

Перевод питания на пускорезервный трансформатор при системных авариях и повреждениях в тепловой части АЭС // Электрические станции. – 1978. – № 9. – С. 9–16. 8. Миняйло О.С., Мязин В.М., Шматюк М.П. и др. Нелинейные искажения при работе автономного асинхронного генератора // Вестн. Львов. политехн. ин-та. – 1979. – № 133. – С. 43–51. 9. А. с. 1749978 СССР, МКИ Н 02 J 9/06. Способ аварийного электроснабжения ответственного потребителя / А.С.Миняйло, Ю.Г.Шакарян, В.А.Чевычелов, С.М.Кожан, К.Б.Покровский. – Опубл. 23.07.92, Бюл. № 27. – 4 с. 10. Пат. 2013843 РФ, МКИ Н 02 J 9/06. Устройство для аварийного электроснабжения ответственного потребителя / С.М.Кожан, И.А.Лабунец, Ю.Г.Шакарян, А.С.Миняйло (СССР). – Опубл. 30.05.94, Бюл. № 10. – 4 с.

УДК 621.313.322-81;621.311.22

О.С. Миняйло, К.Б. Покровский

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра ЕС

СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ АСИНХРОНИЗОВАНОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА В РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

© Миняйло О.С., Покровский К.Б., 2001

Наведені характеристики струмів короткого замикання асинхронізованого турбогенератора залежно від часу, зовнішнього опору та вихідного режиму роботи.

The work is devoted to questions of short circuit currents levels of doubly-fed wound rotor generator from time, regimes and external resistance.

Важливою умовою становлення незалежної України є вирішення проблеми розвитку електроенергетики, початку перебудови структури виробництва електроенергії. При цьому актуальним є використання на електростанціях в деяких випадках поряд з синхронними і асинхронізованих турбогенераторів (АСТГ), що підвищує надійність і економічність роботи станції та енергосистеми [1]. Одним із прикладів такого комплексного підходу є модернізація Бурштинської ТЕС, де поряд з модернізацією тепломеханічного обладнання блоків, на двох блоках установлені АСТГ. У 1985 р. був уведений в експлуатацію дослідно-промисловий взірєць АСТГ-200, а в 1991 р. – перший серійний турбогенератор АСТГ-200-2УЗ.

Необхідність встановлення таких генераторів на Бурштинській ТЕС була зумовлена особливим режимом роботи енергосистеми. Протягом тривалого часу, практично з моменту вводу ТЕС в експлуатацію у 1965 р., на шинах 330 кВ спостерігався надлишок реактивної потужності і для підтримання заданого рівня напруги частина синхронних генераторів переводилась в режим споживання реактивної потужності 10–40 Мвар. До 1972 р. це явище пояснювалося тим, що зі збільшенням потужності електростанції збільшувалась і кількість ліній 220–330 кВ порівняно великої довжини, що працювали при потужностях значно менших від натуральних. Із зростанням навантаження електропередач споживання реактивної потужності дещо зменшувалось. Але введення в експлуатацію АЕС і ЛЕП напругою 750 кВ

збільшило нерівномірність добових графіків навантаження теплових електростанцій. Різко збільшився коефіцієнт потужності турбогенераторів. Під час зниження активного навантаження (в нічні години та у вихідні дні) машини знову переводили в режим споживання реактивної потужності. Встановлення двох турбогенераторів типу АСТГ-200 дозволило практично усунути проблему надлишку реактивної потужності.

У зв'язку з актуальністю використання АСТГ на деяких електростанціях важливим стає визначення впливу режимів роботи АСТГ на рівні струмів короткого замикання у схемі блока. Ця проблема є однією із важливих у проектуванні та експлуатації електричної частини електростанцій – забезпечення оцінки максимальних значень струму при виборі обладнання та уставок спрацювання релейного захисту. Вона проявляється особливо під час проектування схеми електростанцій, коли потрібні наперед визначені значення струмів різних типів короткого замикання (КЗ).

Розрахунок струмів КЗ на практиці здійснюється за допомогою методик, які базуються на наближених розрахунках за попередньо визначеними функційними залежностями, що застосовуються у формі кривих. Такий підхід до проблеми визначення струмів КЗ дозволяє значно спростити розрахунки у складних розгалужених схемах, однак, огляд літератури, що стосується проектування, випробувань та дослідної експлуатації АСТГ, показує недостатність інформації у визначенні величин струмів КЗ, залежності їх значень від режиму роботи генератора, вплив рівнів струму КЗ у схемі блока на надійність роботи споживачів власних потреб (ВП).

Визначення характеристик КЗ надасть можливість вирішити такі проблеми проектування та експлуатації електростанцій з АСТГ:

- порівняння, оцінки та вибору головних схем електричних з'єднань електростанцій;
- вибору електричних апаратів;
- оцінки поведінки споживачів ВП в аварійних умовах;
- проектування та налагодження пристроїв релейного захисту та автоматики;
- оцінки припустимості проведення та розробки методики різноманітних випробувань.

