

基于故障树的某电子定位导航设备的电磁兼容分析

秦启森

西安电子科技大学, 陕西 西安 710071

[摘要] 电子定位导航设备的电磁兼容已经成为制约导航与定位系统发挥作用的主要因素。利用故障树分析法对电子定位导航系统的整个电磁系统进行详细分解, 找到所有可能出现的故障情况, 文章旨在利用故障树的分析方法对电子定位导航系统的电磁兼容问题进行分析研究, 通过故障树的方法, 从而更有效率地对电子定位导航系统电磁兼容故障进行查找与诊断。

[关键词] 电子定位导航设备; 电磁兼容; 故障树; 故障诊断

DOI: 10.33142/sca.v2i2.311

中图分类号: V243

文献标识码: A

Electromagnetic Compatibility Analysis of an Electronic Positioning and Navigation Equipment Based on Fault Tree

QIN Qisen

Xidian University, Shanxi Xi'an, China 710071

Abstract: The electromagnetic compatibility of electronic positioning and navigation equipment has become the main factor restricting the role of navigation and positioning system. The whole electromagnetic system of the electronic positioning and navigation system is decomposed in detail by using the fault tree analysis method, and all the possible faults are found. The purpose of this paper is to analyze and study the electromagnetic compatibility of electronic positioning and navigation system by using the analysis method of fault tree, and to find and diagnose the electromagnetic compatibility fault of electronic positioning and navigation system more efficiently by using the method of fault tree.

Keywords: Electronic positioning and navigation equipment; Electromagnetic compatibility; Fault tree; Fault diagnosis

1 背景知识与研究内容

随着科学技术的发展和高新技术的应用, 电子对抗装备越来越先进, 电子定位导航设备面临的电磁威胁也越来越突出。电子定位导航设备的电磁兼容能力已成为影响导航与定位系统正常工作的主要因素。其电磁兼容的设计是否完备有力, 工作过程中发生的电磁兼容故障能否得到迅速准确的解决, 是系统正常工作, 并在电子对抗中获得胜利的重要因素。

电磁兼容性(EMC)的定义为设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力。因此, 电磁兼容有两方面的要求: 其一是设备对所在环境产生的电磁干扰在正常工作过程中在一定的范围之内; 其二是系统的设备、器具在工作时对周围的环境中所有的电磁干扰有一定水平的抗干扰能力, 即电磁敏感性。

而电子定位导航系统集成了大量的电子器件和设备, 是系统中电磁环境最复杂的部分^[1], 其电磁兼容能力十分重要, 是系统能否正常工作的重要因素。然而, 因为相关的技术和方法等还有一定的差距, 电子定位导航系统的电磁兼容设计存在着难度。

故障树分析法(FTA)又称事故树分析, 故障树的分析从一个顶事件开始, 从上到下、逐层分析造成该项事件的直接原因与间接原因, 直到底事件, 再用逻辑表示将这些事件表示出来。故障树采用逻辑的方法, 对故障进行分析, 特点是直观、明了, 思路清晰, 逻辑性强, 对故障事件进行定性分析与定量分析。体现了以系统工程方法研究安全问题的系统性、准确性和预测性^[2]。

电子定位导航系统的电磁兼容问题需要高效准确的解决, 而利用故障树分析法可以对电子定位导航系统的整个电磁系统进行详细的分解, 找到所有有可能出现的故障情况, 从而快速地找到故障并且解决, 同时更完备的进行电磁兼容设计。

