

非晶合金变压器优化设计及其软件开发

徐宇¹, 林鹤云¹, 金承祥²

(1 东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096; 2 中电电气集团有限公司, 江苏 南京 211153)

摘要: 讨论了非晶合金变压器优化设计中有关铁心截面的确定、空载损耗计算、空载电流计算和箔式绕组分布等问题。采用面向对象分析与设计软件的技术, 设计出一套非晶合金变压器优化设计软件系统。对该系统的优化设计结果分析表明该软件能够大大缩短产品设计周期, 降低产品成本。

关键词: 非晶合金变压器; 优化设计; 面向对象

中图分类号: TM402 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-3175(2010)02-0038-04

Optimization Design of Amorphous Alloy Transformer and Its Software Development

XU Yu¹, LIN He-yun¹, JIN Cheng-xiang²

(1 School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2 China Electric Equipment Group Co.,Ltd, Nanjing 211153, China)

Abstract: The determination of amorphous alloy transformer core cross-section, no-load loss calculation, no-load current calculation and the distribution of foil windings etc issues were discussed. The object-oriented analysis and design software technologies were used to develop the amorphous alloy transformer optimization design software system. The analysis of optimal results in this system shows that the software can significantly shorten the produce design circle and reduce the product cost.

Key words: amorphous alloy transformer; optimization design; object-oriented

0 引言

随着能源紧张和环境恶化, 节能与环保越来越受到各国的重视。作为能源消耗大户的电力行业, 节能和环保问题尤为突出。变压器的损耗在电力系统损耗中所占的比重较大, 降低变压器的损耗对提高电网供配电系统效率具有重要意义^[1]。降低变压器的损耗主要考虑降低变压器的空载损耗。非晶合金铁心变压器是采用非晶合金代替硅钢片作为铁心材料的新型节能变压器。它比硅钢片铁心变压器的空载损耗下降 70% 以上, 空载电流下降约 80%, 是目前节能效果较理想的配电变压器^[2]。因此非晶合金变压器的优化设计对环境的保护和能源的节约具有较大的意义。

现有的文献大多仅是对非晶合金变压器的性能、制造工艺等方面进行了讨论。参考文献[3]对

非晶合金变压器的理论计算的一部分内容进行了详细的讨论, 但没有相关的优化设计研究及软件系统设计。本文在参考文献[3]的理论基础上讨论了非晶合金变压器优化设计中有关铁心截面的确定、空载损耗计算、空载电流计算、箔式绕组分布等问题。通过采用面向对象分析与设计软件的技术, 合理地抽象出非晶合金变压器设计所需要的类, 精心设计变压器数据库, 得到了清晰的设计模型。最后采用C++ Builder进行编码、调试, 得到了一套非晶合金变压器设计软件。对该系统的优化设计结果分析表明该软件能够大大缩短产品设计周期, 降低产品成本。

1 非晶合金变压器优化设计

1.1 铁心截面的确定

普通变压器的铁心形式(铁心柱截面)大多为

作者简介: 徐宇(1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电机与电器;

林鹤云(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为电机与电器、电机电磁场等。

圆形或长圆形,而非晶合金变压器铁心形式是矩形且采用卷绕。非晶合金变压器的铁心是用几个独立的矩形框并排靠在一起组合而成,可以为一排或两排。它一般采用四框五柱式,其结构如图1所示。铁心中间三个柱套上高压绕组和低压绕组。铁心两旁的柱则不套绕组,因此变压器铁心两侧的框宽 b_2 比中间的框宽 b_1 要小。为了制造方便,变压器的铁心采用对称结构。

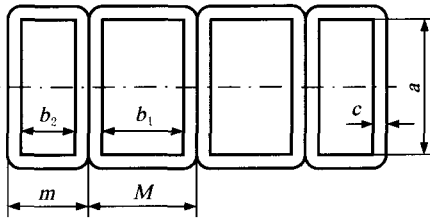


图1 非晶合金铁心结构图

由于带材标准的关系,采用非晶合金制作成的矩形框侧面宽主要有142, 170, 213.4 mm三种,而矩形框的厚度 c 则可以根据需要来调整。铁心柱的截面积计算公式如下:

$$A_c = 10^{-2} \times K_1 n c d \quad (1)$$

式中: A_c —铁心柱净截面积(cm^2); K_1 —叠片系数,常取0.84~0.86; n —排数,取1或2; c —单个非晶合金矩形框的厚度(mm); d —单个非晶合金矩形框的侧面宽度(mm)。

