

УДК 621.313.3

Г.О. ШЕЇНА (канд. техн. наук), О.Ю. КОЛЛАРОВ (канд. техн. наук)

Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
annsheina08@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБМОТКИ ЗБУДЖЕННЯ І ДЕМПФЕРНОЇ СИСТЕМИ

Одержав подальший розвиток метод синтезу еквівалентних схем заміщення турбогенераторів з урахуванням різного взаємного індуктивного зв'язку між обмоткою збудження і демпферними контурами за рахунок структурної деталізації ротора шляхом виділення обмотки збудження та представлення масивних елементів ротора довільною кількістю контурів. Для цього під час проведення дослідів раптового трифазного короткого замикання необхідно реєструвати змінення струму в обмотці збудження. За даними серії дослідів раптового трифазного короткого замикання при різних значеннях напруги в попередньому режимі, одержані частотні характеристики провідності з боку обмотки статора і відповідні ним параметри еквівалентних схем заміщення для різних рівнів насичення шляхів магнітних потоків розсіювання для трьох промислових турбогенераторів серії ТВВ різних потужностей: 160, 320 и 500 МВт, що дозволяє суттєво підвищити якісний рівень інформаційної бази даних і точність розрахунків електромагнітних перехідних процесів.

Ключові слова: еквівалентна схема заміщення, турбогенератор, обмотка збудження, раптове трифазне коротке замикання, насичення, магнітні потоки розсіювання, частотні характеристики.

Постановка проблеми.

Сучасні турбогенератори мають підвищені електромагнітні навантаження, що ускладнює врахування впливу масиву ротора та явище насичення. При використанні традиційних методів розгляду перехідних процесів (ПП) врахування цих факторів призводить до значних труднощів через збільшення порядку диференціальних рівнянь. Врахування вказаних факторів на основі розрахунку електромагнітного поля складно і в умовах експлуатації електричних машин практично не реалізується. Найбільш зручні узагальнені характеристики електричних машин (ЕМ) відносно входів і виходів як елемента системи. Саме такими є частотні характеристики (ЧХ) вхідних провідностей (опорів) машини, які відображають спільний вплив цих факторів. Аналіз показав, що для дослідження перехідних процесів і підвищення точності розрахунку струму в обмотці збудження (ОЗ) синхронних машин (СМ) доцільно використовувати схему заміщення з різним взаємним індуктивним зв'язком між обмоткою збудження і демпферними контурами [1] при одночасному представленні демпферної системи довільною кількістю контурів по кожній осі симетрії ротора. Така схема заміщення по поздовжній осі представлена на рис.1.

На практиці важливо враховувати реальний стан машини і реальний розподіл магнітних потоків, з урахуванням таких факторів, як рівень насичення, температура і т.і.. Тому особливий інтерес дослідники приділяють експериментальним методам визначення параметрів, таких як дослід раптового трифазного короткого замикання (РТКЗ), які дозволяють визначати сукупність характеристик і параметрів машин з урахуванням насичення в реальних умовах роботи генераторів.

Державний стандарт на випробування електричних машин ДСТУ ГОСТ 10169-77 «Машини електричні трифазні синхронні. Методи випробувань» передбачає для експериментального визначення електромагнітних параметрів турбогенераторів

з урахуванням багатоконтурності роторів досліди раптового трифазного короткого замикання. Теоретичні положення цього методу ґрунтуються на спрощеній математичній моделі електричної машини, яка була розроблена ще в 70-і роки минулого століття.

У зв'язку з цим є актуальною задача розвитку теоретичних положень методу експериментального визначення електромагнітних параметрів турбогенераторів у формі частотних характеристик або еквівалентних багатоконтурних схем заміщення, які відображають явища насичення, за даними параметрів режиму раптового трифазного короткого замикання.

© Г.О. Шеїна, О.Ю. Колларов

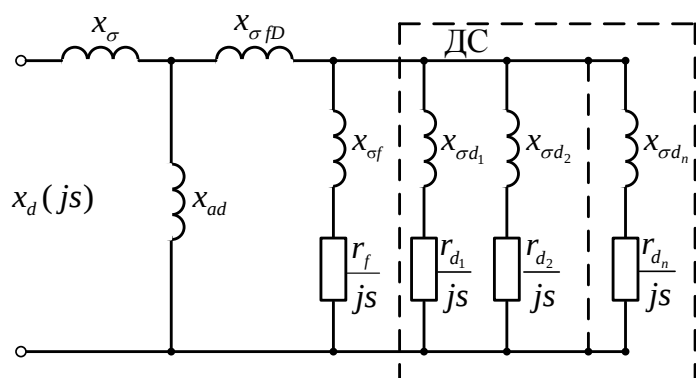


Рисунок 1 – Схема заміщення СМ по осі d з урахуванням різного магнітного зв'язку між контурами і багатоконтурності ДС

Мета статті (постановка задачі).