本文旨在利用故障树的分析方法对电子定位导航系统的电磁兼容问题进行分析研究, 通过故障树的方法, 更有效

率地对电子定位导航系统电磁兼容故障进行查找，以及更好地设计电子定位导航系统的电磁兼容系统。

2 故障树的建立

建立电磁兼容故障树，需要遵循电磁兼容三要素（干扰源、耦合途径与敏感设备）。其中，根据三要素中的耦合途径，电磁兼容故障树又分为传导干扰故障树与耦合干扰故障树。

电子定位导航系统的组成主要包括了二次电源组件、伺服系统、接收机三大部分。其中，二次电源组件为系统的其他设备供电，即伺服系统、接收机等。因此，二次电源是重要的干扰源，其工作时产生的电子辐射，通过传导和辐射的途径耦合到其他设备，这样就会影响到整个系统的正常工作。伺服系统在工作时会形成大电流的波动，会通过共用电源耦合影响到接收机的工作。而接收机内部的高频、低频及数字电路在工作时会产生传导与辐射干扰，从而互相影响^[3]。

此外，电子定位导航系统也会受到工作环境的干扰，如雷达、通讯等设备的大功率信号辐射，以及在地面测试和待机状态时因为电缆网的连接受到各种传导干扰，这些干扰同样也会产生一定的影响。

下面，根据系统的组成，详细分析每个部件可能存在的电磁兼容问题，以便进行故障树的建立。

a 二次电源

电子定位导航系统的电源系统基本会使用热电池进行供电，随后通过二次电源进行变换。某电子定位导航系统上的二次电源用 DC-DC 开关电源来实现，其与传统的供电方式相比，具有重量较轻、体积较小、效率更高且供电灵活的特点，但是电磁干扰问题比较严重。

b. 接收机

电子定位导航系统的接收机是典型的敏感设备，其内部电路的工作频率多，同时因为结构，所以设计电缆的走线复杂。接收机在工作过程或在进行现场测试时受到较强的电场辐射干扰，其设备内部的连线，会受到场辐射的干扰信号，从而进入接收机通道使其受到影响，以致无法正常工作。

