

ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ МАГНІТНОГО ПОТОКУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ІЗ ЗОВНІШНІМ РОТОРОМ

Начовний Д.В., магістрант, Реуцький М.О., к.т.н., доцент, Дубчак Є.М.,
ст. викладач

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. В ході проектування асинхронних двигунів малої потужності із зовнішнім ротором при використанні загальновідомої методики Копилова [1] проєктант зіштовхується з проблемою правильності попереднього вибору густини струму обмотки статора.

Актуальність даної теми полягає в перевірці вибору густини струму в обмотках статора через розподіл індукції в магнітопроводі при розрахунку асинхронних двигунів що мають зовнішній ротор за допомогою фізико-математичної моделі.

Мета роботи. Оцінити правильність попереднього вибору густини струму обмотки статора, використовуючи загальновідому методику проектування асинхронних двигунів стандартної конструкції (статор-нерухома зовнішня частина, ротор - обертова внутрішня частина) для проектування асинхронних двигунів (АД) оберненої конструкції (статор-нерухома внутрішня частина, ротор-обертова зовнішня частина), порівнявши даний підхід з аналітичним методом який передбачає створення математичної моделі виконаної у вигляді скінченних елементів в середовищі програмного комплексу Comsol Multiphysics. Критерієм правильності вибору густини струму обмотки статора буде оцінка фізико-математичної моделі розподілу щільності магнітного потоку магнітопроводу в середовищі Comsol Multiphysics.

Побудова фізико-математичної моделі в середовищі Comsol Multiphysics та подальший її аналіз можливий за рахунок попередньо розрахованих або взятих у відповідності до прототипу геометричних розмірів активних частин обраного об'єкта. Вхідні дані та геометричні розміри досліджуваного об'єкта див. нижче.

Матеріали досліджень – трифазний асинхронний двигун із зовнішнім ротором (оберненої конструкції). Основний внесок в появу двигунів із зовнішнім ротором для вентиляторів внесли Х. Ціль, В. Гебхардт і Г. Штурм. Завдяки їх зусиллям, в 1960-1970-х роках в Західній Німеччині було організовано масове виробництво двигунів із зовнішнім ротором. Розташований ззовні ротор виключає потребу в примусовому охолодженні двигуна і дозволяє легко закріплювати його за торцеву частину статора до корпусу. Майже весь двигун знаходиться всередині робочого колеса і, як правило, інтенсивно обдувається повітряним потоком, що дозволяє, судячи з даних виробників, переважувати його, іноді до 30% при номінальній частоті і напрузі.

Об'єктом дослідження є трифазний чотириполюсний двигун закритого виконання з зовнішнім короткозамкненим ротором, який одночасно є корпусом

машини, кліматичного виконання У, категорії розміщення 3. Даний тип двигуна можна експлуатувати в усіх просторових положеннях. На рис.1 показана конструкція цієї машини.

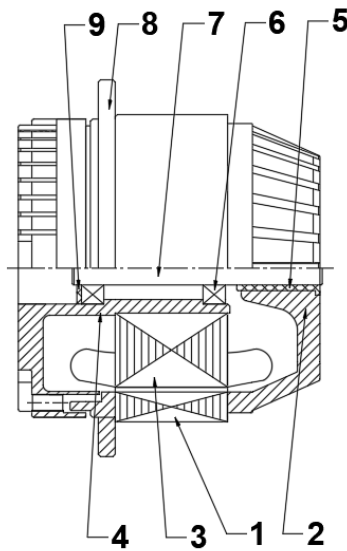


Рисунок 1 – Конструкція асинхронного двигуна серії МК зі ступенем захисту IP44

Асинхронний двигун із зовнішнім ротором рис.1 складається із шихтованого сердечника статора 3, який напресовано на виступаючу нижню частину корпусу 4, верхня частина корпусу 2 лита із алюмінію і разом із шихтованим магнітопроводом ротора 1 являють єдину цілу рухому частину двигуна, відмінністю двигунів серії МК [2] радіальних вентиляторів Ziehl Abegg являється те що вал 7 також являє собою рухому частину який кріпиться до ротора за допомогою втулки 5, обертання ротора навколо статора забезпечується шариковими підшипниками 6 які також запресовуються в нижню опорну частину корпусу 4 один з яких фіксується за допомогою притискної шайби 9, кріплення рухомої частини корпусу до радіальних вентиляторів забезпечується за допомогою опорної пластини 8 яка запресована на корпусі зовнішнього ротора.

