

继电器产品设计方案的多层次模糊综合评价方法研究

李玲玲, 李志刚, 孟跃进, 孟庆龙

(河北工业大学电器研究所, 天津 300130)

摘要: 设计—评价—再设计是产品设计的全过程,对设计方案的评价方法进行研究是十分必要的。在确定继电器产品评价指标体系的基础上,应用模糊理论,建立了产品设计方案的多目标多层次综合评价模型。该模型可对评价指标体系的各级子目标和总目标予以评价,从而使设计人员能够针对设计方案的不足之处进行修改,也可为用户从多个设计方案中进行选择提供决策支持。

关键词: 继电器产品; 设计方案; 模糊理论; 综合评价

中图分类号: TM58 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 4897(2004)03-0018-03

0 引言

专家系统技术和智能 CAD 技术的发展,显著提高了设计工作的自动化水平,使得在计算机上完成产品设计的全过程成为现实。就电器领域而言,已有许多文献^[1~3]对产品的概念设计、结构设计、详细设计、图形处理、性能分析等方面进行了研究,但对设计方案的综合评价则较少涉及。然而产品设计过程的实质是设计—评价—再设计,因此,对电器产品设计方案的评价方法进行研究是十分必要的。

1 继电器产品的多层次综合评价指标体系

产品设计方案的评价指标很多。不同的评价专家根据自己的偏好和习惯从不同的角度对之进行评价,往往导致评价结果的不同。本文旨在建立一个适用于继电器产品的多目标综合评价模型,并论述对各级子目标进行评价的一般方法。为此,在广泛征求电器设计人员和用户的意见后,确立了一个具有多层次结构的综合评价指标体系,如图 1 所示。图中,总评价目标(O)由 3 个一级子目标性能(O_1)、工艺(O_2)、成本(O_3)组成;性能子目标(O_1)又由继电器产品的动态特性(O_{11})、静态特性(O_{12})等 5 个二级子目标组成;而 O_{11} 又由如下 6 个三级子目标组成: 动态过程中的峰值电流 i_p 与稳态电流 I_s 的比值(即 i_p/I_s); 吸动时间 t_d ; 吸动电压 U_d 与额定电压 U_s 的比值(即 U_d/U_s); 衔铁的反弹量 f 与触头超程归算量 c 的比值(即 f/c); 触头回跳持续时间 t_b ; 接触电阻 R_n 。这 6 个三级子目标分别被记为 $O_{111} \sim O_{116}$ 。

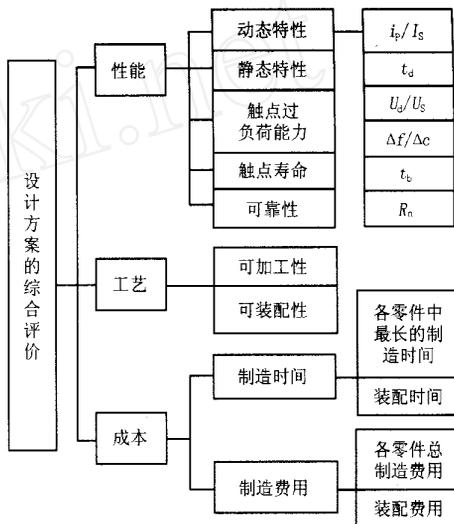


图 1 继电器产品的多层次综合评价指标体系
Fig. 1 System of multi-level comprehensive evaluation index of relay

图 2 为继电器产品设计方案的评价指标体系层次结构示意图。

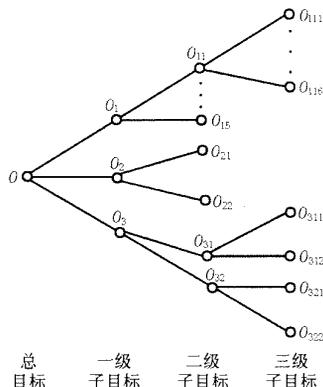


图 2 评价指标体系层次结构示意图

Fig. 2 Multi-level structure of evaluation index system

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(602069);天津市自然科学基金资助项目(023603111)