c. 伺服系统

伺服系统有两方面的电磁兼容问题：其二次电源谱线辐射产生了对外干扰；系统内部的陀螺仪具有很高的敏感程度，非常容易受到干扰，受到干扰的表现为输出产生波动。

对系统可能受到的电磁干扰分析后，进行系统的电磁兼容故障树的建立。

首先是传导干扰故障树，传导耦合的途径分为电路性传导耦合、电感性传导耦合以及电容性传导耦合^[4]。建立的故障树如图 1。

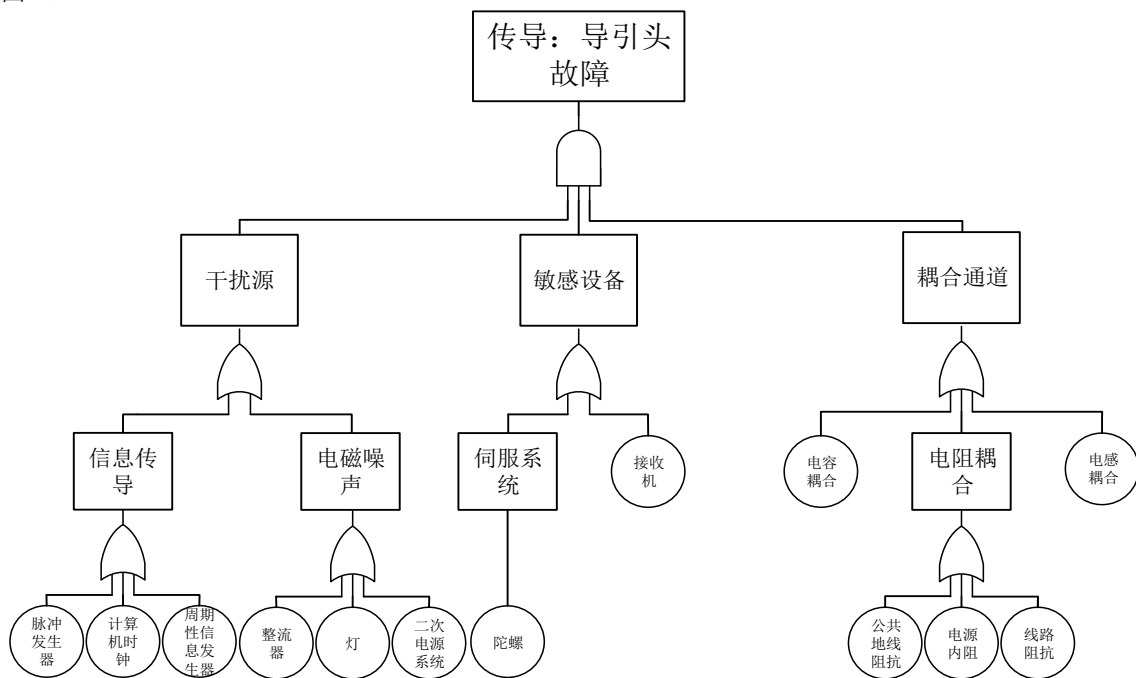


图 1 故障树

接下来是辐射干扰故障树，辐射耦合的途径又分为近场耦合和远场耦合
辐射干扰故障树如图 2 所示。

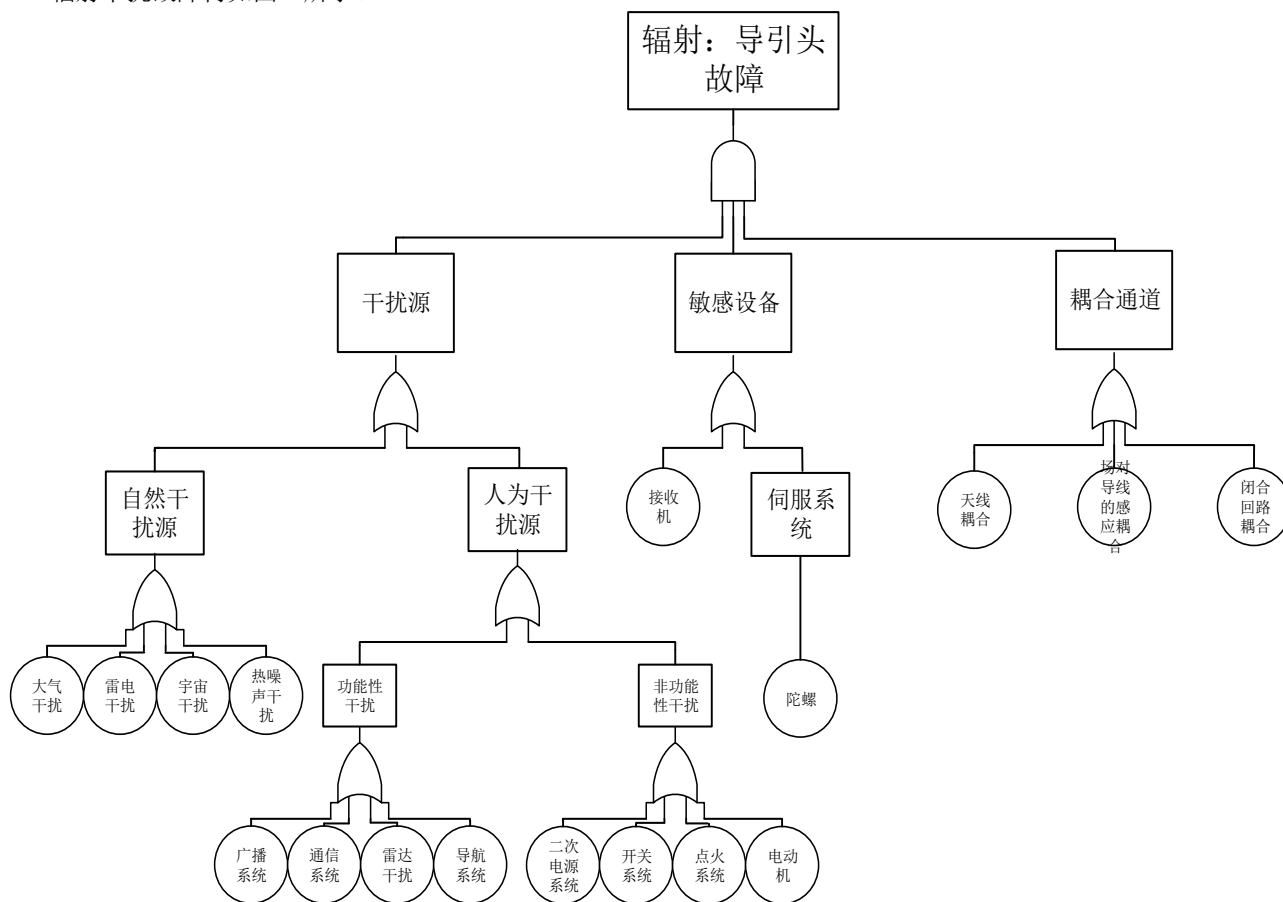


图 2 辐射干扰故障树

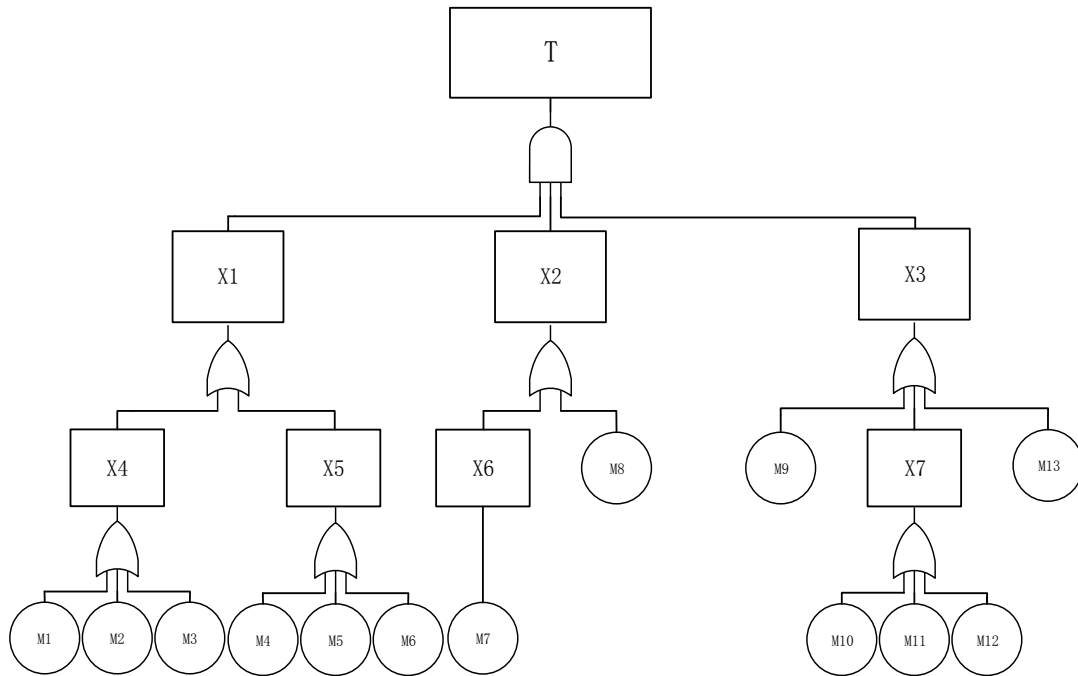
3 故障树的分析

建树完成后，需要对建立的故障树进行分析，以达到故障诊断的目的。故障树的分析包括了定性分析与定量分析。定性分析是通过求故障树的最小割集，得到顶事件的全部故障模式，从而找出系统产生故障最薄弱的环节，从而对该环节进行改进与强化。定量分析主要包括两方面：一是通过故障树底事件的失效概率求出系统的失效概率；二是求得故障树底事件的概率重要度和关键重要度，然后根据底事件的重要度对系统进行改进。

本文主要对故障树进行定性分析。定性分析的方法又有上行法、下行法、布尔割集法等。其中，上行法是由下而上，用底事件表示中间事件，再用中间事件表示顶事件，最后得到故障树的全部割集；下行法是由上而下，将顶事件用中间事件展开，再将中间事件用底事件展开，最终得到故障树的全部割集；布尔割集法是用逻辑的方法对故障树进行表示与化简，得到全部割集。

