

故障树分析法在电子式过载保护继电器中的应用

赵靖英¹, 王景芹¹, 王海涛¹, 赵新英²

(1. 河北工业大学电器研究所, 天津 300130; 2. 河北省建筑设计院, 河北 石家庄 050011)

摘要: 电子式过载保护继电器主要用于实现电动机的过载保护,其可靠性的 高低直接影响电动机的可靠运行。在简要介绍了智能化电子式过载保护继电器硬件结构的基础上,采用故障树分析法(FTA法)对其进行了可靠性的定性分析。利用建立的故障树,求出了系统的最小割集,从而找出了系统的关键环节,并提出了提高电子式过载保护继电器可靠性的一些措施。

关键词: 过载保护继电器; 可靠性; 故障树; 故障树分析法(FTA法); 定性分析

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)19-0039-03

0 引言

可靠性技术工作开展于 20 世纪 40 年代,在近半个多世纪中得到了飞速发展。

过载保护继电器作为一类广泛应用于电力系统的低压电器元件,一般与接触器相配合,主要用于实现电动机的过载保护。随着电力电子技术和微处理器的发展与应用,电子式过载保护继电器的产生体现了当今世界过载保护继电器的一种发展趋势,其可靠性技术的研究已引起世界各国电器行业的普遍重视。

本文采用故障树分析法(Fault Tree Analysis, FTA)对自行研制的一种基于 PIC16F877 单片机的可通信电子式过载保护继电器进行了可靠性分析。

1 电子式过载保护继电器的硬件结构

电子式过载保护继电器的硬件框图如图 1 所示。

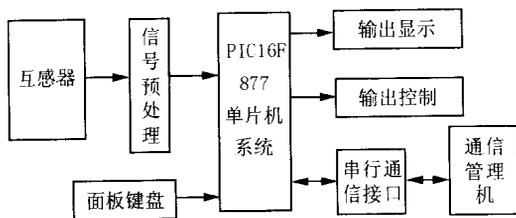


图 1 硬件框图

Fig. 1 Hardware architecture

PIC16F877 单片机以一定的时间间隔通过电流互感器、电压互感器进行电流和电压采样,采样信号经处理后,送入单片机端口,经片内 A/D 转换成数字信号,由单片机根据故障判据进行运算、分析、判断,再输出相应信号显示在显示器上并通过驱动电

路推动执行机构进行控制、保护,同时通过串行通信接口,单片机接受通信管理机的查询,作出应答。

2 电子式过载保护继电器的可靠性分析

2.1 故障树分析法

所谓故障树是一种倒立树状的逻辑因果关系图,它是由各种事件的符号、各种逻辑门符号、其他一些符号以及一些线条组成。它描述了系统中各种事件之间的因果关系。

故障树分析法(FTA)是以各种基本单元失效作为出发点,通过在系统中分析各故障之间的逻辑关系来寻找造成某个不希望事件(顶事件 T)的各种直接和间接原因的一种方法。

2.2 电子式过载保护继电器故障树的建树过程

建立电子式过载保护继电器的故障树是一个反复深入、逐步完善的过程。

1) 确定顶事件(T)。一般把系统最不希望发生的故障作为顶事件。确定顶事件一般遵循的原则为:

- a. 顶事件的发生确实表明系统不能正常工作,失去了规定的功能。
- b. 顶事件必须是可进一步进行分解的,可以找出引起它发生的直接或间接原因。

我们将电子式过载保护继电器不能正常工作作为故障树的顶事件(T),其满足上述原则。

2) 分析顶事件。寻找导致顶事件发生的各种原因,将顶事件作为输出事件,将导致顶事件发生的各种原因作为输入事件(中间事件)。

电子式过载保护继电器不能正常工作的原因主要有 5 部分:信号采集部分故障 E_1 、参数设定部分故障 E_2 、单片机系统部分故障 E_3 、输出部分故障 E_4

及电源部分故障 X_{26} 。

3) 分析每一个中间事件。如果这些中间事件还能进一步分解, 则应将其作为下一级的中间事件。其中电子式过载保护继电器的电源部分 X_{26} 不再进行分解。一级中间事件的分解结果见表 1。