在具体的铁心柱截面确定中,如果需要的面积较大则采用两排,反之采用一排。选取矩形框侧面宽时也是根据所需要的面积来选取。非晶合金矩形框的厚度是可以轻易调整的,因此把它作为一个优化的循环变量。在其他量确定的情况下它作为改变铁心柱的截面积的参量来进行铁心截面的优化。

1.2 空载损耗计算

非晶合金变压器的空载损耗主要就是非晶片的损耗,因此又称为铁心损耗。铁心损耗通常取决于非晶片的材质和工艺加工的质量,也取决于各部分的磁通密度和重量。通常非晶合金变压器的空载损耗采用下面的公式计算:

$$P_0 = K_{P_0} p_0 G_{Fe} \quad (2)$$

式中: P_0 —空载损耗(W); K_{P_0} —空载损耗附加工艺系数,根据工厂工艺条件确定一般取1.08~1.15; p_0 —非晶合金在额定工作条件下的单位损耗(W/kg); G_{Fe} —铁心总重(kg)。

根据公式(2),非晶合金变压器的空载损耗是

依据损耗曲线来求取的。但是,非晶合金材料经过各道工序制作成矩形铁心之后,非晶合金的单位损耗与原来厂家提供的曲线数据有一定的差别,难以较好地进行修正。因此,本文没有采用传统的计算方法,而是采用了新的非晶合金材料损耗计算公式:

$$P_0 = K_2 G_{Fe} \left(\frac{B}{C_1} \right)^m \quad (3)$$

式中: K_2 —系数,本文取0.29; B —铁心柱的磁通密度(T); C_1 —常数,这里取1.3; m —指数,本文设计中取2.4。

公式(3)是通过非晶合金变压器制造完成后的变压器空载损耗进行测量,经过统计确定出相应的 K_2 、 C_1 、 m 的值来实现的。因此该公式计算得到的结果更符合实际情况。

1.3 空载电流计算

空载电流是以占额定电流的百分数来表示的,它由两部分组成,即有功分量百分数和无功分量百分数。由于非晶合金变压器的有功分量所占的比例较小,故可忽略不计。这样,无功电流占额定电流的百分数即近似为空载电流占额定电流的百分数。传统的空载电流百分数计算公式如下:

$$I_0\% = I_x\% = K_0 \frac{g_c G_{Fe} + g_s A_c}{10 S_R} \quad (4)$$

式中: $I_0\%$ —空载电流百分数; $I_x\%$ —空载电流无功分量百分数; K_0 —系数,一般取1.1; g_c —铁心单位激磁容量(VA/kg); g_s —接缝磁化容量(VA/ cm^2); S_R —变压器容量(VA)。

由于经过多道工序制造之后,非晶合金材料的激磁容量与接缝磁化容量将会有一定的变化,因此,按照公式(4)来计算空载电流,误差较大。本文采用下式来计算空载电流:

$$I_0\% = 2.0 \times G_{Fe} \left(\frac{B}{C_2} \right)^m \quad (5)$$

式中: C_2 —常数,本文取1.3; m —指数,本文取7.9。式(5)是通过统计并不断修正得到的,计算得到的结果比较符合实际。

1.4 低压箔式绕组分布

箔式绕组的分布对温升具有较大的影响,对其研究有利于延长变压器寿命。低压箔式绕组往往分为两部分,两部分的层数分布对温升的影响较大。经过分析,低压箔式绕组靠近铁心侧是不计散热面