Здійснено спробу відповісти на запитання про визначення експлуатаційних характеристик короткого замикання АСТГ, порівняння цих характеристик з параметрами КЗ синхронних турбогенераторів.

Для розв'язання задачі дослідження струмів КЗ у схемі блока з АСТГ була розроблена математична модель АСТГ [2], що дозволяє врахувати наявність двофазної обмотки ротора, роботу із ковзанням та нелінійність параметрів ротора в асинхронному режимі. Обчислювали параметри перехідного процесу короткого замикання для асинхронізованого та асинхронного режимів роботи АСТГ, з врахуванням можливого електричного вилучення місця КЗ від виводів та параметрів вихідного режиму роботи генератора. Узагальнені результати розрахунків для різних моментів часу показані на рис. 1, 2. Такі характеристики можна використовувати для визначення повного струму КЗ для випадків короткого замикання АСТГ-200, коли зовнішні по відношенню до генератора елементи враховуються лише поздовжніми опорами.

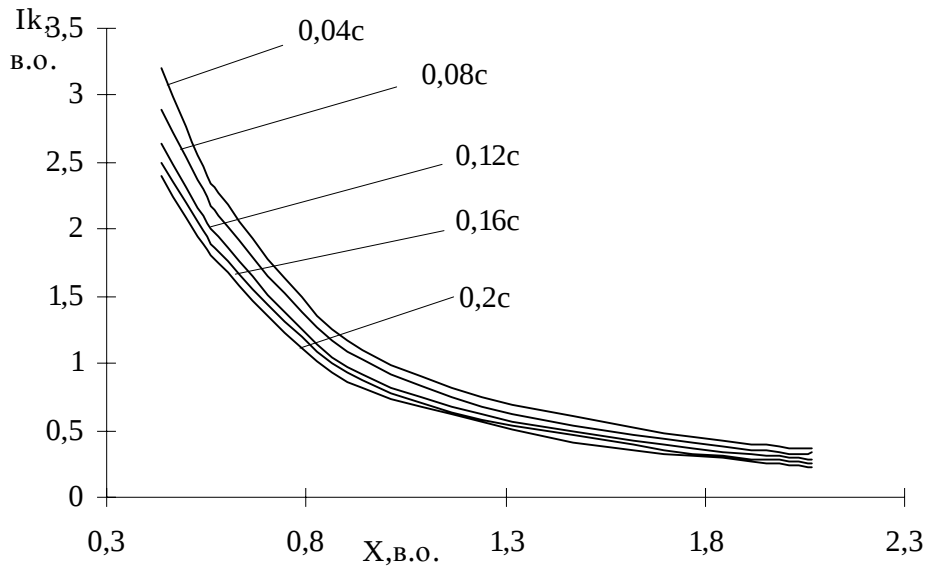


Рис. 1. Залежність амплітуди струму КЗ від зовнішнього реактивного опору в асинхронному режимі

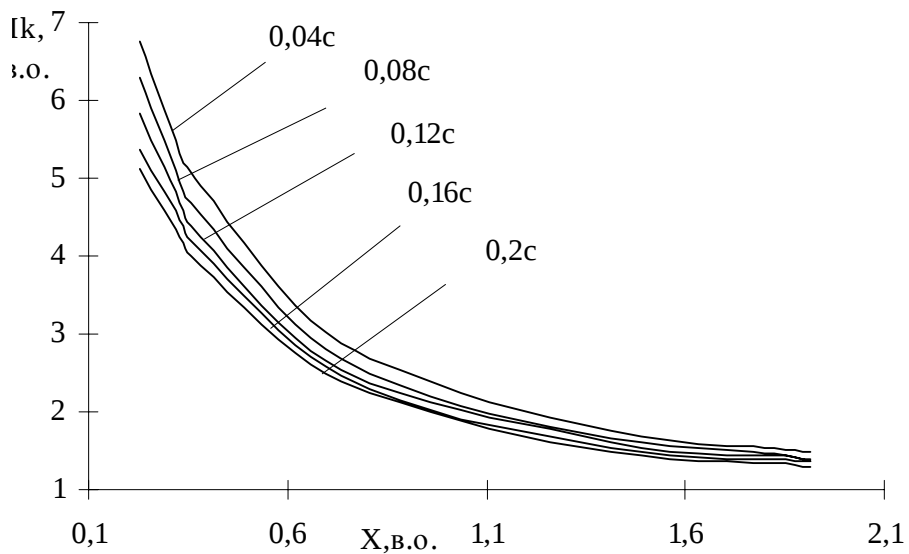


Рис. 2. Залежність амплітуди струму КЗ від зовнішнього реактивного опору в асинхронізованому режимі

Для оцінки впливу режиму споживання реактивної потужності на значення струму КЗ АСТГ були проведені розрахунки для двох режимів роботи генератора, що наведені в табл. 1. Результати розрахунків показують помітне зниження (на 13 %) струму КЗ при роботі генератора зі споживанням реактивної потужності.