4) 对各种下一级中间事件再进行分解, 直到所有的输入事件为不能再分解的基本事件为止。其中电子式过载保护继电器的 X_{18} 、 X_{19} 、 X_{22} 、 X_{23} 不再进行分解。各种下一级中间事件的分解结果见表 2。

表 1 一级中间事件分解结果

Tab. 1 Decomposed results of upmost middle events

E_1	信号变换部分故障 E_{11} 信号预处理部分故障 E_{12}
E_2	整定电流部分故障 E_{21} 起动设定部分故障 E_{22} 停止设定部分故障 E_{23} 起动时间调整部分故障 E_{24}
E_3	单片机系统自身故障 X_{18} 晶振部分故障 X_{19} 单片机复位部分故障 E_{31}
E_4	执行部分故障 X_{22} 通信接口部分故障 X_{23} 显示输出部分故障 E_{41}

表 2 各种下一级中间事件分解结果

Tab. 2 Decomposed results of all kinds of lower middle events

E_{11}	电流互感器部分故障 E_{111}	A 相电流互感器故障 X_1 B 相电流互感器故障 X_2 C 相电流互感器故障 X_3
	电压互感器部分故障 E_{112}	A 相电压互感器故障 X_4 B 相电压互感器故障 X_5 C 相电压互感器故障 X_6
		电流输入部分故障 E_{121}
电压输入部分故障 E_{122}		
	调压部分故障 X_{13}	
	E_{21}	下位机整定电流部分故障 X_{14} 通信接口部分故障 X_{23}
E_{22}		下位机起动部分故障 X_{15} 通信接口部分故障 X_{23}
	E_{23}	下位机停止部分故障 X_{16} 通信接口部分故障 X_{23}
E_{24}		下位机起动时间设置部分故障 X_{17} 通信接口部分故障 X_{23}
	E_{31}	手动复位故障 X_{20} 自动复位故障 X_{21}
E_{41}		LED 显示故障 X_{24} 指示灯显示故障 X_{25}

5) 根据上述确定的顶事件、中间事件和基本事件(26个)之间的逻辑关系, 用适当的逻辑门和一

些线条相联, 即构成了系统的故障树。电子式过载保护继电器的故障树见图 2。

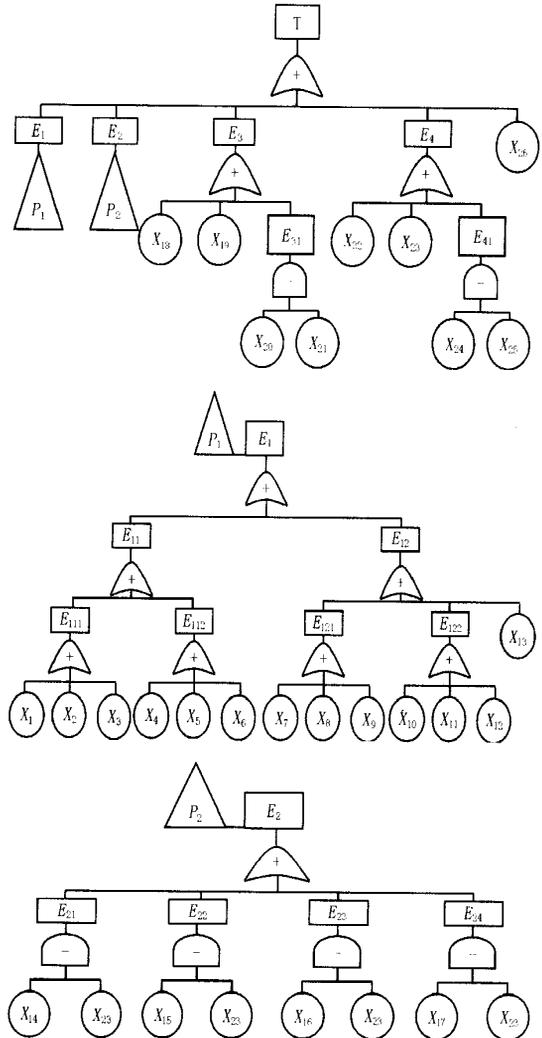


图 2 电子式过载保护继电器的故障树

Fig. 2 Fault tree of electronic over-load protective relay

2.3 电子式过载保护继电器故障树的定性分析

故障树的定性分析就是找出导致顶事件发生的所有可能的故障模式, 也即求出故障树的所有最小割集, 从而找出系统可靠性的关键环节。

在电子式过载保护继电器故障树的定性分析中, 我们采用下行法 (Fussell 法) 求解系统的最小割集。

下行法的步骤为: 从顶事件 T 开始, 依次用下一级的事件置换上一级事件, 如果上一级被置换的是逻辑与门, 则将其下一级的置换事件横向并列于表中; 如果上一级被置换的是逻辑或门, 则将其下一级的置换事件纵向列于表中, 直到全部逻辑门都被置换成不可再分割的基本事件为止。最后可得到割

