

基于 ANSYS 的开关磁阻电机静态电磁分析*

陈玟充, 陈小元

(丽水学院 工学院, 浙江 丽水 323000)

摘要: 详细叙述了基于 ANSYS 有限元软件的 APDL 语言的三相 12/8 结构的开关磁阻电机几何建模、网格剖分、载荷施加、边界条件、求解及后处理等步骤, 建立了二维开关磁阻电机的有限元模型, 分析随电机转子位置变化的开关磁阻电机静态磁场, 获得了电感、磁链及转矩等数据, 为开关磁阻电机的本体优化及控制系统设计提供了理论依据。

关键词: 开关磁阻电机; 有限元; 电磁分析; APDL 语言

中图分类号: TM352

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)22-0078-03

Analysis of static electromagnetic characteristics for switched reluctance motor based on ANSYS

Chen Wenchong, Chen Xiaoyuan

(Engineering College, Lishui University, Lishui 323000, China)

Abstract: The finite element simulation model of three-phase 12/8 structure switched reluctance motor is established based on APDL language of ANSYS software. The process of the model consist of geometric modeling, element meshing, loading, boundary conditions applying, calculation executing and post-processing. The static electromagnetic characteristics with the rotor position are analyzed, the data of phase inductance, the phase flux and torque are obtained. The analysis based on APDL language of ANSYS software provide a theoretical basis for the design of switched reluctance motor.

Key words: switched reluctance motor; finite element; electromagnetic analysis; APDL language

开关磁阻电机 SRM (Switched Reluctance Machine) 具有结构简单坚固、可靠性强、起动转矩大、容错性好等优点, 在矿山机械、电动汽车及航空航天等领域得到广泛应用^[1-4]。但 SRM 工作过程是高度非线性的, 无法严格列写相电感和相电流的具体解析表达式, 这给前期设计带来很大困难。因此需要借助有限元软件对 SRM 的电磁特性进行分析。

本文采用 ANSYS 软件的 APDL 语言建立三相 12/8 结构 SRM 的二维有限元模型并对其静态磁场特性进行分析^[5-7]。详细叙述了几何建模、网格剖分、载荷施加、边界条件、求解及后处理等步骤, 分析随电机转子位置变化的静态磁场, 获得了电感、磁链及转矩等数据。

1 有限元模型的建立及求解

整个电机建模过程分为前处理、求解及后处理 3 部分, 如图 1 所示。



图 1 电机建模过程

1.1 模型建立

前处理过程是有限元分析电机磁场的一个重要过程。由于本文采用 ANSYS 软件的 APDL 语言建立 SRM 的二维有限元模型, 其相对菜单图形用户界面 GUI

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51207068); 浙江省教育技术研究规划课题(JB162); 浙江省新苗人才计划(2012R429004)

技术与方法 Technique and Method

(Graphical User Interface)操作的优点在于项目的可移植性强。在建立模型时,把项目中使用的电机结构尺寸、电机的材料属性等参数变量化,并根据不通过开发项目设定赋具体的值。另外把项目文件名以及建模用的单元等信息放在程序前面部分。这样,如果再开发另外一个类似项目时,只需要修改项目文件名、建模单元信息、电机尺寸、材料属性等参数变量值即可,项目程序的可移植性非常强。

建立待建模电机的几何模型是前处理过程的一个重要环节。建模的原则是由点生线,由线生面。由于SRM电机截面的对称性,在建立模型时,定子部分可以先建立一个定子齿和绕在该齿上的线圈,然后利用A-gen命令语句进行12份30°轴中心阵列,即可得到完整的12/8结构SRM定子部分模型。同理,转子部分亦可先建立一个转子齿及其齿中心对称线45°范围内模型,然后利用Agen命令语句进行8份45°轴中心阵列,即可得到完整的12/8结构SRM转子部分模型。电机定子部分包括定子、绕组和靠近定子的一半定转子间气隙面积。转子部分包括转子、转轴、转子齿间槽面积和靠近转子的一半定转子间气隙面积。图2所示为标有AREA单元标号的12/8结构SRM的几何模型。



图2 12/8结构SRM几何模型

模型建立后,即可按照实际电机特性对各AREA单元进行赋材料属性。完成此步骤后,即可进行剖分操作。剖分操作时应避免模型中出现尖角(如倒角部分);避免模型中出现面积比过大的区域,如气隙与周围区域;避免模型中出现极不规则的形状,如包括气隙在内的所有空气区域。对电机而言,应由气隙开始剖分,即先进行电机定转子间的气隙的剖分。图3为电机剖分图,其中图4为定转子气隙部分剖分图。

1.2 求解

若求解 m 种不同位置时 n 种电流下的电机磁场数据,需要分别建立 $m \times n$ 次模型一步一步地求解,非常繁琐。为了提高计算效率,建立模型时,将电机转子部分作为一个旋转组件,并设定一个旋转角度变量,这样每次