Конструктивне виконання двигуна IM3101, машина без лап з підшипниковими щитами з фланцем на одному підшипниковому щиті і горизонтальним валом; кінець валу циліндричний. Система охолодження IC0041, закрита машина з природним охолодженням без зовнішнього вентилятора.

Маємо наступні вхідні дані оберненого двигуна:

внутрішній діаметр статора (м) $D = 0.04$;

ширина повітряного проміжку (м) $\delta = 0.0002$;

зовнішній діаметр статору (м) $D_a = 0.106$;

кількість пазів на статорі $Z_1 = 24$;

кількість пазів на роторі $Z_2 = 30$;

число пар полюсів $p=2$;

кількість фаз $m = 3$;

лінійна напруга (В) $U_{л} = 400$;
 фазна напруга (В) $U_{ф} = 230$;
 потужність на валу (Вт) $P=190$;
 частота живлення (Гц) $f= 50$;
 синхронна швидкість обертання (об/хв) $n = 1500$;
 коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0.84$;
 зовнішній діаметр ротора згідно до розмірів прототипу (м) $D_{в} = 0.138$
 внутрішній діаметр ротору (м) $D_2 = D_a + 2* \delta = 0.1064$;
 висота вісі обертання $h = 0,069$ (м);
 ККД дорівнює 64 %.

Попередньо розраховану просторову геометрію пазів статора (а) та пазів ротора (б) показано на рис.2.

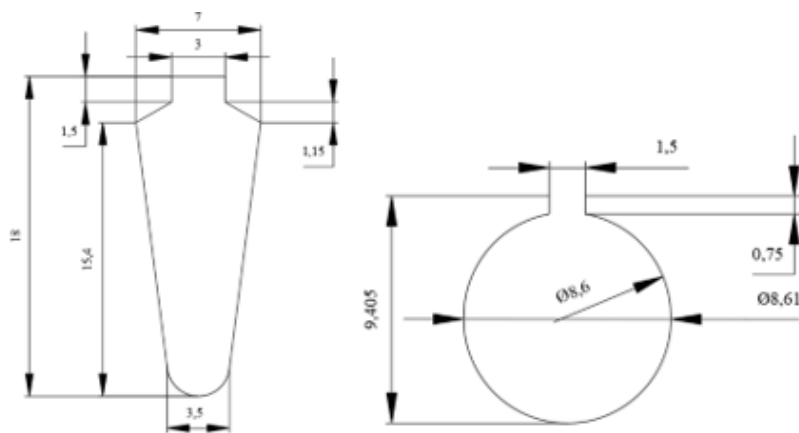


Рисунок 2 – Ескіз паза статора (а) та ескіз паза ротора(б) в (мм)

Результати досліджень. Отже маючи вхідні дані оберненого двигуна згідно з параметрами існуючого прототипу проводимо аналітичний розрахунок обмотки статора в результаті якого отримуємо уточнене значення індукції повітряного проміжку $B_{\delta}=0.5505$ (Тл).

Отримавши уточнене значення індукції, попередньо обираємо густину струму обмотки статора. Методика Копилова [1] передбачає вибір потрібного значення добутку лінійного навантаження на щільність струму з графіків рис. 3.

