

**А.П. ЦИВКІН, В.І. МІЛИХ**, докт. техн. наук, професор

### **Розрахунковий аналіз динаміки силових дій в активній частині турбогенератора у режимі навантаження**

З розвитком чисельних методів розрахунку магнітних полів проблема розрахунку сил, що діють на елементи конструкції електричної машини (ЕМ), стає значною мірою вирішеною. Вже немає обмеження на врахування конструктивних форм машин та їх елементів, на детальне врахування насичення магнітопроводу.

Робота спрямована на розвиток системи проектування ЕМ. Базою для реалізації цього є об'єднання досягнень в галузях комп'ютерної техніки, чисельних методів розрахунку електромагнітних полів і параметрів, а також класичної системи проектування, що зазначено в [1].

Аналіз стаціонарних силових взаємодій у різних режимах роботи був проведений в [2] для потужного турбогенератора (ТГ). Там були розглянуті статичні сили в конкретний момент часу у фіксованому положенні ротора і струмів обмоток. Однак руйнівні процеси в механічних системах викликані не тільки статичними силами, а більшою мірою – багаторазовими циклічними їх змінами, і найбільшою мірою для ТГ це проявляється в режимі навантаження (РН).

Метою даної роботи є проведення аналізу динаміки силових дій в одному з найвідповідальніших типів ЕМ – потужному ТГ в РН.

До аналізу приймаються силові дії в активній частині ТГ, які мають циклічний динамічний характер: змінна складова електромагнітного моменту (ЕММ); сила, що діє на зубець статора в кутовому напрямку; сила, що діє в осерді статора в межах полюсного кроку; сила, що діє на стрижень обмотки статора в пазу.

Демонстрацію конкретних розрахункових результатів проведено для ТГ потужністю 235 МВт. На рис.1 позначені фазні зони обмотки статора  $A-A'$ ,  $B-B'$  і  $C-C'$ , а явно структура стрижнів в пазах показана для першої з цих фазних обмоток. Ще подані напрями координат  $(r, \alpha)$  полярної системи та кутової швидкості обертання ротора і магнітних полів  $\Omega$ , а також струмів в обмотках, що відповідає режиму навантаження в початковий момент часу  $t$ , з якого розглядається динаміка силових дій.

Динаміка силових дій проявляється часовими функціями ЕММ і сил, прикладених до елементів конструкції ТГ. Силові дії отримуються на основі розрахунку магнітних полів ТГ методом скінчених елементів за загальнодоступною програмою FEMM [3]. Розрахунок сил, що діють на стрижні обмотки статора в пазу, виконуються на основі закону Ампера, ЕММ і сил, що діють на елементі феромагнітного осердя – через тензор магнітного натягнення Максвелла [1].

Часові функції силових дій виявляються багатопозиційними розрахунками магнітних полів [1] для часового ряду  $t_k = \Delta t \cdot (k-1)$  з кроком  $\Delta t$  та з забезпеченням обертання ротора з його поворотами з кутовим кроком  $\Delta\alpha = \Omega \cdot \Delta t$  в кутові позиції  $\alpha_k = \Delta\alpha \cdot (k-1)$  і синхронного обертання магнітного поля статора через миттєві значення симетричної системи фазних струмів в стрижнях його обмотки у

моменти часу  $t_k$ , де  $k=1, 2, \dots, K$ , а  $K$  – мінімальна кількість позицій, що дозволяє сформувати конкретні часові функції на їх періоді зміни (було  $K=120$  при  $\Delta\alpha=0,5^\circ$ ).

У підсумку шукані часові силові функції представлялися дискретним числовим рядом  $F(t_k)$ ,  $k=1,2,\dots, K$ , де під  $F$  маємо загальне позначення будь-якої з силових величин, що розглядаються. Усі часові функції силових величин отримані шляхом зазначених вище багатопозиційних розрахунків магнітних полів в ТГ в режимі номінального навантаження. Ці функції представлено в числовій та графічній формах, а також у вигляді гармонійного розкладання, тому що ці функції є періодичними.

Виявлено, що розглянуті сили мають подвійну частоту порівняно з частотою струмів обмотки статора, а пульсації ЕММ – шості кратну частоту. Й вони досягають таких значень, що обов'язково повинні враховуватися в процесі проектування силової системи турбогенераторів.

Принцип розрахункового аналізу динаміки силових дій, продемонстрований на прикладі турбогенератора, може бути поширений і на інші типи електричних машин з іншою конструкцією елементів їхньої активної частини.

### Список літератури:

1. Милых В.И., Полякова Н.В. Определение электромагнитных параметров электрических машин на основе численных расчетов магнитных полей // Электротехника і електромеханіка.–2006.–№2.–С.40-46.
2. Милых В.И., Полякова Н.В. Силовые взаимодействия в турбогенераторе в различных стационарных режимах работы // Технічна електродинаміка.–2013. – №5. – С.47-54.
3. Meeker D. Finite Element Method Magnetics. FEMM 4.2 32 bit Executable (11 арг 2012) [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.femm.info/wiki/Download>. – 2013.

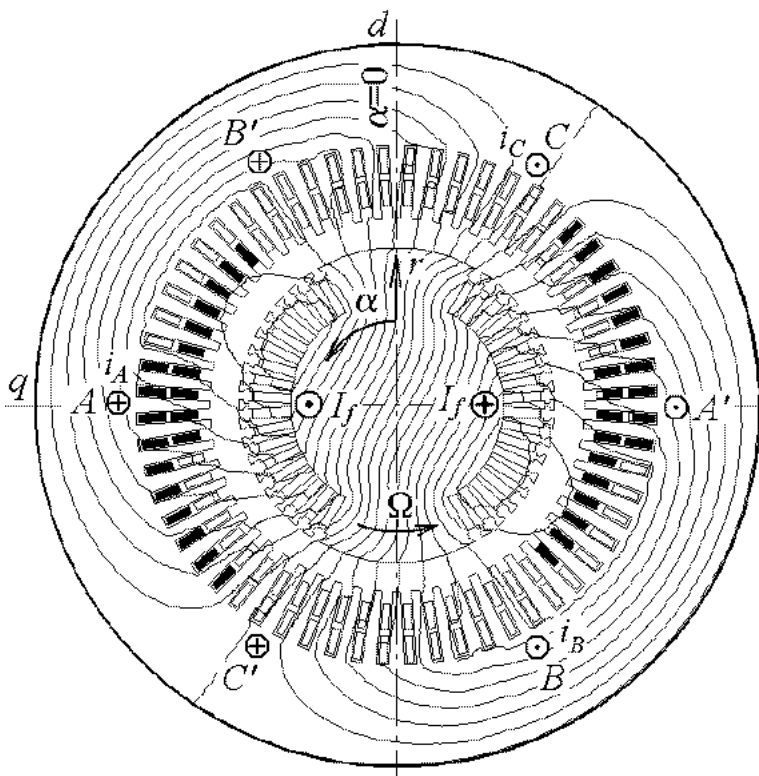


Рис. 1 – Поперечний переріз ТГ з картиною магнітних полів в початковий момент часу для режиму навантаження