

三相异步电动机不等匝绕组计算软件研究*

王鸿鹄, 黄 坚

(上海电机系统节能工程技术研究中心, 上海 200063)

摘 要: 针对 IE4 电机开发过程中采用不等匝绕组设计存在的问题, 在原三相异步电动机电磁设计软件 V2.0 版的基础上, 开发了能够采用不等匝绕组进行设计计算的新版本软件 MEMC V3.0。通过 MEMC V3.0 在 YE4 系列、YZTE4 系列电机设计中应用。结果表明取得了预期效果。

关键词: 异步电动机; 不等匝绕组; 设计

中图分类号: TM 343 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2017)12-0081-03

Research on the Calculation Software of Three Phase Asynchronous Motor with Unequal Turn Winding*

WANG Honghu, HUANG Jian

(Shanghai Engineering Research Center of Motor System Energy Saving, Shanghai 200063, China)

Abstract: Aiming at the problems existing in the development of IE4 motor with unequal turn winding design, on the basis of MEMC V2.0 version, a new version of the software MEMC V3.0 which could be used to design was developed and the unequal turn winding motor was calculated. It had been used in the YE4 series and YZTE4 series motor design, the results was desired.

Key words: motor; unequal turn winding; design

0 引 言

为了降低电机的损耗、提高电机效率, 绕组一直是重点的研究对象。正弦绕组的提出及应用正是为了改善气隙磁场波形、降低电机杂散损耗。早期采用过的 Δ -Y 串联延边三角形正弦绕组, 对降低电机的杂散损耗有一定的效果。但由于该绕组接线较复杂, 同时应用也有一定的局限性, 所以提出了不等匝绕组或低谐波绕组^[1]。近些年不等匝绕组已在不少电机制造企业得到应用, 但由于不等匝绕组每槽匝数不同, 且每个线圈的跨距也不相同, 故采用不等匝绕组如何对三相异步电动机电磁设计方案进行准确的计算, 一直是电机设计人员需要解决的问题。

近几年, 针对电机效率指标的不断提, 采用不等匝绕组是较好的措施之一。2008 年国际电

工委员会(IEC)正式发布了“单速、三相笼型感应电动机的能效分级(IE 代码)”标准, 规定对于 IE2 及以上效率指标的电动机, 应采用低不确定度的测试方法, 即杂散损耗实测。这也为不等匝绕组的应用提供了更多的空间。IE4 能效等级是目前所发布的全球统一的最高的电机效率指标, 也是我国 GB 18613—2012 中的 1 级效率指标。近期我们在组织开发 YE4、YZTE4 超超高效率三相异步电动机系列产品, 采用不等匝绕组也是首选的主要措施之一。为此, 我们对不等匝绕组开展了研究, 依据文献[1]所介绍的不等匝绕组(或称低谐波绕组)的基本原理和方法, 编制了不等匝绕组三相异步电动机电磁设计计算软件新版本 MEMC V3.0, 并应用于 YE4、YZTE4 超超高效率三相异步电动机系列产品的开发, 取得了预期的效果。

* 基金项目: 上海市科学技术委员会科研计划项目(15DZ1201400)

作者简介: 王鸿鹄(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为永磁同步电机、异步电机的设计及仿真计算。

1 软件开发原则和计算方法

不等匝绕组软件的开发,我们考虑主要应解决如下几个问题:能够为采用不等匝绕组电机电磁设计提供较准确的计算方法;能够通过优化绕组来提高电机的性能;要求操作简单,能够让设计工程师尽快上手,降低设计的时间成本。

对于不等匝绕组的算法,主要参考了文献[1]的原理和方法,并实现了高次谐波的频谱分析。由于与普通绕组相比较,不等匝绕组的每槽匝数和跨距均不相同,所涉及到的绕组分布系数 K_{d1} 、短距系数 K_{p1} 、槽漏抗系数 K_u 和 K_l 、谐波漏抗系数 Σs 等设计参数也不能完全采用文献[2]所推荐的计算公式进行计算。通过分析研究及样机试验验证,我们采用了等效的方法进行计算。

对于不等匝绕组的优化问题,软件 MEMC V3.0 的不等匝绕组计算基于绕组磁势的公式推导,同时将普通等匝绕组设计方案的匝数作为不等匝绕组计算界面的输入值。由于不等匝绕组为绕组优化计算,所以 MEMC V3.0 软件在普通绕组电机电磁计算软件的基础上,增加了“不等匝绕组计算器”的功能,即除绕组外,电机电磁计算的所有参数与普通电机电磁参数相同,这样也实现了优化绕组的目的;最后在操作方面,基本实现了无参数输入,可直接进行不等匝绕组设计计算的功能。

2 计算流程

MEMC V3.0 的计算流程如图 1 所示。

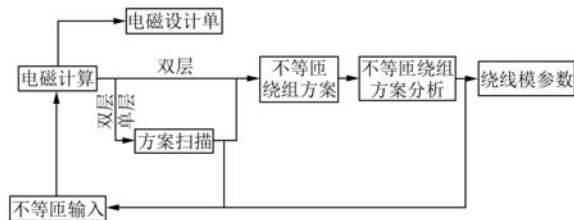


图 1 MEMC V3.0 软件计算流程

在原来的电磁计算方案中,通过绕组计算器直接导入不等匝绕组计算所需参数,直接计算出不等匝绕组的设计方案;接着通过对不等匝绕组方案进行分析,选择出适合的不等匝绕组方案;再将不等匝绕组方案参数导入到电磁计算的不等匝

绕组输入界面,即可完成不等匝绕组设计的输入;然后通过电磁计算得到不等匝绕组的电机电磁设计计算单。在不等匝绕组方案分析之后,还可进行绕组绕线模的计算,可直接得到不等匝绕组的绕线模尺寸。在原来的电磁计算方案中,也可通过扫描功能来计算得到绕组的电磁方案,后面的流程相同。

