

[电动机]

基于Maxwell2D的开关磁通永磁同步电动机仿真研究

文/平高集团有限公司 李 慧 崔松杰 邓 渊

基于Maxwell2D的仿真环境，建立了开关磁通永磁同步电动机（SFPM）的系统模型。在建立仿真模型的基础上，对SFPM电动机基本特性进行了仿真研究，获得了电动机在不同位置时的磁场分布、静态电磁参数和动态性能仿真结果。仿真结果可以用于指导该型电动机及其控制系统的设计和优化。

开关磁通永磁同步电动机驱动系统由电动机本体（switch fluxing permanent magnet motor，简称SFPM）、功率变换器、位置传感器和控制器4部分组成。SFPM电动机的概念在20世纪50年代就已经提出，但由于整个电动机系统必须有逆变驱动，所以一直到20世纪90年代后期才开始研究，也是目前国际领域的研究方向。SFPM电动机的永磁材料和电枢绕组都置于定子，转子为凸极，明显不同于传统的永磁电动机，必须提出一种全新的研究方法。

系统仿真模型的建立

1. SFPM电动机仿真模型

由于开关磁通永磁同步电动机、功率变换器、控制器三者之间的强耦合特征，只有使得SFPM电动机在外电路的控制下才能真实地仿真其性能，获得更真实的瞬态性能，并为电动机驱动系统的设计和优化提供依据。由于此种电动机的特殊结构，其控制方式与无刷直流永磁同步电动机的控制方式相近，因此，本文采用无刷直流永磁电动机的控制方式进行驱动。

利用Maxwell 2D建立SFPM电动机二维有限元模型，建模过程如下：

- (1) 选择求解平面。
- (2) 确定电动机结构尺寸、画出模型。

(3) 确定电动机材料属性。

(4) 确定有限元计算的边界条件和外加源参数。

(5) 确定计算过程中是否考虑各种损耗。

(6) 确定动态参数，包括：运动边界，外加载荷，时间不长等。

2. 功率变换器模型

功率变换器模型如图1所示。变换器输出的ABC三相分别由 $v-a$ ， $v-b$ ， $v-c$ 表示； $S-1 \sim S-6$ 是被控开关，由驱动控制电路中 $V1 \sim V6$ 控制， $D2$ ， $D4$ ， $D6$ ， $D8$ ， $D10$ ， $D12$ 为快速回复二极管，起到续流作用。

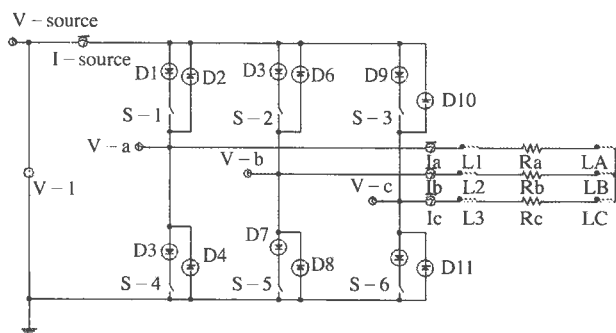


图1 功率变换器模型

3. 驱动电路模型

Ansoft软件自带位置变量 P ，可以自动检测转子运行的位置并提供给控制电路，为功率变换器提供正确的换相信息。利用Maxwell 2D提供的电

路元件建立驱动电路模型,在软件内部将驱动电路的V1~V6与被控开关S-1~S-6设置成“关联”状态,并在软件中设置控制时序,使得驱动电路可以控制功率变换器各桥臂上的开关通断,见图2。产生的脉冲电压信号,见图3。