Розробка методу визначення електромагнітних параметрів обмотки збудження і масивного ротора турбогенератора в схемі заміщення, в якій враховується різниця взаємного індуктивного магнітного зв'язку між обмотками статора, збудження й еквівалентними контурами демпферної системи, для підвищення точності розрахунків струмів в обмотці збудження генераторів при трифазних коротких замиканнях.

Основний матеріал досліджень:

Для підвищення точності розрахунків струму в обмотці збудження в математичній моделі турбогенератора має бути здійснена структурна деталізація схеми заміщення ротора шляхом виділення контуру обмотки збудження. Для цього при проведенні досліджень під час проведення експериментів необхідно реєструвати змінення струму в обмотці збудження.

Запропонована методика визначення за даними дослідів РТКЗ електромагнітних параметрів ОЗ і еквівалентної демпферної системи СМ.

Параметри уточнених схем заміщення турбогенератора (рис.1) визначаються шляхом виконання наступних розрахункових процедур:

- за параметрами експонент, які апроксимують аперіодичний струм в обмотці збудження, визначається ЧХ провідності обмотки збудження $y_f(js)$

$$i_{fai}(js) = \sum_{k=1}^N \frac{js \cdot i_{fai k}(0)}{js + 1/T_{fai k}};$$

- розраховується частотна характеристика коефіцієнту участі періодичного струму статора в гілці обмотки збудження: $\tilde{N}_f(js) = \frac{i_{fai}(js)}{y_d(js)}$;

- передбачаючи відомими параметри x_σ , x_{ad} і $x_{\sigma D}$ знаходяться частотні характеристики провідності, яка вимірюється відносно опору x_{ad} ($Y_D^*(js)$) і результуючої провідності ОЗ генератора і демпферної системи:

$$Y_D^*(js) = \frac{1}{\frac{1}{y_d(js)} - x_\sigma} - \frac{1}{x_{ad}}; Y_f(js) + Y_D(js) = \frac{1}{\frac{1}{Y_D^*(js)} - x_{\sigma D}}; \quad (1)$$

- знаходиться коефіцієнт участі всіх роторних струмів в струмі обмотці статора:

$$C_{f2}(js) = \frac{Y_D^*(js)}{Y_D^*(js) + \frac{1}{x_{ad}}}; \quad (2)$$

- визначається коефіцієнт розподілу струму обмотки збудження в сумарному струмі роторних контурів:

$$C_{f1}(js) = \frac{C_f(js)}{C_{f2}(js)}; \quad (3)$$

- розраховуються власні провідності ОЗ і демпферної системи:

$$Y_f(js) = C_{f1}(js) \frac{1}{\frac{1}{Y_D^*(js)} - x_{\sigma D}}; Y_D(js) = \frac{1}{\frac{1}{Y_D^*(js)} - x_{\sigma D}} - Y_f(js). \quad (4)$$

За отриманими частотними характеристикам $Y_f(js)$ і $Y_D(js)$ виконується синтез схем заміщення обмотки збудження і масивних елементів ротора.

Експерименти проводилися для трьох промислових турбогенераторів одного конструктивного виконання серії ТВВ різних потужностей: 160 МВт типу ТВВ-160-2; 320 МВт типу ТВВ-320-2 і 500 МВт типу ТВВ-500-2.

Постановка дослідів у всіх випадках відповідала вимогам ДСТУ ГОСТ 10169-77 «Машини електричні синхронні трифазні. Методи випробувань». У дослідях реєструвалися три фазні струми в обмотках статора, а також струм в обмотці збудження.

Згідно із запропонованим підходом до визначення параметрів роторних контурів схеми заміщення

(рис.1) необхідно знати значення опорів розсіювання обмотки статора x_σ і взаєміндукції $x_{\sigma D}$. Очевидно,

що їх значення будуть впливати на параметри роторних контурів. Дослідження для різних значень

індуктивностей x_σ та $x_{\sigma D}$, показали, що їх співвідношення між собою практично не впливає на результати

визначення параметрів роторних контурів. При цьому встановлено, що якщо $x_{\sigma D} \approx (0,05 - 0,07)x_\sigma$, то

$x_{\sigma D} + x_\sigma \approx const$. Тому під час синтезу схем заміщення для всіх досліджуваних генераторів індуктивність

$x_{\sigma D}$ приймалась однаковою і незалежною від насичення величиною 0,01 в.о. Опори розсіювання обмотки статора x_{σ} підбирались таким чином, щоб амплітудно-фазова характеристика, яка відображає ОЗ генератора, максимально наближалась до окружності. Результати визначення параметрів схем заміщення за (1)-(4), в яких демпферна система представлялася двома контурами (рис. 1) для різних умов за насиченням наведені в табл. 1 - табл. 3.