在故障诊断时，通常对所有最小割集即故障模式进行测试，来搜索故障源，但如果是复杂系统的故障树，就会有大量的故障模式需要测试，从而产生巨大的工作量，有事甚至无法完成测试工作。因此，提出故障树的最小割集重要度的概念，最小割集重要度是该最小割集对顶事件发生的影响大小，通过计算出最小割集重要度，找出影响较大和较小的故障模式，分出轻重缓急，这样的方法可以提高诊断效率，减少工作量。

本文通过下行法求最小割集。



首先分析传导干扰故障树。通过下行法，有：

$$T = X1X2X3 \quad (1)$$

$$X1 = X4 + X5 \quad X2 = X6 + M8 \quad X3 = M9 + X7 + M13$$

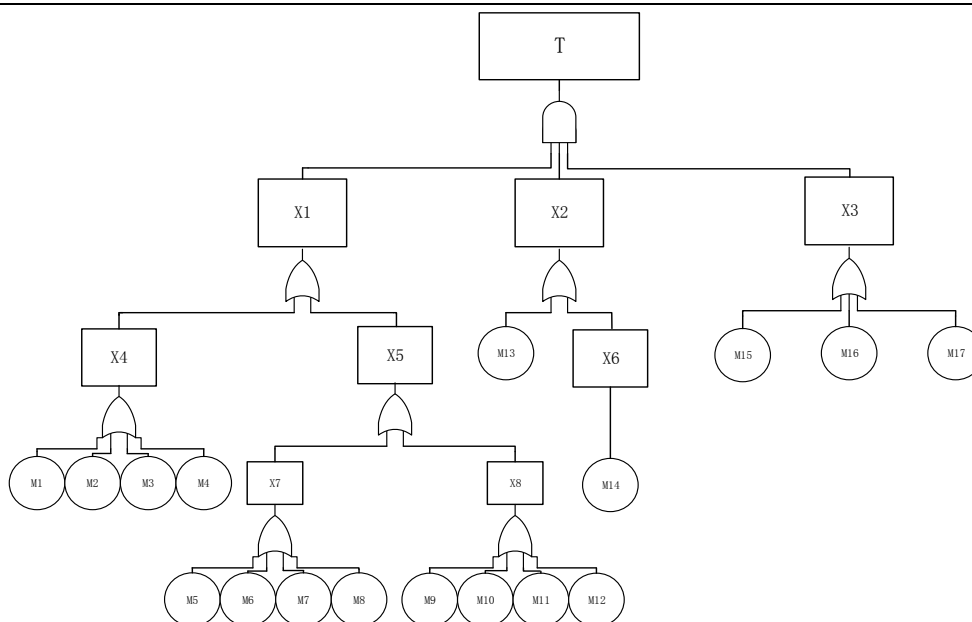
$$X4 = M1 + m^2 + m^3 \quad X5 = M4 + M5 + M6 \quad X6 = M7 \quad X7 = M10 + M11 + M12$$