2 多层次模糊综合评价模型的建立

2.1 各级评价指标集的确定

以 U 表示由全体评价指标组成的评价指标集,因 U 被分为 3 个子集,故有 $U = \bigcup_{i=1}^3 U_i^{(1)}$ 。设 $U_i^{(1)}$ 被分为 m 个子集,则有 $U_i^{(1)} = \bigcup_{j=1}^m U_{ij}^{(2)}$ 。设 $U_{ij}^{(2)}$ 被分为 n 个元素集合,则有 $U_{ij}^{(2)} = \bigcup_{p=1}^n U_{ijp}^{(3)}$ 。在本文中,始终定义 $i=1,2,3; j=1,2, \dots, m; p=1,2, \dots, n$ 。

2.2 各级权重集的建立及权系数的赋值方法

下级评价指标对于其上级评价指标的重要程度,称为“权重”或“权系数”;由各权重因素组成的集合称为权重集。例如,分别以 $a_{ij1}^{(3)}, a_{ij2}^{(3)}, \dots, a_{ijn}^{(3)}$ 表示第三级子目标 $O_{ij1}, O_{ij2}, \dots, O_{ijn}$ 对第二级子目标 O_{ij} 的重要程度,则相应的权重集为:

$$A_{ij}^{(3)} = \{ a_{ij1}^{(3)}, a_{ij2}^{(3)}, \dots, a_{ijn}^{(3)} \} \quad (1-a)$$

权重集 $A_{ij}^{(3)}$ 是一个模糊集合,也可以用向量的形式表示^[4],称为权重模糊向量:

$$A_{ij}^{(3)} = [a_{ij1}^{(3)}, a_{ij2}^{(3)}, \dots, a_{ijn}^{(3)}] \quad (1-b)$$

同理,对照本文 2.1 中的各级评价指标集,有:

$$A_i^{(2)} = \{ a_{i1}^{(2)}, a_{i2}^{(2)}, \dots, a_{im}^{(2)} \}$$

$$\text{或} \quad A_i^{(2)} = [a_{i1}^{(2)}, a_{i2}^{(2)}, \dots, a_{im}^{(2)}] \quad (2)$$

$$A^{(1)} = \{ a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, a_3^{(1)} \}$$

$$\text{或} \quad A^{(1)} = [a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, a_3^{(1)}] \quad (3)$$

在本文中,各权重集的权系数均满足非负性及归一性约束,即: $a > 0$ 且 $a = 1$ 。

权系数的赋值方法很多,包括直接给出法(DDM)、比较矩阵法(CMM)、层次分析法(AHP)、环比评分法(CCM)、模糊区间法(FIM)、重要性排序法(IOM)、二型模糊子集法(TFM)等。赋值方法应根据评价指标的特点而定。对于各项具体指标来说,能直接确定权系数的,用 DDM;能两两比较的,用 CMM、APH、CCM;能给出模糊区间的,用 FIM;能对其重要性排序的,用 IOM;上述方法均不奏效的,可考虑用 TFM^[5]。

2.3 模糊评语集的确定及模糊评语的量化

总目标及各级子目标的模糊评语均设四档,分别为优、良、中、差,模糊评语集记为:

$$V = \{ Y, L, Z, C \} \quad (4)$$

本文将 V 量化为:

$$V_F = \{ 0.90, 0.75, 0.60, 0.45 \} \quad (5)$$

2.4 评价模型的选择和各级子目标的综评

拥有多层次指标体系的模糊综评过程是由低层向高层渐次进行的。第 k 级评判指标向量即为第 $k-1$ 级评判指标的隶属度,如此逐级进行评价,最后得到总评结果。

第二级子目标 O_{ij} 的综评结果为:

$$\begin{aligned} B_{ij}^{(2)} &= [b_{ij}^{(2)}(Y) \quad b_{ij}^{(2)}(L) \quad b_{ij}^{(2)}(Z) \quad b_{ij}^{(2)}(C)] \\ &= A_{ij}^{(3)} \circ R_{ij}^{(3)} = [a_{ij1}^{(3)} \quad a_{ij2}^{(3)} \quad \dots \quad a_{ijn}^{(3)}] \circ \\ &\quad \begin{bmatrix} r_{ij1}(Y) & r_{ij1}(L) & r_{ij1}(Z) & r_{ij1}(C) \\ r_{ij2}(Y) & r_{ij2}(L) & r_{ij2}(Z) & r_{ij2}(C) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{ijn}(Y) & r_{ijn}(L) & r_{ijn}(Z) & r_{ijn}(C) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