Таблиця 1 - Параметри схем заміщення турбогенератора ТВВ-160-2 уточненої структури для різних рівнів насичення

U_0 в.о.	I_d'' в.о.	x_{σ} в.о.	x_{ad} в.о.	$x_{\sigma D}$ в.о.	Параметри роторних контурів, в.о.		
					$\frac{x_{\sigma f}}{r_f}$	$\frac{x_{\sigma d1}}{r_{d1}}$	$\frac{x_{\sigma d2}}{r_{d2}}$
0,25	1,053	0,2092	2,0228	0,010	<u>0,1188</u> 0,0018	<u>1,1367</u> 0,0101	<u>0,0183</u> 0,0216
0,47	2,190	0,1795	2,0228	0,010	<u>0,1422</u> 0,0017	<u>1,2145</u> 0,0093	<u>0,0254</u> 0,0269
0,70	3,483	0,1640	2,0228	0,010	<u>0,1531</u> 0,0017	<u>1,2701</u> 0,0090	<u>0,0269</u> 0,0297

Таблиця 2 - Параметри схем заміщення турбогенератора ТВВ-320-2 уточненої структури для різних рівнів насичення

U_0 в.о.	I_d'' в.о.	x_{σ} в.о.	x_{ad} в.о.	$x_{\sigma D}$ в.о.	Параметри роторних контурів, в.о.		
					$\frac{x_{\sigma f}}{r_f}$	$\frac{x_{\sigma d1}}{r_{d1}}$	$\frac{x_{\sigma d2}}{r_{d2}}$
0,40	1,897	0,1925	1,5055	0,010	<u>0,0756</u> 0,0015	<u>0,8567</u> 0,0062	<u>0,0087</u> 0,0086
0,50	2,491	0,1840	1,5055	0,010	<u>0,0827</u> 0,0014	<u>0,7962</u> 0,0059	<u>0,0094</u> 0,0097
0,70	4,227	0,1540	1,5055	0,010	<u>0,1043</u> 0,0015	<u>0,8078</u> 0,0057	<u>0,0095</u> 0,0133

Таблиця 3 - Параметри схем заміщення турбогенератора ТВВ-500-2 уточненої структури для різних рівнів насичення

U_0 в.о.	I_d'' в.о.	x_{σ} в.о.	x_{ad} в.о.	$x_{\sigma D}$ в.о.	Параметри роторних контурів, в.о.		
					$\frac{x_{\sigma f}}{r_f}$	$\frac{x_{\sigma d1}}{r_{d1}}$	$\frac{x_{\sigma d2}}{r_{d2}}$
0,305	1,106	0,240	2,248	0,010	<u>0,1173</u> 0,0012	<u>0,7681</u> 0,0350	<u>0,0299</u> 0,0265
0,504	1,938	0,222	2,248	0,010	<u>0,1354</u> 0,0012	<u>1,0384</u> 0,0399	<u>0,0322</u> 0,0292
0,697	2,879	0,195	2,248	0,010	<u>0,1624</u> 0,0012	<u>1,1222</u> 0,0456	<u>0,0434</u> 0,0360

Для можливості моделювання перехідних процесів були уточнені диференційні рівняння Парка-Горєва для схеми заміщення, представленої на рис. 1.

За уточненими рівняннями аналізувались електромагнітні перехідні процеси під час РТКЗ на затисках генераторів. Оцінка достовірності отриманих в роботі моделей здійснювалась шляхом зіставлення результатів розрахунків струму в обмотках статора і збудження з експериментальними даними для різних рівнів вихідної напруги. Моделювання виконувалось для тих же значень напруг, при яких виконувались досліди. Значення індуктивного опору розсіювання обмотки статора перераховувались на кожному кроці інтегрування диференційних рівнянь. Наближене інтегральне урахування насичення на параметри роторних контурів здійснювалось вибором відповідних параметрів без наступного їх перерахунку на кожному кроці інтегрування.