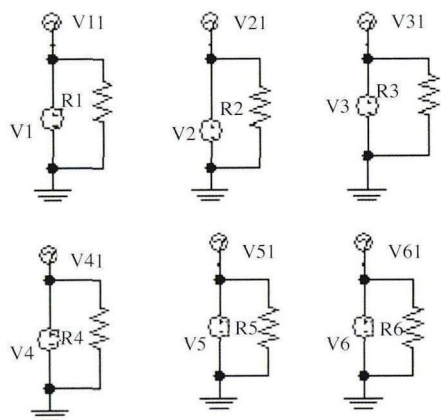


图2 驱动电路模型

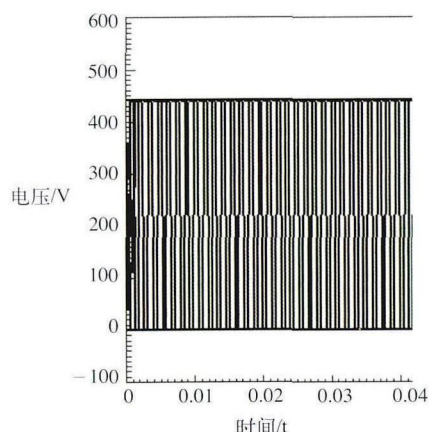


图3 驱动电压源波形

系统仿真结果

SFPM电动机参数如表1所示,开关磁通永磁同步电动机采用12/10极结构,功率变换器采用三相全控电路,SFPM电动机工作于电动状态。定子极中心线与转子极中心线重合位置定义为 0° (机械角度,下同)。各相导通时序为A+, C-, B+, A-, C+, B-, 每相导通相差 6° ,周期为 36° 。

对电动机进行了仿真分析,得到了对其位置和不对齐位置处的磁场分布和动态性能仿真结果。

表1 电动机额定数据及结构参数

额定功率/kW: 2 000	永磁体厚度/mm: 4.8
额定电压/V: 44 (DC)	气隙长度/mm: 0.35
额定转速/(F/min): 1 500	转子铁心长度/mm: 75
额定转矩/Nm: 13	转子内径/mm: 22
定子外径/mm: 128	

1. 网格剖分及磁力线分布

加大网格剖分度,可以增大求解精度,但会造成运算时间增长。如图4、图5所示。

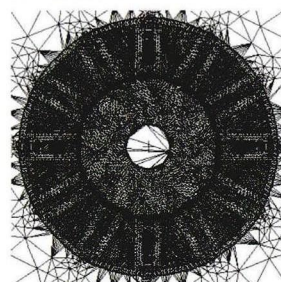


图4 网格剖分

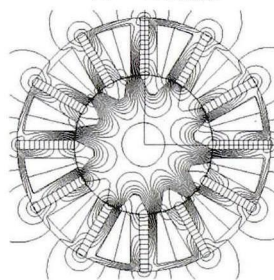
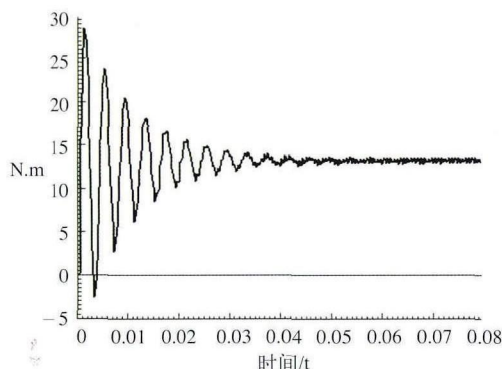


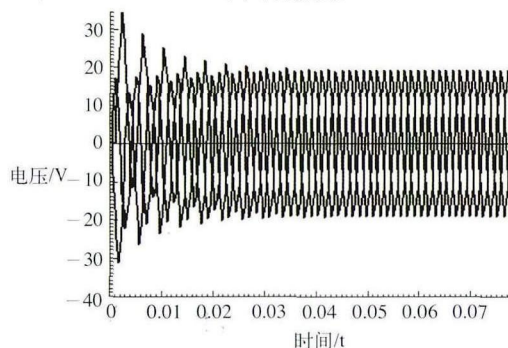
图5 磁力线

2. 动态性能仿真结果

角度位置控制:开通角为 12° ,关断角为 36° ,转速为1 500 r/min,角度位置控制。图6为角度位置控制下电动机性能波形其中a)为合成转矩,b)为相电流波形,c)磁链波形,d)反电势波形。



