

15kW 永磁同步发电机设计及研究

李清林 钟明桥 雷 建

势加透博(成都)科技有限公司 四川 成都 610500

摘要: 为了研究永磁同步发电机的设计及输出端负载电压, 该文建立发电机尺寸进行仿真同步发电机的模型, 为了实现发电机的稳压控制, 基于在模拟负载电路及不可控电流基础上, 对永磁同步发电机模型进行系统仿真。

关键词: 永磁同步发电机; 发电机设计; 不可控电流

当前风能发电是可再生能源里发电的技术领域中发展速度增加的最快的一种发电方式。截止至今, 风能的发电量已经快占有全球总的发电量的 12%。基于风能的发电的特征, 无需供给燃料, 现今, 人类生活中电能需求越来越大, 传统的火力发电使用的燃料大多数都是不能再生的能源, 也不符合可持续发展, 不能达到节能的目的。因此, 找到一种可持续、更清洁的电能具有实际的意义, 风力发电是现今普遍接受的发电技术, 通过风的流速动能转化为电能的发电方式, 在风力发电技术中, 本文电机应用是能量回收, 通过多余的热能推动空气, 机械能带动叶轮旋转从而带动电机轴旋转, 使得电机实现发电的功能, 在发电机中永磁同步电机(PMSM)具有重要的地位, 主要是因为其具有效率高、功率因数高、维护成本低功率密度低等优势, 并且发电机技术以及经济成本已经相当成熟。

1.1 永磁同步发电机建模与分析

根据类似的电机尺寸进行参照使用书籍所说的类比分析, 参照法, 目标设计法^{[1][3][4]}, 本文首先使用软件进行搭建模型, 通过几次仿真演算及与目标值进行对比, 最后得到一个与目标要求比较一致的电机参数。

发电机主要参数如下表 1-1

表 1-1 永磁同步发电机主要参数

额定功率 kw	15	定子槽数	24
额定电压 v	380	连接方式	Y
额定频率 Hz	666.7	绕组形式	双层叠绕
定子外径 mm	140	并联支路数	2
定子内径 mm	40	每槽导体数	30
转子外径 mm	32	定子材料	20WTG1500
定子叠厚 mm	85	护套材料	不锈钢 S04
极数	2	永磁体材料	Smco28H
极弧系数	1	护套厚度 mm	3

2.1 根据有限元软件来设计永磁发电机数模, 这样为电机的设计及研究提供便利。通过软件可以计算得到永磁发电机的相电压、相电流、输出扭矩、功率、以及损耗等发电机的性能参数。软件中对发电机建模尺寸分析非常直观有效,

能够直接给出永磁同步发电机的简单分析结果, 使用起来比较便利。但是由于缺点是只能单纯的计算电机本身的设计研究, 由于路算法对于永磁类电机算法不是特别准, 额定负载下永磁同步发电机对外表现出的端电压和线电流的电机特征; 永磁同步发电机的输出特征; 在不同的负载情况下永磁同步发电机的性能参数等不能设计目标要求的时候。这个时候我们需要采用精度高的有限元算法, 现在软件可以使用一键有限元方法快速生成模型, 使得电机设计更为便利, 在有限元算法中可以发电机的模型, 而且还可以直接得到发电机定子、转子、气隙、磁铁任意点的磁通密度并得到场量的分布图。我们可以通过磁场密度来进行判断电机设计磁场是否设计合理。有限元软件的有限元分析法比等效磁路法的计算结果更准确, 根据实际计算结果进行改变电机的尺寸、绕线布局、磁铁方向等有关条件, 分析不同情况下电机性能参数的变化。但是发电机计算不同于电机计算, 要想得到永磁同步发电机输出功率 P、输出电流 I、输出电压 U、效率等发电机的性能参数^{[1][3][4]}, 只是考虑类似电机设计的有限元算法实际还不能算出实际发电机运行的性能参数。要想设计出一台合格的永磁同步发电机, 不仅需要考虑到发电机额定负载下的性能参数, 还需要考虑到其他负载下的发电机的性能参数^{[6][9]}。本文设计的永磁同步发电机使用场合为能量回收类的永磁同步发电机, 380V 的电压系统要求发电机本身设计要满足一定的设计要求。对空载反电动势要求极为严格, 在额定负载, 发电机可以提供稳定的 380V 交流电压。