集,但并非最小割集,需应用布尔代数公式找出最小割集。

根据电子式过载保护继电器的故障树结构,下行法求解最小割集的过程如表3所示。

表3 下行法求解最小割集的过程

Tab.3 Process of acquiring minimum sets with the method of Fussell

步骤1	步骤2	步骤3	步骤4	步骤5
E ₁	E ₁₁	E ₁₁₁	X ₁	X ₁
			X ₂	X ₂
			X ₃	X ₃
		E ₁₁₂	X ₄	X ₄
			X ₅	X ₅
			X ₆	X ₆
	E ₁₂	E ₁₂₁	X ₇	X ₇
			X ₈	X ₈
			X ₉	X ₉
		E ₁₂₂	X ₁₀	X ₁₀
			X ₁₁	X ₁₁
			X ₁₂	X ₁₂
			X ₁₃	X ₁₃
E ₂	E ₂₁	X ₁₄ X ₂₃		
	E ₂₂	X ₁₅ X ₂₃		
	E ₂₃	X ₁₆ X ₂₃		
	E ₂₄	X ₁₇ X ₂₃		
E ₃	X ₁₈		X ₁₈	
	X ₁₉		X ₁₉	
	E ₃₁	X ₂₀ X ₂₁	X ₂₀ X ₂₁	
E ₄	X ₂₂		X ₂₂	
	X ₂₃		X ₂₃	
	E ₄₁	X ₂₄ X ₂₅	X ₂₄ X ₂₅	
X ₂₆			X ₂₆	

表3中最后一列为利用布尔代数公式得到的电子式过载保护继电器的所有最小割集,共20个,其中一阶最小割集18个,二阶最小割集2个。

阶数越小的最小割集对系统故障的影响越大。因此,阶数最小的最小割集中的底事件以及在故障树的所有最小割集中出现次数最多的底事件就是系统可靠性的关键环节。根据电子式过载保护继电器的最小割集可获得系统的关键环节为: X₁, X₂, X₃, X₄, X₅, X₆, X₇, X₈, X₉, X₁₀, X₁₁, X₁₂, X₁₃, X₁₈, X₁₉, X₂₂, X₂₃, X₂₆。

3 提高电子式过载保护继电器可靠性的措施

要提高电子式过载保护继电器的可靠性,设计是根本。多年来世界各国开展可靠性技术工作的经验证明,可靠性设计对产品可靠性有着重要的影响。

据美国诺斯洛普公司估计,在研制、设计阶段为改善可靠性与维修性所投入的每1美元,将在以后的使用和支援费用方面节省30美元。由此可见,产品可靠性的提高,关键在于产品的可靠性设计。对电子式过载保护继电器的设计提出以下几点措施:

1) 选用性能稳定、可靠的电子元器件,特别是电子式过载保护继电器的关键环节。

2) 印刷线路板(PCB)合理布线。合理布线是提高电子式过载保护继电器系统EMC的最主要的措施。布线应尽量短,拐弯处尽量选用45°角,地线应尽量加粗。

3) 采用冗余结构。例如采用双单片机结构等,成本虽然有所增加,但可靠性将提高很多。

4 结论

随着电力系统自动化程度的提高,系统的可靠性与其所包含的电器产品的可靠性密切相关,因此,对电子式过载保护继电器进行可靠性研究具有重要的现实意义。采用故障树分析法对电子式过载保护继电器进行定性分析,可以及时找出电子式过载保护继电器的失效原因,快速进行修复,从而保证系统的安全、可靠运行。

参考文献:

- [1] 陆俭国(LU Jianguo). 电器可靠性理论及其应用(Reliability Theory and Application of the Apparatus) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing: China Machine Press), 1996.
- [2] 陈新轩,潘清水,赵彦武(CHEN Xinxuan, PAN Qingshui, ZHAO Yanwu). 工程机械故障树分析初探(Discussion of the Fault Tree Analysis of Construction Machinery) [J]. 筑路机械与机械工业化(Road Machinery and Construction Mechanization), 1997, 14(1): 25-27.