(a) 合成转矩



(b) 相电流波形

(下转第63页)

550 kV GIS型式试验验证

TBEA自主研发的新型550kV GIS在国家高压电器质量监督检验中心(西安)进行整套型式试验验证。

550 kV CB绝缘型式试验极布置见图13, 该断路器一次性顺利通过整套绝缘型式试验。



图13 550kV CB绝缘型式试验极

550 kV GIS典型布置方式

550 kV GIS采用模块化设计, 布置灵活, 满足一倍半接线、三分之四接线、双母接线及桥型接

线等多种方式。

典型的550 kV一倍半接线布置方式见图14。

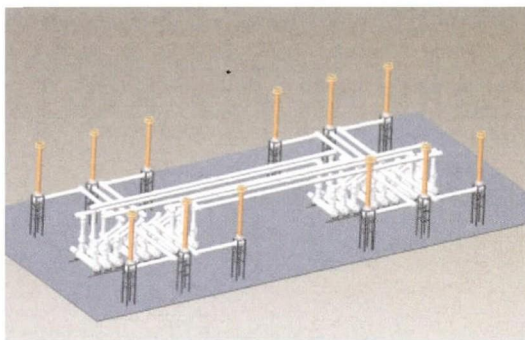


图14 550 kV GIS典型一倍半接线

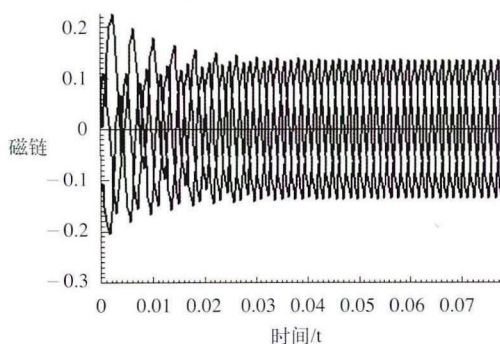
结束语

TBEA成功研制了高参数、高性能具有完全自主知识产权的新型550 kV GIS, 不仅为我国等国提供了经济、可靠的技术和设备保障, 同时也较大地提高了TBEA公司在超高压 GIS市场中的竞争力, 扩大了其市场占有率。EA

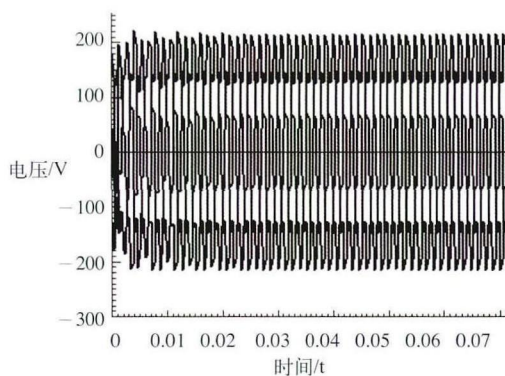
(收稿日期: 2015.06.01)

(编辑: 白文亭)

(上接第51页)



(c) 磁链波形



(d) 反电势波形

图6 角度位置控制下电动机性能波形

结束语

本文在Ansoft Maxwell 2D环境下建立了SFPM电动机的仿真模型, 完成了对SFPM电动机系统的仿真研究。仿真结果准确反映了SFPM的磁场分布, 为电动机结构参数优化设计提供依据。电磁参数的分析为建立SFPM的非线性模型提供了电磁

特性参数, 为在其他环境(如Matlab)下SFPM电动机建模提供了依据; 电流和转矩反映了SFPM的基本性能, 尤其为如何选择最优的开通角和关断角提供了依据。EA

(收稿日期: 2015.06.01)

(编辑: 白文亭)