式中, $b_{ij}^{(2)}(Y)$ 表示评价目标 O_{ij} 对评语“ Y ”的隶属度,余类推。 $R_{ij}^{(3)}$ 称为评价矩阵,用于表示指标论域 $\{ O_{ij1}, O_{ij2}, \dots, O_{ijn} \}$ 与评语论域 $\{ Y, L, Z, C \}$ 之间的模糊关系,例如: $r_{ij1}(Y)$ 表示 O_{ij1} 对于评语“ Y ”(优)的隶属度。“ \circ ”是用于对模糊集合进行合成运算的合成算子。

关于模糊集合的合成算法,现已被提出的有 9 种^[6];以之为基础建立的模糊综评合成运算模型,常用的有 5 种^[5]。本文采用“乘积、有界和”模型,即 $M(\cdot, \oplus)$,以便尽可能地将所有评价指标的影响考虑在内,避免丢失信息。 $M(\cdot, \oplus)$ 中的广义模糊“与”运算“ \cdot ”实际上就是普通的乘法运算;广义模糊“或”运算“ \oplus ”为“有上界 1 求和”运算^[5],例如: $\oplus = \min(1, +)$ 。由于本文中的各权重集均满足归一性约束,故该模型中的“ \oplus ”运算就成为普通的加法运算,式(6)中的右侧项就成为普通的矩阵乘法。

依照式(6),可求出第二级各子目标的综评结果 $B_{i1}^{(2)}, B_{i2}^{(2)}, \dots, B_{im}^{(2)}$ 。

一级子目标 $O_i (i=1,2,3)$ 的综评结果为:

$$B_i^{(1)} = A_i^{(2)} \circ R_i^{(2)} = [a_{i1}^{(2)} \quad a_{i2}^{(2)} \quad \dots \quad a_{im}^{(2)}] \circ \begin{bmatrix} B_{i1}^{(2)} \\ B_{i2}^{(2)} \\ \dots \\ B_{im}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

目标 O 的综评结果为:

$$B = A^{(1)} \circ R^{(1)} = [a_1^{(1)} \quad a_2^{(1)} \quad a_3^{(1)}] \circ \begin{bmatrix} B_1^{(1)} \\ B_2^{(1)} \\ B_3^{(1)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.5 综评结果对模糊评语论域的映射

总目标和各级子目标的综评结果是一个向量。以总目标 O 为例,假设某设计方案的综评结果 $B = [0.45 \ 0.30 \ 0.20 \ 0.05]$,说明该设计方案 O 对于评语“优、良、中、差”的隶属度分别为 0.45、0.30、0.20、0.05,则 O 的量化分值为:

$$F(O) = V_F^0 B^T = [0.90 \ 0.75 \ 0.60 \ 0.45] \cdot \begin{bmatrix} 0.45 \\ 0.30 \\ 0.20 \\ 0.05 \end{bmatrix} = 0.7725$$