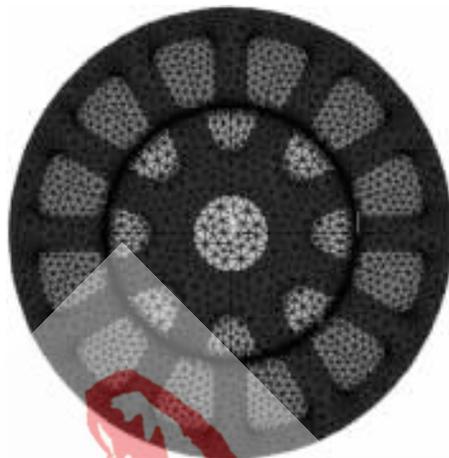


图3 12/8结构SRM剖分图

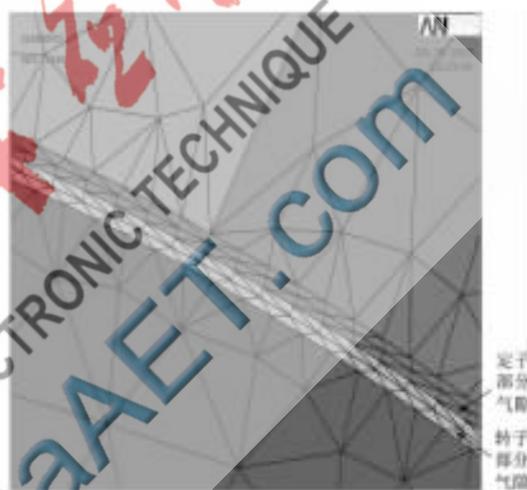


图4 气隙剖分图

程序执行时只需要为该旋转角度变量赋值,将此旋转组件旋转至相应位置,而不需要重新编写程序建立电机模型,最后将属于转子部分旋转组件的气隙圆环与属于定子部件的气隙圆环临近单元合并,同时利用一个循环在绕组中加载不同电流即可求解出相应位置时不同电流下的电感、磁链等电磁数据。这样SRM在 m 种不同位置时 n 种电流下的磁场数据只需要经过 m 次的程序计算即可。按照以上思想确定好位置循环和电流循环之间的关系后,一般把电流环嵌套于位置环中为宜。

另外在定子轭部最外层的所有单元施加矢量磁位 $A_z=0$ 条件,确保电机模型外没有磁场分布。模型的求解器采用直接波前法求解器,其命令语句为:“Eqslv, Front”。为了提高求解精度,每一个加载计算步的收敛迭代次数设为40。

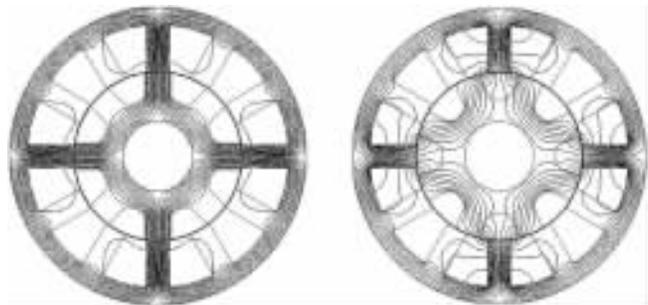
2 仿真结果及分析

求解结束后,可以用菜单操作或者命令行显示SRM在相应位置及相应相电流励磁时的静态磁场分布,如图5所示为12/8结构SRM在定转子对齐位置和不对齐位置时的磁力线分布图。

图6所示为对应图5(a)定子齿和转子齿对齐位置

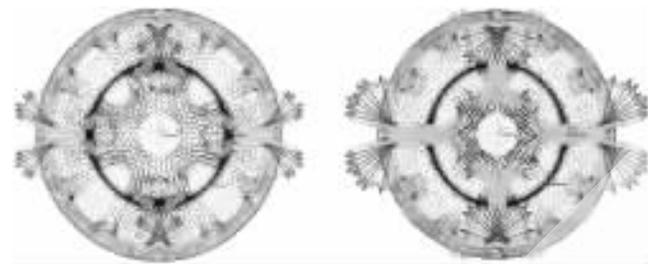
欢迎网上投稿 www.pcachina.com 83

技术与方法 Technique and Method



(a) 定子齿和转子齿对齐位置 (b) 定子齿和转子槽对齐位置

图 5 SRM 磁场力线分布图



(a) 定子齿和转子齿对齐位置 (b) 定子齿和转子槽对齐位置

图 6 SRM 磁通密度矢量图

和图 5(b) 定子齿和转子槽对齐位置时的磁通密度矢量图。

模型程序中,把在不同位置时不同电流的 SRM 相电感数据、相磁链及转矩数据分别写入 L.dat、 ψ .dat 和 T.dat 文件中,打开后提取数据到专业绘图软件(如 Origin)即可得到图 7~图 9 所示的电机电感 $L(\theta, i)$ 、磁链 $\psi(\theta, i)$ 和转矩 $T(\theta, i)$ 特性曲线簇。电感 $L(\theta, i)$ 、磁链 $\psi(\theta, i)$ 和转矩 $T(\theta, i)$ 的数据可为 MATLAB/Simulink 等方法搭建 SRM 的动态性能分析模型提供参考数据。

