

永磁式直线开关磁阻发电机的优化设计

曹敏

国网山西省电力公司晋中供电公司

摘要: 永磁式直线开关磁阻发电机 (PMSLRG) 的尺寸设计虽借鉴自旋转式开关磁阻发电机 (SRG), 但两者在结构上仍存在显著差异。因此, 对PMSLRG进行结构优化显得尤为重要。其中, 横向磁拉力作为评估其发电性能的关键指标, 其优化至关重要。本文利用ANSYS Maxwell分析软件, 成功建立了LSRG模型, 并以提升横向磁拉力为目标, 对其进行了优化设计, 获取了优化后的结构尺寸。最后, 将永磁体引入优化后的LSRG, 形成PMSLRG, 并确定了其最优结构。计算结果显示, 优化后的PMSLRG的横向磁拉力有效值提升至34.7186%, 充分证明了优化设计的有效性。

关键词: 永磁式直线开关磁阻发电机; ANSYS Maxwell有限元分析

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.10.132

引言

直线开关磁阻发电机 (LSRG) 遵循“磁阻最小原理^[1-3]”, 以其简单的结构、低廉的成本、维护方便的特点, 具有广泛的应用前景。LSRG定子绕有励磁绕组, 而动子则无绕组设计。在实际运行过程中, 由于径向磁拉力的影响, 不仅降低了其稳定性, 还导致其产生的噪声较大, 影响了发电机的整体性能。

本文设计了一种新型结构的LSRG, 并且在双边式结构中加入永磁体, 减小了径向磁拉力, 也提高了发电效率。采用 ANSYS Maxwell有限元分析对永磁式直线开关磁阻发电机PMSLRG (Permanent Magnet Linear Switched Reluctance Generator)^[4]结构进行优化设计, 得出PMSLRG的最优结构。

一、LSRG结构及运行原理

通过将SRG沿径向剖开并沿水平方向展开, 我们保留其动子的位置并进行了水平延伸, 形成次级结构。同时, 保持定子绕组对数不变, 进行水平方向的延伸, 形成初级结构。这样, 得到了展开后的LSRG结构, 如图1-1所示。尽管LSRG的初始尺寸是基于旋转式SRG的展开设计, 但两者在结构上仍存在显著的差异。因此, 必须进行进一步的结构优化设计, 以确保其在实际应用中的高效性和稳定性。

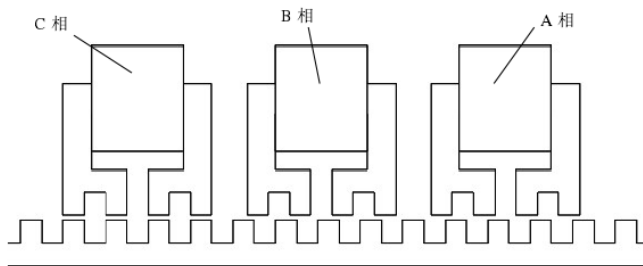


图1-1 直线开关磁阻发电机结构

二、LSRG结构优化设计

(一) 动子优化

保持发电机其他尺寸不变, 我们针对动子轭厚进行了详细的优化分析。将其从初始的8mm逐步增加到15mm, 每次增加的步长为1mm。通过这样的调整, 我们能够更准确地观察动子轭厚变化对发电机性能的影响。仿真得到的波形如图2-1所示。

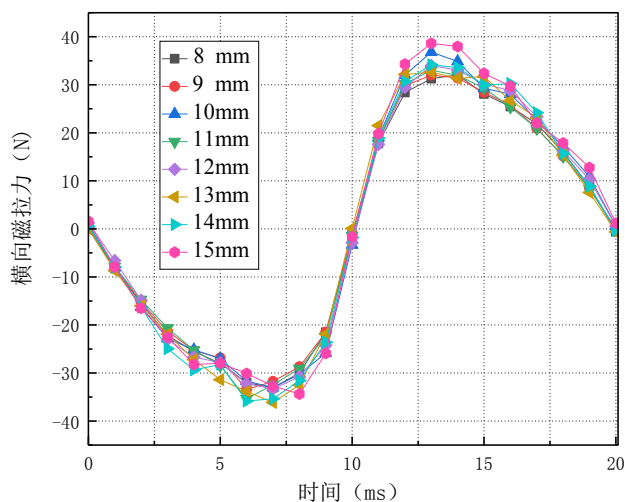


图2-1 不同动子轭厚下的横向磁拉力波形

基于上图分析, 我们确定最优的动子轭厚值为15mm时磁拉力达到最大值, 并在后续的发电机设计中采用了这一参数。

(二) 定子优化

在上节优化的基础上, 保持发电机其他尺寸不变, 我们针对定子轭厚进行了详细的优化分析。将其从初始的6mm逐步增加到12mm, 每次增加的步长为1mm。通过这样的调整, 能够更准确地观察定子轭厚变化对发电机性能的影响。仿真得到的波形如图2-2所示。