Для виявлення впливу насичення на рівень струмів РТКЗ виконувалось моделювання за параметрами, які враховують насичення, а також з використанням ненасичених значень опорів заступних схем. При цьому розрахунки виконувались як для схем, в яких виділявся контур ОЗ генератора, так і для схем без структурної деталізації ротора.

Це одночасно дозволило дослідити вплив запропонованої структурної деталізації ротора на точність визначення струму в ОЗ.

Зіставлення результатів розрахунку струму в ОЗ генератора (рис. 2) свідчить, що величини струму при мінімальних значеннях, розраховані з використанням різних вихідних даних, є близькими між собою і дослідними значеннями. Неспівпадіння не перевищує 3,9%. Використання експериментальних параметрів схем заміщення уточненої структури (крива 2), або отриманих за узагальненими аналітичними залежностями (крива 3) відрізняються не більш, ніж на 4,28 %.

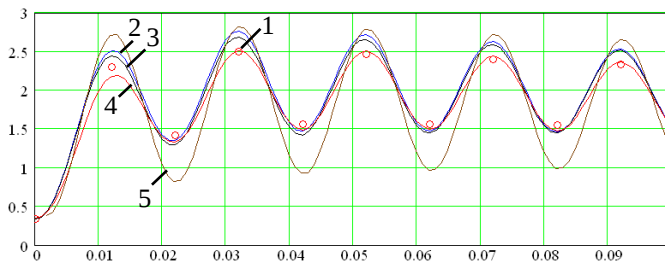


Рисунок 2 - Змінення струму в колі ОЗ турбогенератора ТВВ-160 для $0,70U_{ном}$

Моделювання РТКЗ на основі уточнених схем, які відповідають ненасиченому стану магнітних кіл (крива 4), призводить до зменшення розрахункового значення струму в обмотці збудження на 13,2 %. Однак, відмінність першого амплітудного значення від виміряного є близькою, як и при застосуванні насичених параметрів, і складає понад 5,3 %.

Моделювання за схемою, в якій не виділений контур ОЗ (крива 5), свідчить, про незадовільний збіг дослідних (крива 1) та розрахункових значень. Похибка досягає 41,9%.

Аналіз максимальних похибок у визначенні струму в обмотці збудження, виконаний для інших турбогенераторів при різних рівнях насичення, свідчить про те, що їх розкид знаходиться в межах від 2,9% до 17,4%.

Це дозволяє зробити висновок про допустимість та доцільність для урахування різниці взаємного індуктивного магнітного зв'язку між обмотками статора, збудження й еквівалентними контурами демпферної системи використовувати запропонований метод визначення електромагнітних параметрів обмотки збудження і масивного ротора турбогенератора.

Висновки. Одержав подальший розвиток метод синтезу схем заміщення турбогенераторів з урахуванням різного взаємного індуктивного зв'язку між обмоткою збудження і демпферними контурами за рахунок структурної деталізації ротора шляхом виділення обмотки збудження та представлення масивних елементів ротора довільною кількістю контурів. Для цього під час проведення дослідів необхідно реєструвати змінення струму в обмотці збудження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ларин А.М. Определение электромагнитных параметров обмотки возбуждения синхронного генератора из опытов внезапного трехфазного короткого замыкания / А.М. Ларин, А.А. Ткаченко, И.И. Ларина // "Електротехніка і електромеханіка". – Харків. – 2005. – №2. – С. 32-34.

REFERENCES

1. Larin A.M. (2005), Determination of electromagnetic parameters of the excitation winding of synchronous generator from the experiments of sudden three-phase short circuit, *Elektrotekhnika i elektromekhanika*, vol. 2, p. 32-34.

Надійшла до редколегії 01.12.2015

Рецензент: Шавьолкін О.О.

G. SHEINA, O. KOLLAROV
State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Determination of electromagnetic parameters of the excitation winding and damper system. The method of synthesis of equivalent circuits turbogenerators was further developed considering various mutual inductive coupling between excitation and damper winding paths through structural detail by providing the rotor winding and representing massive elements of the rotor with arbitrary number of circuits. To do this during experiments sudden three-phase short-circuit current change should be recorded in the coil excitation. According to a series of experiments with sudden three-phase short circuit at different voltage in the previous regime we obtained frequency characteristics of conductivity of the stator windings and their corresponding parameters of equivalent circuits for different levels of saturation ways of magnetic flux scattering for three industrial turbine generators TBB of various capacities: 160, 320 and 500 MW.

Key words: *equivalent circuit, turbogenerator, excitation winding, three-phase sudden short circuit, saturation, magnetic flux linkage ways, frequency characteristics.*