2.2 本文章在有限元软件进行初步演算后再进行外电路模拟实际负载下进行计算, 以有限元软件为基本进行外电路联合仿真, 对发电机发电的系统进行分析。通过有限元算法计算分析核验永磁同步发电机在额定负载下, 输出电压是否稳定。

在一键有限元为有限元软件进行电流为 0, 设置旋转速度以及求解时间, 进行运算可查看空载反电动势^{[6][7]}, 有限元软件模型见图 1, 空载反电动势可见图 2

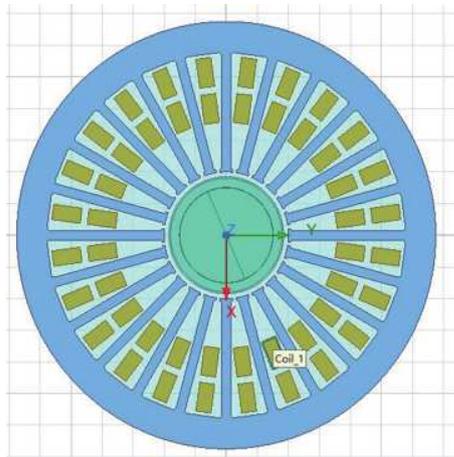


图 1 永磁同步发电机模型

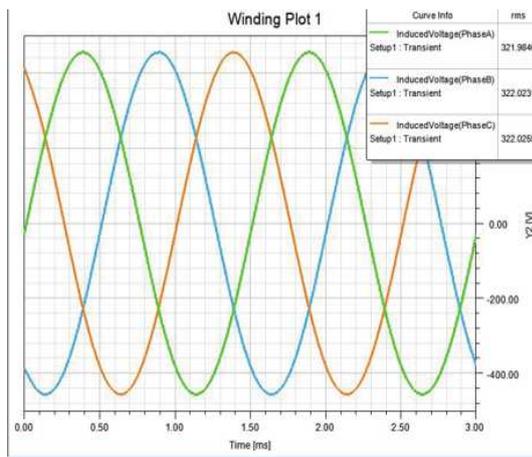


图 2 永磁同步发电机下空载反电动势

2.3 本篇文章使用外电路联合仿真方法时，基于实际永磁同步发电机的负载和端部的情况^[5]，于是讲根据实际情况转换为电路图 3 进行外电路搭建，其中电阻、电感均是根据实际目标要求进行转化，转换后的数据设置在图中，电路图连接图如图 3 所示^[2]。分析电机额定负载下端电压的计算结果如图 4 所示。