将上式带入 (1) 式，得：

$$T = (M1 + m^2 + m^3 + M4 + M5 + M6) (M7 + M8) (M9 + M10 + M11 + M12 + M13)$$

$$\begin{aligned} &= M1M7M9 + M1M7M10 + M1M7M11 + M1M7M12 + M1M7M13 \\ &+ m^2M7M9 + m^2M7M10 + m^2M7M11 + m^2M7M12 + m^2M7M13 \\ &+ m^3M7M9 + m^3M7M10 + m^3M7M11 + m^3M7M12 + m^3M7M13 \\ &+ M4M7M9 + M4M7M10 + M4M7M11 + M4M7M12 + M4M7M13 \\ &+ M5M7M9 + M5M7M10 + M5M7M11 + M5M7M12 + M5M7M13 \\ &+ M6M7M9 + M6M7M10 + M6M7M11 + M6M7M12 + M6M7M13 \\ &+ M1M8M9 + M1M8M10 + M1M8M11 + M1M8M12 + M1M8M13 \\ &+ m^2M8M9 + m^2M8M10 + m^2M8M11 + m^2M8M12 + m^2M8M13 \\ &+ m^3M8M9 + m^3M8M10 + m^3M8M11 + m^3M8M12 + m^3M8M13 \\ &+ M4M8M9 + M4M8M10 + M4M8M11 + M4M8M12 + M4M8M13 \\ &+ M5M8M9 + M5M8M10 + M5M8M11 + M5M8M12 + M5M8M13 \\ &+ M6M8M9 + M6M8M10 + M6M8M11 + M6M8M12 + M6M8M13 \end{aligned}$$

上式的每一项即为该故障树的最小割集。



同理，对于辐射干扰故障树，有：

$$\begin{aligned}
 T &= (M1+m^2+m^3+M4+M5+M6+M7+M8+M9+M10+M11+M12) (M13+M14) (M15+M16+M17) \\
 &= M1M13M15+M1M13M16+M1M13M17+M1M14M15+M1M14M16+M1M14M17 \\
 &+ m^2M13M15+m^2M13M16+m^2M13M17+m^2M14M15+m^2M14M16+m^2M14M17 \\
 &+ m^3M13M15+m^3M13M16+m^3M13M17+m^3M14M15+m^3M14M16+m^3M14M17 \\
 &+ M4M13M15+M4M13M16+M4M13M17+M4M14M15+M4M14M16+M4M14M17 \\
 &+ M5M13M15+M5M13M16+M5M13M17+M5M14M15+M5M14M16+M5M14M17 \\
 &+ M6M13M15+M6M13M16+M6M13M17+M6M14M15+M6M14M16+M6M14M17 \\
 &+ M7M13M15+M7M13M16+M7M13M17+M7M14M15+M7M14M16+M7M14M17 \\
 &+ M8M13M15+M8M13M16+M8M13M17+M8M14M15+M8M14M16+M8M14M17 \\
 &+ M9M13M15+M9M13M16+M9M13M17+M9M14M15+M9M14M16+M9M14M17 \\
 &+ M10M13M15+M10M13M16+M10M13M17+M10M14M15+M10M14M16+M10M14M17 \\
 &+ M11M13M15+M11M13M16+M11M13M17+M11M14M15+M11M14M16+M11M14M17 \\
 &+ M12M13M15+M12M13M16+M12M13M17+M12M14M15+M12M14M16+M12M14M17
 \end{aligned}$$

上式的每一项即为该故障树的最小割集。

以上即求得所建故障树的最小割集，每一个最小割集均为系统的可能故障模式，而通过测试每一个底事件的发生概率，来计算出每一个最小割集的发生概率，就可以找出最容易发生故障的模块，从而快速对系统进行诊断与修复。

4 结论

本文基本完成了电子定位导航系统的分析、系统电磁兼容故障树的建立、故障树的定性分析。通过故障树的分析方法，对电子定位导航系统进行电磁兼容分析。

电磁兼容问题是随着现代社会科技发展越来越严重的问题，拥有广阔的研究前景。而故障树分析法是故障分析与诊断的重要且有效的方法，有很广的运用范围与很大的发展空间。本文通过故障树的分析法研究系统的电磁兼容问题，也有不少改进与进步的地方，如更高效快速的定性分析与定量分析算法；系统随着工作状态的改变，底事件也随之改变，需要对动态故障树的建立等等。

[参考文献]

- [1]曹明. 故障树分析法在某型号导引头故障诊断中的应用[J]. 电波科学学报, 2011, 8(26): 87.
 - [2]郭小凯. 车载系统电磁兼容故障诊断方法研究[J]. 高压技术, 2012, 8(9): 2242-2247.
- 作者简介：(1994-) 秦启森，硕士研究生，硕士研究生