积的,因此低压绕组的两部分只有三个散热面,也就是靠近铁心部分只有一个散热面积,外边部分有两个散热面。假设低压绕组为 W 匝,采用以下的分布方式可以达到较好的散热效果。计算 $W/3$ 得到的整数部分作为靠铁心部分的匝数,剩下的全部放在外部。这样靠近铁心部分散发热量大约为低压绕组损耗的 $1/3$,外边部分约为 $2/3$,与各散热面积成比例。这样的分布使得两部分的温升基本相同,低压绕组散热比较均匀,有利于延长变压器的寿命。

2 非晶合金变压器优化设计软件实现

2.1 软件的类和数据库

采用面向对象分析和设计方法得到变压器实体类图和界面类图如图2所示。这是采用面向对象分析与设计的统一建模语言(UML)分析得到的模型^[4]。非晶合金变压器的实体类包括非晶合金变压器类、矩形铁心类、绕组类、箔式绕组类、层式绕组类。界面类则有登录界面类、主界面类、输入参数界面类、显示结果界面类、计算单显示界面类。图2a)中绕组类和非晶合金变压器类为抽象类,绕组类派生出箔式绕组类和层式绕组类,其中数字表示1个非晶合金变压器对象由1个矩形铁心对象和2个绕组对象组成。图2b)的界面类关系中1表示对应一个类的对象,0..*表示对应0个或多个类的对象,0..1表示对应0个或1个类的对象。图2的矩形框的第二第三格分别是该类的属性和操作,图中已隐藏其具体内容。

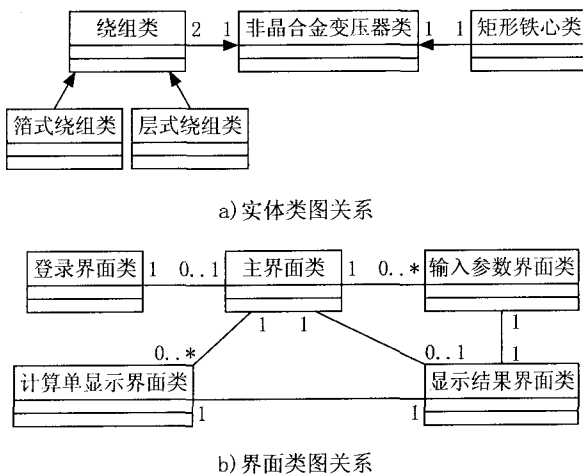


图2 优化设计系统中类的关系

变压器设计计算过程中涉及到各种标准,因此

软件还应包括一个变压器标准数据的数据库。数据库通过一个专门的数据模块来进行管理,为其它类提供标准的获取数据接口。本软件系统的数据库采用Microsoft Access来制作。数据库管理模块结构如图3所示。各数据表通过数据模块为相应的函数提供统一的数据接口,从而实现变压器的优化设计功能。同时这一数据模块与数据库管理功能直接相连,提供对数据进行更新、修改和删除的功能。

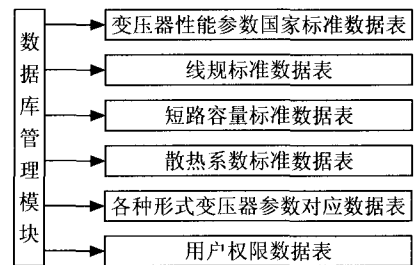


图3 数据库管理模块

2.2 优化设计的算法选择和约束条件

本文设计的非晶合金变压器优化设计系统采用的是循环遍历法。通过层层设置变压器的参数范围来排除不符合的方案。系统以铁心的框厚、低压绕组的匝数、绕组各部分之间的距离、主绝缘的距离等参数来进行循环遍历。软件的优化设计方案是以成本最优为目标的。由于各循环参数都是整数,因此它们组合得到的方案总数是有限的而且存在最优值。为了使设计方案不过于集中,把对变压器的参数影响较大的铁心框厚和低压绕组匝数作为辅助选择最优方案的参量。如果设计方案的铁心框厚度和低压绕组匝数相同的话,在不满足 N 种(可以由用户设定,默认为2种)方案时留下所有方案,否则与先前计算的方案比较留下成本最低的 N 种。

在设计过程中主要有以下几种约束条件:

(1) 短路阻抗、空载电流均需要满足国家标准和企业标准。

(2) 空载损耗、负载损耗均不能超过国家标准10%,高压绕组温升和低压绕组温升必须低于国家标准值,并且满足客户的非标准要求。

(3) 高压绕组和低压绕组的导线电流密度要满足散热要求,导线的宽厚比则要满足机械结构稳定要求等。同时在安排约束条件嵌套时应在条件一满足就进行判断,把无效的计算降到最少。

2.3 软件的实现

本文所设计的系统是在C++ Builder 6.0编程

环境中实现的。C++ Builder 6.0采用的是事件驱动编程方式,也就是把系统所涉及的类的属性和操作转化为一个个可视化控件的属性和事件^[5]。界面类的属性和操作只需在对应的代码函数中编写相应的功能即可实现。实体类则是通过编写自己的属性和操作来实现其所要完成的功能。

3 优化结果分析

利用本软件设计的SCRBH15-630/10非晶合金变压器计算单与中电电气集团有限公司提供的手工计

算单的主要参数如表1所示。由于厂方的保证值是为了保证产品优良的参考值,所以在设计时仅可以在较小的范围内变化。从表1中的优化方案与厂方的设计数据性能来看,优化方案的总损耗要比厂方的设计值小,因此优化方案值性能更优。从原材料的用量看,铜导线平均用量比厂方值少5 kg,而非晶合金平均用量则减少74 kg,这样变压器生产的成本与厂方比将会有不同程度的降低。另外软件设计计算一次优化仅需要5~30 s,几乎可以实时获取方案。由此可见,软件优化设计可以提高产品性能,降低生产成本,提高产品的竞争力。

表1 优化结果与厂方数据比较

类别	性能参数						
	空载损耗/W	负载损耗/W	短路阻抗/(%)	非晶合金重/kg	铜导线重/kg	高压温升/K	低压温升/K
厂方保证值	500.00	8 090.00	6.00			125.00	125.00
厂方数据	448.00	8 434.40	6.02	1 839.00	488.00	76.40	99.30
优化方案1	459.02	8 341.58	5.96	1 795.08	485.07	84.93	102.51
优化方案2	453.54	8 361.83	5.98	1 815.25	486.28	84.92	102.54
优化方案3	448.18	8 382.07	5.99	1 835.48	487.50	84.82	102.57
优化方案4	476.24	8 280.85	5.92	1 734.87	481.44	84.95	102.51
优化方案5	494.72	8 220.11	5.87	1 675.14	477.80	84.98	102.50
优化方案6	482.26	8 260.60	5.90	1 734.87	481.44	84.95	102.51

4 结语

本文讨论了非晶合金变压器铁心截面的确定、空载损耗计算、空载电流计算和箔式绕组分布等问题。采用面向对象分析与设计的软件方法对非晶合金变压器优化设计软件进行了对象模型分析,得到了结构良好的设计模型。最后采用C++ Builder 6.0和Microsoft Access实现了软件的所有设计功能,开发出一套非晶合金变压器优化设计软件。对软件优化结果分析表明,该软件运行速度快,优化得到的方案在不同程度上降低了产品的成本,对提高产品的竞争力,缩短产品生产周期具有重要价值。

参考文献

- [1] 尹克宁. 变压器设计原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [2] 刘燕, 唐金权, 张建军. 非晶合金干式变压器几个关键问题[J]. 变压器, 2007, 44(6): 7-10.
- [3] 杨中地, 武颖. 非晶合金变压器[J]. 变压器, 2007, 44(7): 1-8.
- [4] 唐学忠, 胡智喜, 费贤举. UML面向对象分析与建模[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [5] 余明兴, 吴明哲, 黄世阳, 黄丰隆, 纪旺松, 潘能煌. Borland C++ Builder 6程序设计经典[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

收稿日期: 2009-09-17

欢迎订阅2010年《电工电气》杂志

国内邮发代号: 28-184 国外发行代号: 4905BM

订阅《电工电气》杂志请到当地邮局

每期5元 每年12期 全年60元(RMB)

如错过订期请与编辑部联系 联系电话: 0512-68099733

E-mail: jsdq@eeti.com.cn