电磁计算软件的不等匝输入界面如图 2 所示。



图 2 MEMC V3.0 软件不等匝输入参数

图 2 中的①区域为不等匝绕组的输入参数,包括匝数、跨距、线规、电阻值、最大槽满率、等效跨距、等效分布系数 K_{d1} 、等效槽漏抗系数 K_u 和 K_l 、等效谐波漏抗系数 Σs 等。此区域的参数可不用手工输入,通过后面的计算导入,也可手工操作进行必要的修改;点击按钮②“绕组计算器”,可进入到绕组计算界面,如图 3 所示。

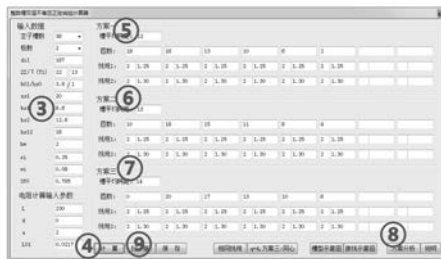


图 3 绕组计算器

进入“绕组计算器”界面后,区域③中参数为自动导入,无需手工输入;点击④“计算”按钮,即可计算得到⑤、⑥、⑦三个不同跨距的绕组方案,三个方案中包含了每极每相槽数中的匝数和相对应的线规,匝数和线规均可通过手动进行调节;点击⑧“方案分析”即可得到方案分析界面,如图 4 所示。

在分析界面中,点击⑩“计算”可得到与⑤、⑥、⑦三个方案对应的⑪、⑫、⑬三个分析计算结果,包括等效绕组系数 K_{dp1} 、等效分布系数 K_{d1} 、等效谐波漏抗系数 Σs 、最大槽满率、用铜量、等效电阻值、等效匝数和等效跨距等。按钮⑭、⑮、⑯分



图4 方案分析界面

别对应三个方案的导入功能,可将对应的方案参数直接导入到图2的①区域中。点击⑩“绕线模”可以得到三个绕组方案相对应的绕线模计算参数,如图5所示。绕线模的参数与工艺息息相关,其计算方案参数还需要进行不断的改进。



图5 绕线模参数计算

若在图3绕组计算器中点击⑨“扫描”按钮,还可得到扫描界面如图6所示。



图6 扫描界面

在扫描界面中,可通过预设设计需求来计算得到所需要的绕组方案,所以输入参数的初始默认值仅供参考。计算结果如图7所示。

扫描结果可输入到绕组计算器相应方案中进行分析和导入电磁计算程序,也可直接导入到电

1. N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10, Kdp1, Kdp2, Kdp3, Kdp4, Kdp5, Kdp6, Kdp7, Kdp8, Kdp9, Kdp10, Kdp11, Kdp12, Kdp13, Kdp14, Kdp15, Kdp16, Kdp17, Kdp18, Kdp19, Kdp20, Kdp21, Kdp22, Kdp23, Kdp24, Kdp25, Kdp26, Kdp27, Kdp28, Kdp29, Kdp30, Kdp31, Kdp32, Kdp33, Kdp34, Kdp35, Kdp36, Kdp37, Kdp38, Kdp39, Kdp40, Kdp41, Kdp42, Kdp43, Kdp44, Kdp45, Kdp46, Kdp47, Kdp48, Kdp49, Kdp50, Kdp51, Kdp52, Kdp53, Kdp54, Kdp55, Kdp56, Kdp57, Kdp58, Kdp59, Kdp60, Kdp61, Kdp62, Kdp63, Kdp64, Kdp65, Kdp66, Kdp67, Kdp68, Kdp69, Kdp70, Kdp71, Kdp72, Kdp73, Kdp74, Kdp75, Kdp76, Kdp77, Kdp78, Kdp79, Kdp80, Kdp81, Kdp82, Kdp83, Kdp84, Kdp85, Kdp86, Kdp87, Kdp88, Kdp89, Kdp90, Kdp91, Kdp92, Kdp93, Kdp94, Kdp95, Kdp96, Kdp97, Kdp98, Kdp99, Kdp100.

图7 不等匝绕组扫描计算结果

磁计算程序中。

3 试验验证

在三相异步电动机电磁设计计算新版本软件 MEMC V3.0 编制完成后,我们已在 YE4、YZTE4 超超高效率三相异步电动机系列产品的开发中得到应用,完成了 H132~355 机座 2P、4P、6P 和单层、双层及单双层不等匝绕组的设计计算,部分样机试验验证数据如表1所示。样机试验数据与设计值基本相近,达到了预期的效果。

表1 不等匝绕组样机试验验证数据

规格	效率/%			杂散损耗/W		备注
	标准	设计	试验	设计	试验	
YE4-200L2-2 37 kW	94.8	95.0	95.1	444	241	双层同心式
			94.83		286	
YE4-200L-4 30 kW	94.9	94.87	94.99	360	298	单双层绕组
			95.0		270	

4 结语

在已有理论的基础上,开发了不等匝绕组的频谱分析功能、不等匝绕组的计算功能,以及方案扫描计算和绕线模计算功能。经试验验证,样机的试验值与软件的计算值基本相符,且软件具有较快的计算速度和友好的交互界面,希望能够确实地为电机设计人员提供一定的帮助。

【参考文献】

- [1] 赵庆普.低谐波绕组的研究[J].中小型电机,1990(6):2-7.
- [2] 第一机械工业部上海电器科学研究所.中小型三相异步电动机电磁计算程序[Z].上海:上海电器科学研究所,1971.

收稿日期:2017-05-03