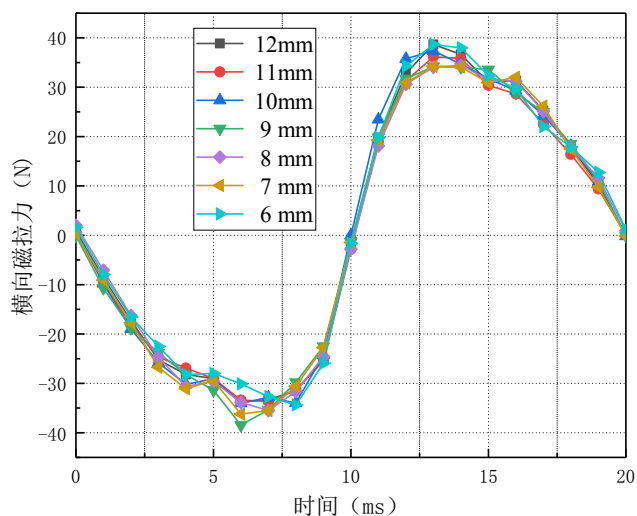


图2-2 不同定子轭厚下的横向磁拉力波形

基于上图分析，我们确定最优的定子轭厚值为10mm时磁拉力波形平缓且有效值最大，在实际应用中，这种稳定的磁拉力变化有助于减少发电机的振动和噪声，提高整机的运行平稳性。

（三）齿宽优化

在上节优化的基础上，保持发电机其他尺寸不变，我们针对转子齿宽和定子齿宽进行了细致的优化分析。优化过程中，将转子齿宽和定子齿宽从初始的3mm增加到7mm，步长为1mm。仿真得到的波形如图2-3