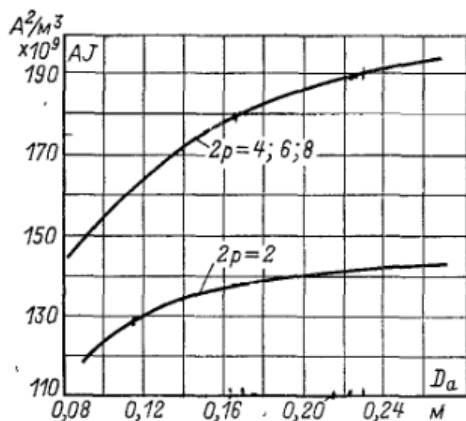


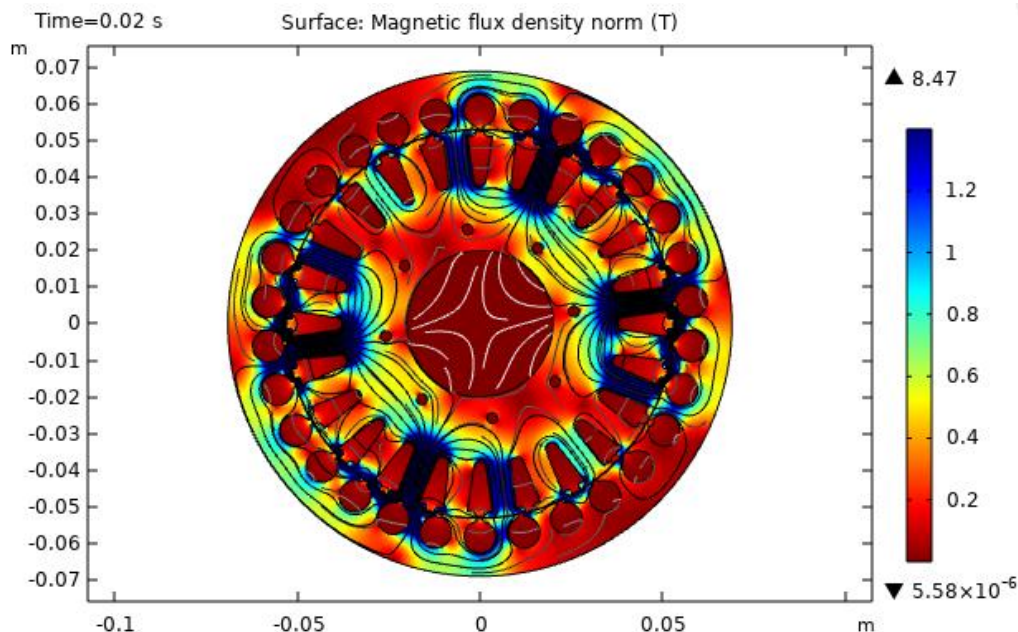
Рисунок 3 – Середні значення (АЖ) асинхронних двигунів

Маючи відомий геометричний розмір діаметра статора $D_a = 0.106$ (м) обираємо середнє значення $AJ_1 = 156 * 10^9$ (A^2/m^3) згідно рис.3 та знаходимо густину струму в обмотці попередньо:

$$J = \frac{(AJ_1)}{A} = \frac{156 * 10^9}{1.292 * 10^4} = 12.07 * 10^6 \text{ (A/m}^2\text{)}$$

Проводимо побудову фізико-математичної моделі трифазного асинхронного двигуна із зовнішнім ротором в середовищі Comsol Multiphysics.

В результаті маємо фізико-математичну модель розподілу густини магнітного потоку АД з зовнішнім ротором рис.4.



Рисуюнок 4 – Візуалізована модель розподілу густини магнітного потоку оберненого асинхронного двигуна

Аналізуючи отриману модель можна дійти висновку що магнітний потік спроектованої моделі нерівномірний, а магнітопровід статора не насичений, що свідчить про не досить вдалий вибір числа провідників у пазу статора та густини струму обмотки статора.

Шляхом підбору змінюємо табличну густину струму на наступну $J = 5.207 * 10^7$ (A/m^2) та виконуємо перебудову моделі рис.5.