收稿日期: 2004-01-16; 修回日期: 2004-03-16

作者简介:

赵靖英(1974-),女,博士研究生,讲师,目前主要从事智能电器及电器可靠性和教学工作; E-mail: ea-inst@hebut.edu.cn

王景芹(1964-),女,博士生导师,教授,目前主要从事电器可靠性及智能电器和教学工作;

王海涛(1973-),女,博士研究生,讲师,目前主要从事电器可靠性和教学工作。

(下转第58页 continued on page 58)

参考文献:

- [1] 黄俊 (HUANG Jun). 电力电子变流技术 (Current Conversion Technology of Electric Power and Electron) [M]. 北京: 机械工业出版社 (Beijing: China Machine Press), 2000.
- [2] 冯焱生, 等 (FENG Duo-sheng, et al). 变频器的应用与维修 (Application and Maintenance of Frequency Transducer) [M]. 广州: 华南理工大学出版社 (Guangzhou: South China University of Technology Press), 2001.

收稿日期: 2003-09-15; 修回日期: 2003-12-12

作者简介:

孙茂松 (1957 -), 男, 高级实验师, 从事电力拖动自动控制系统和变流技术方面的教学。 E-mail: ts - sms @163.com

A three-phase AC adjustable-voltage circuit —— pulse-width adjustable-voltage circuit with three-phase symmetrical Y connection

SUN Mao-song

(Department of Information Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000, China)

Abstract: The paper presents the pulse-width adjustable-voltage circuit, which aims at three-phase Y connection symmetrical load and uses a switchable power electronic components to realize the adjustable voltage control for the three-phase Y connection of symmetrical load. The working principle is analysed and the experimental result is given which shows that it makes circuit simple, voltage harmonic components few, and response quick. It can be applied to voltage and speed adjustment of three-phase induction motor, temperature-adjusting control of electric stove with three-phase Y connection and so on.

Key words: pulse-width adjustable-voltage; three-phase Y connection; symmetrical load

(上接第 41 页 continued from page 41)

Application of fault tree analysis in the electronic over-load protective relay

ZHAO Jing-ying¹, WANG Jing-qin¹, WANG Hai-tao¹, ZHAO Xin-ying²

- (1. Electrical Apparatus Research Institute, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;
2. Architecture Design Institute of Hebei Province, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: The electronic over-load protective relay is mainly used to realize the over-load protection of the motor. Its reliability directly influences the reliable operation of the motor. After the hardware diagram of the intelligent relay is briefly introduced, qualitative analysis of its reliability is carried out. By using the fault tree, the minimum sets are solved and the key parts are pointed out. And some measures about improving the reliability of the relay are brought forward.

Key words: over-load protective relay; reliability; fault tree; fault tree analysis (FTA); qualitative analysis

全国继电保护设备标委会召开三届五次次会议

9月9日至12日,全国量度继电器和保护设备标准化技术委员会三届五次年会在乌鲁木齐市召开。来自标委会委员(代表)、工作组成员及有关专家共42人出席了会议。会议由主任委员姚致清和吴聚业主持。

国家电力调度通信中心王玉玲处长在年会上作了《继电保护目前所面临的形势和电力体制改革以及“十五”规划》的报告。报告就加强电网安全运行工作、运行管理工作、提高装置的制造质量等重点工作进行了通报。

姚致清主任委员报告了关于本标委会三届五次年会工作总结。

会议审查了《电力工程直流电源设备通用技术条件及安全要求》国家标准的送审稿。与会代表对送审稿进行了认真细致的审阅和热烈的讨论,并提出了修改意见和建议,起草小组根据这些意见和建议对送审稿进行了修改。会议还讨论了标委会2005年的国家标准制、修订计划及重点工作。

大会期间,根据国标委会计划[2004]65号文规定,还在2004年9月8日召开了本标委会归口的20项国家标准和7项国家标准计划项目的评价清理工作,经过评价专家的认真讨论和辛勤工作,完成了预期的目标。