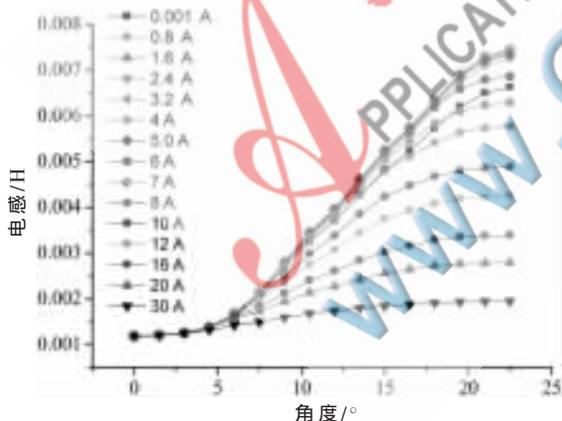


图 7 SRM 相电感曲线簇

本文详细叙述了利用 ANSYS 软件的 APDL 语言建立三相 12/8 结构 SRM 的二维有限元模型进行静态电磁分析的几何建模、网格剖分、载荷施加、边界条件、求解及后处理等步骤,实现了转子组件的自动旋转并与定子组件单元耦合的功能。利用 ANSYS 软件的 APDL 语言建立电机模型的程序可移植性强、求解效率高,计算结果对电机的静态性能分析具有参考价值。

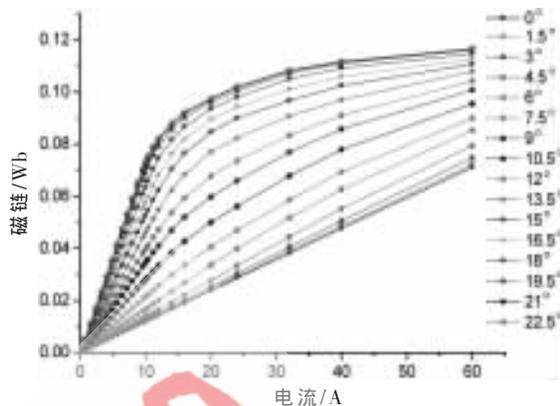


图 8 SRM 相磁链曲线簇

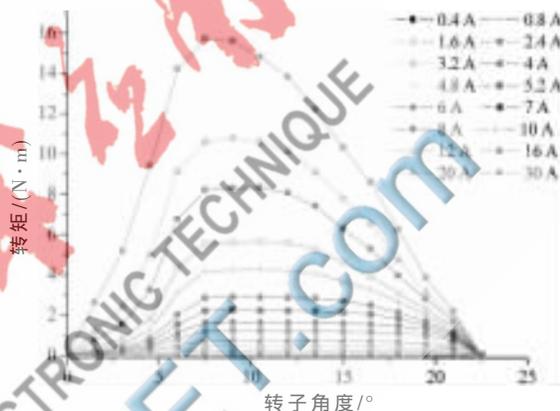


图 9 SRM 矩角特性

参考文献

- [1] 陈昊.开关磁阻调速电动机的原理·设计·应用[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000.
- [2] GOPALAKRISHNAN S, OMEKANDA A M, LEQUESNE B. Classification and remediation of electrical faults in the switched reluctance drive[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2006, 42(2): 479-486.
- [3] 陈小元, 邓智泉, 许培林, 等. 整距绕组分块转子开关磁阻电机的电磁设计[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(36): 109-115.
- [4] 陈小元, 邓智泉, 范娜, 等. 双极性分块转子开关磁阻电机[J]. 电机与控制学报, 2010, 14(10): 1-7.
- [5] 严云. 基于 ANSYS 参数化设计语言的结构优化设计[J]. 华东交通大学学报, 2004, 21(4): 52-55.
- [6] 丁文, 周会军, 鱼振民. 基于 ANSYS 二次开发的开关磁阻电机电磁场分析软件[J]. 微电机, 2006, 39(2): 19-21, 55.
- [7] 刘芸芸, 吴建华, 张式勤. 基于 ANSYS 平台开发开关磁阻电机电磁分析软件[J]. 中小型电机, 2005, 32(3): 1-4.

(收稿日期: 2013-08-21)

作者简介:

陈玟充,男,1992年生,本科,主要研究方向:开关磁阻电机的有限元分析。

陈小元,男,1980年生,博士,讲师,主要研究方向:开关磁阻电机,中小功率电机的设计与控制。