Скорегована модель має більш рівномірний розподіл магнітного потоку а також більш прийнятне насичення магнітопроводу статора у порівнянні з моделлю, яка виконана у відповідності до зазвичай рекомендованих значень густини струму.

Зрозуміло, що густина струму в провідниках статора $J = 5.207 * 10^7$ (A/m^2) дуже завелика у порівнянні з традиційно прийнятими $J = (5 - 8) * 10^6$ (A/m^2) для звичайних асинхронних машин, але можна сподіватись, що для обернених асинхронних машин можна з обережністю підвищувати густину струму з обов'язковою перевіркою теплового стану обмотки статора.

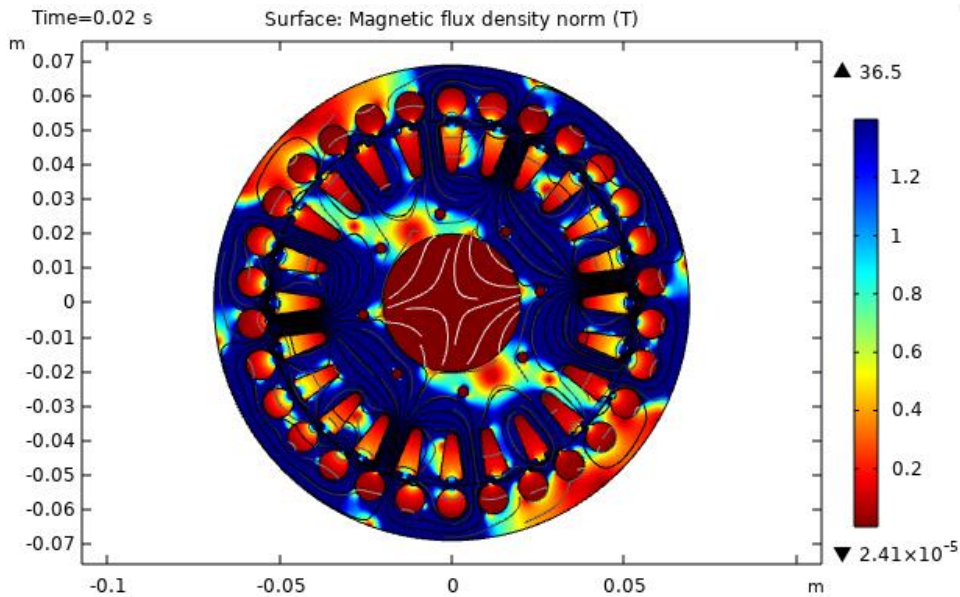


Рисунок 5 – Перебудована модель розподілу густини магнітного потоку оберненого асинхронного двигуна

Висновки.

1. Порівнюючи отримані моделі можна з впевненістю сказати що для розрахунку асинхронних двигунів оберненої конструкції загальновідомі значення густини струму обмотки статора не завжди підходять.

2. Використання підходу фізико-математичного моделювання в середовищі Comsol Multiphysics дозволяє оцінити електромагнітні навантаження частин магнітопроводу машини, точніше підібрати потрібне значення густини струму обмотки статора при розрахунку АД які мають нестандартну просторову геометрію активних частин магнітопроводу, що позитивно впливає на процес проектування двигуна в цілому та скорочує число хибних ітерацій розрахунку.

3. Недоліком застосування методу моделювання в середовищі Comsol Multiphysics являється те що для побудови фізико-математичної моделі двигуна потрібно мати попередньо розраховані геометричні дані активних частин магнітопроводу.

Перелік посилань

1. Копылов И. П. Проектирование электрических машин: Учебное пособие для вузов. М.: «Энергия», 1980.-496с.
2. Catalogue 823/94/Edition 1994. EMOD Motoren GmbH; External-Rotor Motor. Catalogue DL 1.1, Ziehl-Abegg.