对照模糊评语量化集 $V_F = \{0.90, 0.75, 0.60, 0.45\}$ 各元素的值,可知该设计方案的模糊评语为“良”略偏“优”。

3 应用实例

限于篇幅,本文仅对某继电器产品设计方案的第二级子目标 O_{11} 进行综评。通过 ICAD 系统的分析计算,首先得到评价指标 $O_{111} \sim O_{116}$ 的特征值;然后按正态型隶属函数计算,得到各特征值相对于模糊评语“优、良、中、差”的隶属度(上述过程从略),并将之以向量形式表示,其结果为:

$$R_{111}^{(3)} = [0.33 \ 0.67 \ 0 \ 0],$$

$$R_{112}^{(3)} = [0 \ 0.59 \ 0.41 \ 0],$$

$$R_{113}^{(3)} = [0.20 \ 0.80 \ 0 \ 0],$$

$$R_{114}^{(3)} = [0 \ 0.86 \ 0.14 \ 0],$$

$$R_{115}^{(3)} = [0 \ 0.63 \ 0.37 \ 0],$$

$$R_{116}^{(3)} = [0.58 \ 0.42 \ 0 \ 0]。$$

专家给出的权重矩阵为:

$$A_{11}^{(3)} = [0.20 \ 0.15 \ 0.10 \ 0.10 \ 0.30 \ 0.15]$$

根据式(6),得到关于动态特性 O_{11} 的综合评价:

$$B_{11}^{(2)} = A_{11}^{(3)} \circ \begin{bmatrix} R_{111}^{(3)} \\ R_{112}^{(3)} \\ \dots \\ R_{116}^{(3)} \end{bmatrix} = [0.1550 \ 0.6405 \ 0.1865 \ 0]$$

则子目标 O_{11} 的量化分值为:

$$F(O_{11}) = F^0 (B_{11}^{(2)})^T = [0.90 \ 0.75 \ 0.60 \ 0.45] \cdot \begin{bmatrix} 0.1550 \\ 0.6405 \\ 0.1865 \\ 0 \end{bmatrix} = 0.7318$$

该设计方案的动态特性子目标的模糊评语为“良”略偏“中”。

4 结语

本文基于模糊理论,提出了用于对继电器产品设计方案进行综合评价的多层次指标体系多目标、多层次综评方法。综评过程从低层到高层渐次进行,可对各级子目标和总目标予以评价,并量化打分,使设计人员能够在产品的设计阶段即察觉到设计方案的不足之处,从而有针对性地修改原设计。该模型可应用于继电器的 ICAD 系统或设计型专家系统中,为产品设计人员和用户对某个设计方案的取舍或者从多个设计方案中进行优选提供决策支持。

本文提出的综评方法也适用于对已经投产的继电器产品进行评价。

参考文献:

- [1] LI Zhi-gang, LI Ling-ling, ZHOU Chur-lai, GAO Zhao-hui. Study on Technology of Realizing Intelligent Design System for Relay Products [A]. Proc of the 51th Relay Conference. Florida: 2003. 18-1-5.
- [2] LI Zhi-gang, LI Ling-ling, JIANG Dong, CUI Rui-hua. Study on Electrical Apparatus Design Expert System [A]. Proc of the 50th Relay Conference. California: 2002. 6-1-5.
- [3] 张敬菽 (ZHANG Jing-shu). 电磁继电器 CAD 专家系统(硕士学位论文) (Electromagnetic Relay CAD Expert System, Thesis) [D]. 天津: 河北工业大学 (Tianjin: Hebei University of Technology), 2001.
- [4] 韩立岩, 汪培庄 (HAN Li-yan, WANG Pei-zhuang). 应用模糊数学 (Applied Fuzzy Mathematics) [M]. 北京: 经济贸易大学出版社 (Beijing: Economy and Trade University Press), 1998.
- [5] 刘增良 (LIU Zeng-liang). 模糊技术与应用选编 (1) (Fuzzy Technology and Application, Part One) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社 (Beijing: Beijing Aeronautic and Aeronautic University Press), 1997. 525-544.
- [6] 谢季坚, 刘承平 (XIE Ji-jian, LIU Cheng-ping). 模糊数学方法及其应用 (The Method and Application of Fuzzy Mathematics) [M]. 武昌: 华中理工大学出版社 (Wuchang: Huazhong University of Technology Press), 2000. 22-29.

