由于故障诊断方程是一组描述电路的网络函数, 故雅可比矩阵的元素是复频率 s 和潜在故障参数的有理函数。为了计算可测试值, 将频率值固定, 所得到的雅可比矩阵的秩对所有潜在故障参数值 (除了那些为代数变化的参数值) 均为常数, 应用该法时虽然可测试值与成分值无关, 但处理起来非常困难, 为此我们引入网络函数:

$$h_l(p, s) = \frac{N_l(p, s)}{D(p, s)} = \sum_{i=0}^{n_l} \frac{a_i^{(l)}(p)}{b_m(p)} \cdot s^i / [s_m + \sum_{j=0}^{m-1} \frac{b_j(p)}{b_m(p)} \cdot s^j],$$
$$l = 1, \dots, Y \quad (1)$$

式中 $p = (p_1, p_2, \dots, p_R)^T$, 为潜在故障参数矢量, Y 为方程总数。由故障诊断方程的系数对潜在故障电路参数求导得到可测试矩阵 B , 它不依赖复频率 s , 可测试值等于矩阵 B 的秩。

当可测试矩阵 B 被确定后, 可测试值 T 的计算可由矩阵 B 的三角化来完成。显然, 对于相应的模拟线性电路的非线性故障诊断方程, 由雅可比矩阵所提供的全部信息可以从矩阵 B 中得到^[1~3]。

当可测试矩阵 B 中有 j 列线性相关, 则与该 j 列相应的 j 个成分构成一个 j 阶不确定性组。当电路中的一组测试点被选定后, 通过判断矩阵 B 中线性相关的列可以确定该电路的不确定性组数。当

① [基金项目] 湖南省国家自然科学基金资助项目 (98JJY2083)

[作者简介] 李义府 (1946-), 男, 副教授。

[收稿日期] 2001-03-06; [修订日期] 2001-07-16

一个不确定性组不包含其他不确定性组数时, 则称为规范式不确定性组。当可测试矩阵 B 中的 K 列线性相关和该 K 列中每一子集线性无关时, 则与该 K 列相应的 K 个成分构成了一个规范式 K 阶不确定性组。与上述相关的一个要点是: 规范式不确定性组的阶 $\leq$ 可测试值 + 1。联合那些至少具有一个公共元件的规范式不确定性组数, 则得到由 m 个元件构成的一个 m 阶全局不确定性组。显然, 一个规范式不确定性组, 当它与其他任何规范式不确定性组无公共成分时, 可以认为它是一个全局的不确定性组。一组 n 元件, 当与其相应的可测试性矩阵 B 的列数不属于任何不确定性组时, 则构成了一组 n 阶真实可测试元件组, 显然, 真实可测试成分的数目不能大于可测试值 T , 即不能大于矩阵 B 的秩。

1.2 最优可测试成分组的确定

1.2.1 零交叉情况

当一个电路所有规范式不确定组彼此无公共元件时称为零交叉情况。在实际中, 可测试值 T 一般均小于电路的未知参数的数目 R , 因此制定了 K 故障假设, 最多认为故障的数目 K 等于可测试值 T 。在该假设下, 不论采用何种故障定位方法, 选择一组元件作为潜在的故障成分是必需的, 而这组元件应尽可能代表所有的电路元件。因此, 确定规范式不确定性组数和真实可测试组具有重要意义。

一个由无任何公共元件的规范式不确定性组数所描述的电路, 且最小的规范式不确定性组的阶大于或等于 $(K + 2)$ 时, 则该电路是 K 故障可测试的。最优可测试成分定义如下: 当一组成分能代表所有电路成分并给出在 K 故障假设下的故障诊断方程的唯一解时, 则该组成分构成了一组最优可测试成分。

在零交叉情况下, 选择一组最优可测试成分的过程^[4~8]如下:

- 1) 计算电路的可测试值 T ;
- 2) 确定全部规范式不确定性组;
- 3) 确定真实可测试组;
- 4) 作出 K 故障假设, 其中 $K \leq K_a - 2$, K_a 为规范式不确定性组中的最小阶数;
- 5) 选择属于真实可测试的成分;
- 6) 对每一规范式不确定性组, 最多选择 $(K_i - 2)$ 个成分作为相应的规范式不确定性组的代表, K_i

是第 i 个规范式不确定性组的阶数。

只有当最小的规范式不确定性组的阶大于或等于 $(K + 2)$ 时, 则保证存在一组最优可测试成分; 若有一组为二阶的规范式不确定性组时, 则不存在最优组。然而, 当最优组存在时, 它也不是唯一的(仅当可测试值 T 为最大时, 最优组才具有唯一解)。按上述过程, 属于真实可测试组的每一元件代表它自己本身, 而对于每一规范式不确定性组所选择的元件代表相应的规范式不确定性组的所有元件。当故障数 K 是事先选定和可测试成分最优组不存在时(例如当出现二阶规范式不确定性组时, 无论 K 为何值, 最优组不存在), 对于其阶数小于或等于 $(k + 1)$ 的规范式不确定性组, 仅有一个元件必须选择, 而对于真实可测试组和具有阶数大于或等于 $(K + 2)$ 的规范式不确定性组必须应用步骤 5) 及 6)。即使唯一解不存在, 按此方法我们能够选择一组尽可能代表所有电路元件的成分。

1.2.2 非零交叉情况

对于电路所有规范式不确定组存在公共元件时称为非零交叉情况。在这种情况下, 最优可测试成分组的选择过程^[1~6]如下:

- 1) 计算电路可测试值 T ;
- 2) 确定所有规范式不确定性组;
- 3) 确定所有全局不确定性组;
- 4) 确定真实可测试组;
- 5) 作出具有 $K \leq K_a - 2$ 和最小规范式不确定性组的阶数为 K_a 的 K 故障假设;
- 6) 选择属于真实可测试组的成分;
- 7) 对每一全局不确定组, 最多选择 $(K_i - 2)$ 个成分作为相应全局不确定性组的代表。(其中 K_i 为构成第 i 个全局不确定性组的规范式不确定性组中的最小阶数)。

必须指出, 所提出的元件选择过程尽管是由参数故障诊断技术发展而来, 但它与故障定位阶段所采用的方法无关。基于上述过程, 一旦代表所有电路成分的元件被选择, 故障成分的研究就等同于故障定位方法的选择; 若所选择的成分组是最优的, 由故障定位方法所给出的结果在理论上则是唯一的。如果所选择的成分组不是唯一的, 最合适的一组成分的标准可以通过实际考虑加以给出, 例如包含具有低可靠性的最高数目的成分组, 也可以通过其他故障定位方法的特点(符号法, 神经网络、模糊

分析等) 给出。

2 应用实例

某厂铝电解槽中控制线路中滤波器的电路如图 1 所示, 其中 U_0 为测试点。

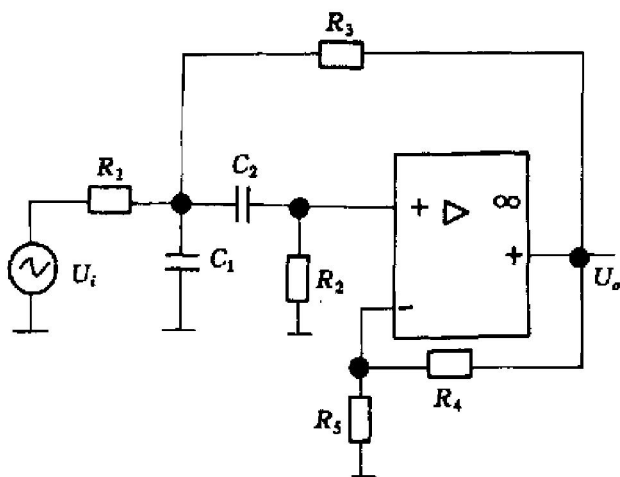


图 1 滤波电路

Fig. 1 Wave filtering circuit

计算分析结果, 可测试值 $T = 3$, 规范式不确定组为 $R_5 R_4$, $C_2 R_2 R_3$, 真实可测试组为 $R_1 C_1$ 。结果中有两组规范式不确定组, 一组为二阶 $R_5 R_4$; 一组为三阶 $C_2 R_2 R_3$, 它们是零交叉情况, 因可测试值 $T = 3$, 故障值 K 最多选为 3, 在 K 值选定后, 即可人为地按上述零交叉情况选择一组最优可测试成分组作为故障定位的第一步。

[REFERENCES]

- [1] Stenbakken G N. Ambiguity groups and testability [J]. IEEE Trans Instrum Meas, 1989, 38: 941– 947.
- [2] Carmassi R. Analog network testability measurement [J]. IEEE Trans Instrum Meas, 1991, 40: 930– 935.
- [3] Liberatore A. A new efficient method for analog circuit testability measurement [A]. IEEE Instruments Measurement Technology Conf [C]. Hamamatsu, Japan, 1994. 193– 196.
- [4] Fedi G. Symbolic algorithm for ambiguity group determination in analog fault diagnosis [A]. 25th European Conf. Circuit Theory Design [C]. Budapest, Hungary, 1997. 1286– 1291.
- [5] YANG Shi-yuan(杨士元). 模拟系统的故障诊断与可靠性分析 [M]. Tsinghua University Press, 1993.
- [6] HE Yi-gang(何怡刚), LOU Xian-jiao(罗先觉), QIU Guan-yuan(邱关源). 一种新的模拟电路故障诊断方法 [J]. Journal of Microelectronics(微电子学报), 1996, 26(4): 230– 234.
- [7] YANG Jia-wei(杨嘉伟). 一种新的模拟电路故障字典法 [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument(电子测量与仪器学报), 1993, 7(3): 49– 56.
- [8] ZHU Jian-liang(朱建良), ZHOU Xin-rong(周欣荣). 模拟电路故障诊断的一种方法 [J]. Journal of Harbin Electrical Engineering Institute(哈尔滨电工学院学报), 1993, 16(3): 235– 239.

Method for determining existent minimum range of fault elements in control circuits for aluminium reduction cell

LI Yifu¹, XIE Hong²

(1. College of information science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, P. R. China;

2. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, P. R. China)

[Abstract] A method for determining the existent minimum range of fault elements in control circuit for aluminium reduction cell was presented. By assuming the quite realistic K -fault hypothesis, an optimum set of testable elements that represent all the circuit elements is determined. Therefore the work for fault location can only operate in the elements of this group. So the method constitutes the first step in the development of whatever procedure for the fault location of analog linear circuits. The proposed procedure can save a lot of work for fault location of control circuits of aluminium reduction cell.

[Key words] reduction cell, testability; ambiguity groups; fault location, parametric fault diagnosis.

(编辑 杨 兵)