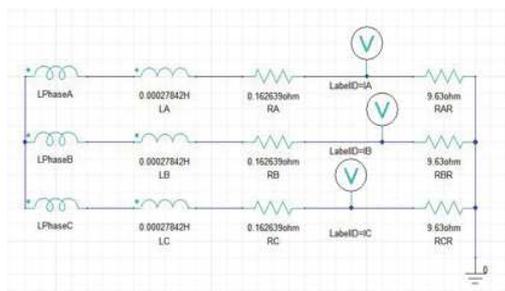


图 3 额定负载下发电机及负载结构

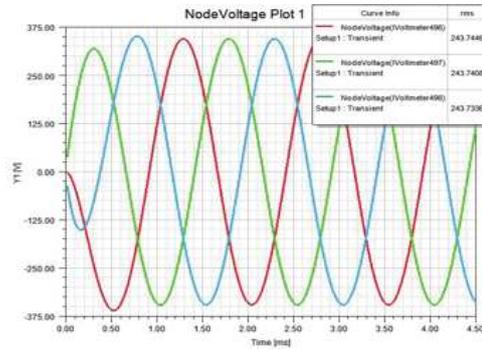


图 4 额定负载下发电机输出的相电压

可得出以下结论：

外电路联合仿真下，在考虑实际的负载下，计算输出的额定电压，确保与实际负载一致。

有限元分析软件模型下可以不考虑电机端部问题，外电路联合仿真时可以根据仿真者自主添加，负载大小根据实际需求进行相应的调整。

2.4 基于不可控整流电路下 380V 永磁同步发电机系统

以有限元软件二维有限元方法为基础，外电路为平台下搭建电路不可控整流电路图的 380V 发电机电路图。在设计开始时，需要不断调节电机尺寸，绕组、磁铁，以满足当前外部电路使得发电机达到额定输出状态。输出连接三相不可控整流桥，可以得到端电压波形。当然实际的电池中放电特性变化很大，文章中使用电阻、电容、电感的电路组合成简单模拟负载部分，负载电路下永磁同步发电机输出端电压特性的变化。

2.4.1 外接三相不可控整流桥

电压不可控整流的电路图如图 5 所示。永磁同步发电机外部连接三相不可控整流桥^{[2][3]}，连接负载电阻，并联一个电容并对其进行充电，计算后的结果如图 6 所示。

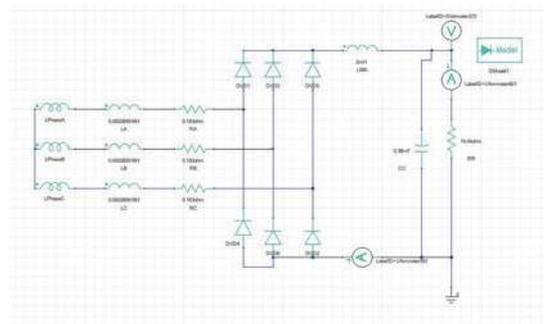


图 5 电压不可控整流电路图

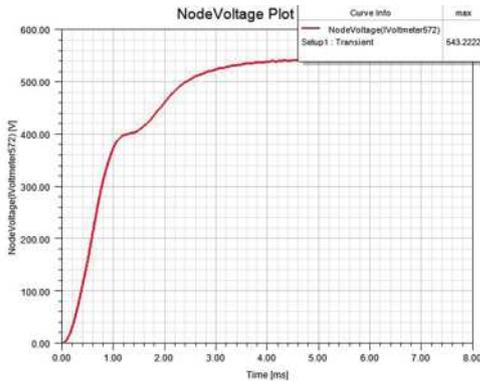


图 6 不可控整流电路输出的端部直流电压

3 小结

本文首先使用有限元软件有限元分析，得到空载反电动势，再根据实际负载计算负载电阻，搭建外电路，外电路联合仿真的方法搭建永磁同步发电机系统，对永磁同步发电机及其系统进行分析。比较永磁同步发电机的电压波形。分析计算不可控整流电路下的发电机的性能参数。通过电阻、电感和电容组合成简单电路的方法，对发电机系统的负载部分进行了适当的简化。对于发电机系统而言，与不同类型的

负载连接有着不同的影响。电容型和电阻型负载对系统的输出性能影响较大，电感型的负载对系统的输出性能影响较小。当然具体情况应参照实际负载进行添加电容、电感、电阻形成电路。

参考文献：

- [1] 王秀和 永磁电机 北京钟工电力出版社 2007
- [2] 赵鲁 基于场路耦合多物理域联合仿真 中国水利水电出版社 2014
- [3] 刘新正 电机学 电子工业出版社 2012
- [4] 谭建成 永磁无刷直流电机技术 机械工业出版社 2011
- [5] 付晓凤 2.935MW 永磁同步风力发电机设计研究 哈尔滨工业大学工学硕士论文
- [6] 黄会平，倪有源，李伟 42V 汽车发电机研究 微电机 2012
- [7] 倪有源，李伟 42V 汽车用永磁发电机的电磁设计 微特电机 2012
- [8] 唐任远 现代永磁电机理论与设计 机械工业出版社 2002
- [9] 陈世坤 电机设计 机械工业出版社 2000