收稿日期: 2003-05-09; 修回日期: 2003-11-22

作者简介:

李玲玲(1968-),女,副教授,博士研究生,研究方向为电器 CAD 技术;

李志刚(1958-),男,教授,博士生导师,从事电器可靠性和电器 CAD 技术的研究;

孟跃进(1960-),女,工程师,从事电器 CAD 技术的研究。

阶跃响应法在浮地交流系统绝缘故障定位中的应用初探

庄劲武, 张晓锋, 张超

(海军工程大学电气工程系, 湖北 武汉 430033)

摘要: 针对交流系统绝缘故障定位现有方法存在的问题, 提出了一种新的解决方案——阶跃响应法。通过对阶跃信号注入电网后的负载支路漏电流及其传感器感应电流的理论分析, 得到了支路阻性电流与容性电流在时域上分离, 而与电网工频信号在频域分离, 从而易于提取的结论。并通过试验验证。

关键词: 阶跃响应法; 浮地交流系统; 绝缘故障定位

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)03-0021-05

0 引言

查找浮地交流系统对地绝缘故障最常用的方法是工频零序电流判据^[1~3], 但当出现三相绝缘同时降低或接地电阻较大时, 该方法将难以判断。为此, 低频信号注入法开始被用来解决该类问题, 通过对直流电网的应用分析, 发现该方法检测灵敏度随着电网对地电容的增大而降低^[3], 这一结论同样适用于交流电网。为了克服电网对地电容的影响, 笔者尝试采用了稳态直流信号注入方法, 通过霍尔传感器对负载支路漏电流的感应和直流成分的提取来判断绝缘故障支路, 理论上是优越的, 但在工程实现上较难。通过工业现场的应用, 发现霍尔传感器受空间杂散磁场的干扰大, 尤其是在穿心口径大且漏电流微弱的情况下; 当霍尔传感器数量多且较分散时, 其工作电源的提供在工程上复杂且电源品质难以保证; 霍尔传感器间的偏差校正较复杂, 这些问题影响了稳态直流信号注入方法在工程上的应用。基于此, 本文提出了一种能有效克服电网分布电容等参

数和工频变量影响, 且工程上易实现的方案——阶跃响应法, 其基本思想是向电网注入一直流阶跃信号, 利用负载支路暂态漏电流响应中阻性电流与容性电流在时域上分离, 而与电网工频信号在频域上分离的特性, 通过高精度传感器对暂态漏电流的感应, 并采用数字滤波手段, 将反映支路对地绝缘电阻大小的阻性电流提取出, 从而判断出绝缘故障支路。

1 阶跃响应法原理

阶跃响应法应用于浮地交流系统绝缘故障支路定位的原理如图1(a)所示, 三相电网母线给 n 条负载支路供电, 每条支路对地电容分别为 C_1, C_2, \dots, C_n , 交流漏流传感器环套在每条支路三相电缆上, 当电网出现低绝缘故障时, 假设第 i 条负载支路绝缘下降, 且绝缘电阻为 R_f , 闭合开关 K , 即向电网投入了直流阶跃信号, 直流电势为 E , 限流内阻为 R_0 。

1.1 故障支路对阶跃信号的电流响应

阶跃注入电网时, 负载支路暂态漏电流同时包含有阶跃响应成分和工频成分。为便于讨论, 首先

Study on the multi-level fuzzy comprehensive evaluation method of the design scheme of relay

LI Ling-ling, LI Zhi-gang, MENG Yue-jin, MENG Qing-long

(Institute of Electrical Apparatus, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: Design-evaluation-redesign is the complete course of product design. So it is very necessary to make a study on the method of evaluating a design scheme. On the basis of determining the evaluation index system of relays, a comprehensive evaluation model with multiobjective and multi-level is set up based on fuzzy theory in this paper. This model is able to evaluate every subobjective and the root objective of the evaluation index system comprehensively, and to supply users with decision support for selecting the best one from several design schemes, as well as to give directions for revising the original design.

This project is supported by Natural Science Found of Hebei Province (No. 602069) and Natural Science Found of Tianjin (No. 023603111).

Key words: relay; design scheme; fuzzy theory; comprehensive evaluation