



УДК 62-83:621.313.323

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕЦІАЛЬНОГО ПАКЕТУ САПР

М.В. Куваєв

(Україна, Дніпро, ДВНЗ «Національний гірничий університет»)

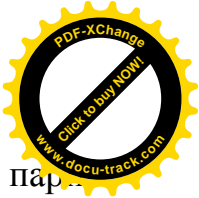
Постановка проблеми. Електрична машина з поперечним полем (Transversalflussmaschine, далі TFM) є синхронною електричною машиною зі збудженням від постійних магнітів, але має суттєву принципіальну відмінність від стандартних синхронних, асинхронних машин або машин постійного току. У стандартних електричних машин площина обертання є також площиною дії магнітного поля машини, тому стандартні машини ще називають машинами з продольним магнітним полем (нім. Longitudinalflussmaschinen), а магнітний потік TFM діє у площині, що поперечна площині обертання [1].

Великою перевагою TFM перед машинами з продольним магнітним полем є можливість розміщення на роторі набагато більшої кількості полюсів. В класичних концепціях з поздовжнім магнітним полем є конкуренція за місце між струмопровідними частинами та елементами по яким тече магнітний потік, або між розмірами паза та шириною зубця статора. Якщо буде невелика ширина статорного зубця та виходячи з того, що величина магнітного потоку пропорційна магнітній індукції на товщину зубця, отримаємо обмеження по потоку. З іншої сторони, якщо буде мало місця для паза, то буде обмежена величина намагнічувальних ампер-витків полюса, що приведе також до обмеження потоку. Все це разом призводить до обмеження моменту електричної машини, особливо високомоментних двигунів, де величина магнітного потоку та кількість полюсів повинні бути великими [1].

У TFM дана конкуренція відсутня. Площина магнітного поля знаходиться поперечно напрямку руху. Рушійна сила кожної фази формується окремими магнітопроводами статора. Завдяки такому порядку протікання магнітного потоку дані двигуни можуть мати підвищений момент та/або компактність.

Виклад матеріалів дослідження. Існують методика аналітичного теоретичного розрахунку та проектування даних машин. Так для класичної концепції TFM зі збудженням від поверхнево наклеєних постійних магнітів існують спеціальні формули для розрахунку моменту машини та рушійної сили однієї пари полюсів. Для знаходження моменту TFM через геометричні параметри двигуна та його електромагнітні параметри зазвичай використовують наступну формулу:

$$M_n = m \cdot p \cdot F_{pn} \cdot \alpha_z \cdot \alpha_m \cdot \frac{d_\delta}{2} \quad (1)$$



де m – кількість фаз, p - кількість пар полюсів, F_{pn} – рушійна сила однієї пари полюсів (один статорний U-магнітопровід) фази, α_z – коефіцієнт полюсного перекриття зубця магнітопроводу, α_M – коефіцієнт полюсного перекриття постійного магніту, d_δ – діаметр повітряного зазору, розмір якого залежить від зовнішнього діаметру D_{TFM} , та геометричних розмірів магнітопроводу статора

Електрорушійна сила, яка створюється за рахунок взаємодії магнітного поля ротора з постійними магнітами, та магнітного поля статора, який створюється за рахунок протікання струму по фазі згідно з [1] та коефіцієнти α_z , α_M знаходяться наступним чином:

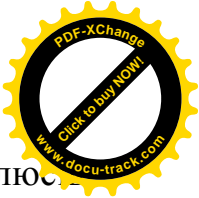
$$F_{pn} = 2 \cdot b_M \cdot 2 \cdot \theta_M \cdot \frac{\mu_0 \cdot \theta_1}{2 \cdot \left(\frac{l_M}{\mu_M} + \delta \right)} \cdot k, \quad (2)$$

де θ_1 – намагнічуючи ампер-вітки статорної обмотки, θ_M – еквівалентні ампер вітки постійного магніту на роторі, l_M – довжина постійного магніта у напрямку повітряного проміжку, μ_M – магнітна проникність постійних магнітів, δ – довжина повітряного проміжку, μ_0 – магнітна стала, h_p – висота пакету магнітопроводу статора, h_M – висота постійного магніту, яка залежить від висоти h_p , b_M – ширина зубця магнітопроводу статора, k – коректуючий фактор. Геометрія полюсної пари однієї фази разом з усіма розмірами надана на рис. 2.1.

Даний метод розрахунку має доволі непогану точність. Як показала практика точність даного методу може досягати 15–20%. Це дає можливість попередньо визначитися з приблизною конфігурацією геометричних параметрів конструкції TFM.

Подальший пошук та вибір оптимальної конструкції TFM необхідно виконувати за допомогою спеціалізованого пакету САПр для розрахунку електромагнітних полів, що використовується для проектування та дослідження двовимірних і тривимірних моделей, як то електродвигунів, датчиків, трансформаторів та інших електричних і електромеханічних пристроїв різного застосування та з різною по складності конструкцією та базується на методі кінцевих елементів (Finite Element Method – FEM) і відкриває можливість точного розрахунку у межах 10%.

Через складну просторову структуру магнітного поля моделювання TFM проводиться у ANSYS Maxwell 3D. За допомогою графічного редактора створюється просторова конструкцію об'єкта моделювання. Оскільки конструкція TFM носить симетричний обертовий характер та відзначається періодичністю то для економії розрахункового часу, конструкція скорочується до однієї пари полюсів [2]. У такому випадку у спеціальному меню програми Maxwell вказується, що машина складається з певної



кількості пар полюсів. Тоді розраховані величини для однієї пари полюсів будуть автоматично помножені на кількість пар полюсів p .

Для кожного елемента конструкції завдається матеріал з його фізичними властивостями. Так наприклад, для електротехнічної сталі вказується напрям шихтування, крива намагнічування (ВН-крива) та коефіцієнти, які будуть характеризувати втрати та враховувати магнітне насичення сталі.

Живлення для електродвигуна у ANSYS Maxwell можливо задати багатьма засобами. Для даного випадку був обраний варіант з живленням по типу векторного керування, щоб моделювання відповідало умовам експлуатації. Для цього була створена схема у спеціальному додатку до ANSYS Maxwell програмі Maxwell Circuit Editor.

Необхідно завдати тип втрат, який буде розраховуватися для тих чи інших елементів TFM.

Час моделювання обирається таким, щоби TFM встиг увійти у стаціонарний режим, а крок моделювання повинен обиратися як мінімум у два рази меншим за найменшу постійну часу.

Для оцінювання можливостей електродвигуна, моделювання починається з стану спокою, а на вал двигуна відразу задається номінальний момент навантаження.

Програма може розрахувати майже всі електромагнітні та електромеханічні параметри. Результат моделювання може надаватися у різному вигляді, як то робочі діаграми (моменту, швидкості, положення ротору, електричний струм, ЕРС, напруги, фазові індуктивності, втрати, потокозчеплення), спектральний аналіз, візуалізація магнітних полів та інше.

Висновки. Даний метод дослідження та проектування електричних машин, та TFM зокрема, дає можливість отримати високу точність результату, відхилення якого від експериментальних даних не перевищує 10% та суттєво здешевлює розробку та зменшує її час.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Nolle, E., Beshta, A. Elektrische Maschinen und Antriebe/ E/ Nolle, A. Beshta// Lehrbuch, Universitätsdruckerei der NBU. – 2013.
2. Schmidt E. Finite-Elemente-Analyse einer Transversalflußmaschine/E. Schmidt – IEEE, 2000