所示。

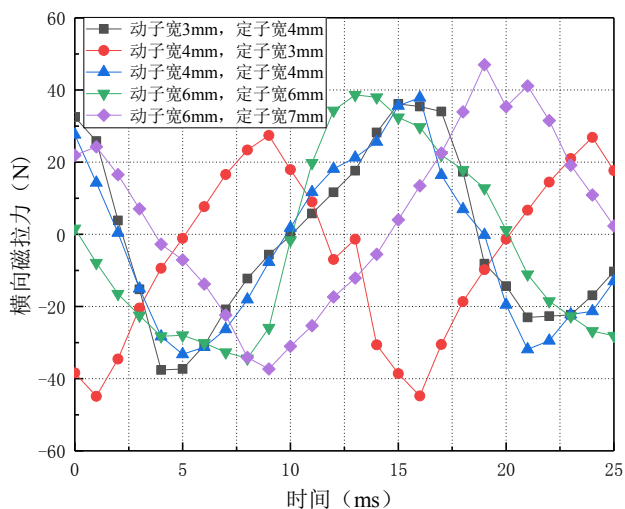


图2-3 不同转子齿宽、定子齿宽下的横向磁拉力波

基于上图分析，我们确定最优的转子齿宽、定子齿宽取值都为6mm时磁拉力波形平缓且有效值最大。最终将采用这一优化后的齿宽取值，以期获得更好的发电效果和运行稳定性。

（四）转子齿结构优化

1. PMLSRG结构设计

我们对LSRG进行了创新性的优化，通过在转子齿之间嵌入永磁体，构建了PMLSRG，其结构如图2-4所示。

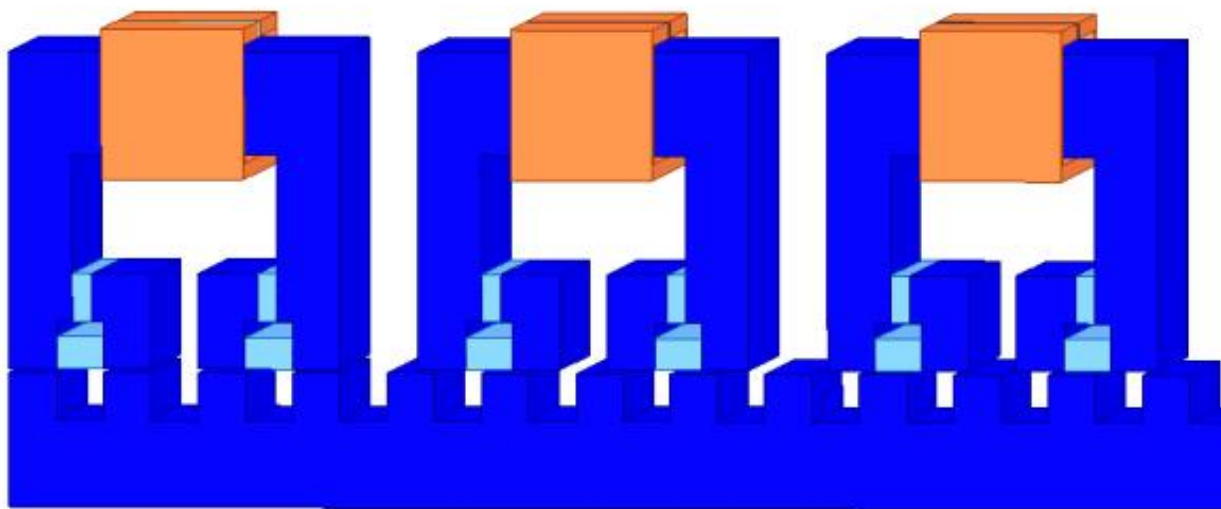


图2-4 PMLSRG模型

2. 永磁体尺寸优化

通过上三节结构优化，确定了LSRG的尺寸，在此基础上，我们针对永磁体尺寸进行细致的优化分析。水平嵌入的永磁体厚度取值范围为[2mm, 4mm]，垂直嵌入的永磁体厚度取值范围为[2mm, 3mm]，步长为1mm。进行

有限元仿真。

基于仿真结果分析，当水平放置永磁体较厚时，更有利于在发电机内部形成稳定的磁场分布，减少磁通泄漏，从而提高磁通密度。垂直放置永磁体稍薄一些，则可能有助于平衡磁场分布，减少不必要的磁阻损耗。这

种厚度组合在提升发电机性能的同时,也可能有助于控制成本和保持结构的紧凑性。结合仿真后磁拉力变化范围[27N, 32N]综合分析,将水平放置永磁体和垂直放置永磁体厚度分别确定为4mm和3mm。

(五) 对比分析

在前四节中,我们利用仿真软件对PMLSRG进行了深入的优化设计。通过精细的仿真分析和参数调整,我们成功地提升了横向磁拉力。横向磁拉力的增强不仅有助于提升发电机的输出功率和效率,还有助于改善系统的动态性能和稳定性。

PMLSRG优化后的定子总宽42mm,总长42mm,总高42mm,齿宽6mm,齿高12mm,槽宽6mm,槽深6mm,轭宽8mm,轭高15mm,极距12mm;定子总宽42mm,总高16mm,齿宽6mm,齿高6mm,槽宽6mm,极距12mm。

结语

在传统SRG的基础上,我们利用先进的仿真分析软件建立了LSRG模型。为进一步提升LSRG的性能,我们以提升横向磁拉力为主要目标,对其进行了优化设计,

获取了优化后的结构尺寸。最后,将永磁体引入优化后的LSRG,形成PMLSRG,并确定了其最优结构。计算结果显示,优化后的PMLSRG的横向磁拉力有效值提升至34.7186%^[4]。这一成果充分证明了优化设计策略的有效性,也展示了永磁体技术在提升LSRG性能方面的巨大潜力。

参考文献

- [1] 马春燕,王振民,陈燕.开关磁阻平面电机运动机理及其结构设计[J].电机与控制学报,2008,12(1):38-41.
- [2] 潘剑飞,邹宇,曹广忠,等.一种直线开关磁阻电机发电研究[J].电机与控制学报,2013,17(2):39-47.
- [3] 李更新,马春燕,陈燕,等.Maxwell 3D在开关磁阻平面电机结构设计中的应用[J].微特电机,2009,37(3):31-32.
- [4] 曹敏.永磁式直线开关磁阻发电机机理研究[D].山西:太原理工大学,2021.