Таблиця 1

Розрахунки для двох режимів роботи генератора

P_G , МВт	Q_G , МВАр	U_f , В	δ , град	i_y , в.о.
200	+61	238,7	101,4	9,14
200	-117,5	204,3	147,2	7,96

Оцінити співвідношення струмів КЗ АСТГ-200 та синхронного турбогенератора ТГВ-200М можна на основі значення надперехідного індуктивного опору генератора (табл. 2). Здійснимо визначення надперехідного опору АСТГ при роботі в асинхронізованому режимі. Відомо, що X_d'' визначається

$$X_d'' = X_S + X_{AD} // X_{SF} // X_{S1D} // X_{S2D} // X_{S3D} = 0.3, \quad (1)$$

з урахуванням трьох контурів масиву ротора.

Таблиця 2

Значення надперехідного індуктивного опору генератора

АСТГ-200, x_d'' , в.о.	0,3
ТГВ-200М, x_d'' , в.о.	0,225
$X_d''_{\text{АСТГ}}/x_d''_{\text{ТГВ}}$	1,33

Ця характеристика визначає початкове значення періодичної складової струму КЗ і є обернено пропорційною до значення цього струму. Отже, можна стверджувати, що за решти однакових умов (надперехідна ЕРС, зовнішні опори, початкові умови короткого замикання) струми КЗ АСТГ будуть меншими від струмів КЗ турбогенератора ТГВ-200М, приблизно, на 33,3 %. Більш точна оцінка цього співвідношення вимагає додаткових досліджень.

Обчислювали струми КЗ при роботі АСТГ в асинхронному режимі для тих самих умов КЗ, що і для асинхронізованого режиму. Результати дають можливість зробити висновок про помітне зниження значень струмів КЗ порівняно з асинхронізованим режимом у 2–3 рази. Розрахунок струмів КЗ для різних вихідних значень ковзання (активної та реактивної потужностей) не виявив зв'язок цих параметрів із значенням струму КЗ, тобто характеристика (рис. 2.8) є однаковою для всіх прорахованих вихідних режимів.

Кількісна оцінка значень струмів КЗ в асинхронному та асинхронізованому режимах роботи АСТГ дозволяє точніше оцінити можливості струмопровідної та комутуючої апаратури, що використовується, чи передбачається проектом для використання на блоках з АСТГ. Окремим питанням може постати проблема налагодження чутливості пристроїв релейного захисту при зміні значення струму КЗ в різних режимах роботи блоків. У зв'язку з цим необхідним є здійснення кількісної оцінки співвідношення струмів КЗ в різних режимах роботи генератора.

Особливістю КЗ в асинхронному режимі АСТГ є відсутність періодичної складової порівняно з асинхронізованим режимом. В асинхронізованому режимі роботи АСТГ, так само, як і в синхронних генераторах, в струмі короткого замикання присутня періодична складова. В асинхронному режимі роботи відсутнє збудження (обмотки збудження закорочені) і відповідна складова струму відсутня також. У зв'язку з цим струм збудження при достатньому часі короткого замикання згасає до 0, що забезпечує принципову відмінність КЗ в асинхронному режимі роботи від асинхронного, що підтвердили і результати розрахунків на математичній моделі.

Найпростішим способом здійснення кількісної оцінки є визначення співвідношення надперехідних опорів в цих режимах. Це значення становить $x''_{dA}/x''_{dC} = 1,46$, що наближено відповідає і часовим залежностям, які отримані внаслідок розрахунків на математичній моделі. Для оцінки значення ударних коефіцієнтів скористаємося відомим співвідношенням

$$K_y = i_y / (1,73I''). \quad (2)$$

Результати розрахунку наведемо в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку оцінки значення ударних коефіцієнтів

	$x_d'', \text{в.о.}$	$i_y, \text{в.о.}$	K_y
Асинхронний режим (АР) АСТГ	0,438	5,3	1,52
Асинхронізований режим (АСР) АСТГ	0,3	9,157	1,802
Відношення показника АСР/АР	0,685	1,72	1,185

Попередня оцінка характеристик КЗ АСТГ в різних режимах роботи, що базується на відношенні надперехідних опорів, показує помітне зниження характеристик струмів КЗ в асинхронному режимі роботи порівняно з асинхронізованим. При цьому потрібно врахувати, що порівняння надперехідних опорів генератора в асинхронному і асинхронізованому режимах є оцінкою величини лише початкового значення періодичної складової струму КЗ без оцінки впливу величини надперехідної ЕРС (Е") генератора в цих режимах. Точніше зробити ці співвідношення можна на основі математичного моделювання.

Кількісно порівняти два режими з погляду значень струмів КЗ можна на основі порівняння вихідних координат режиму, наприклад, активної та реактивної потужностей, з урахуванням напрямку останньої та напруги в місці КЗ. У такому випадку умови порівняння асинхронного та асинхронізованого режиму виглядатимуть так:

$$U_a = U_c; \quad P_a = P_c; \quad Q_a = Q_c; \quad S_a = S_c; \quad I_a = I_c, \quad (3)$$

де "а" та "с" – індекси, що відповідають асинхронному та асинхронізованому режимам роботи АСТГ.

Додаткові розрахунки, що були проведені на математичній моделі дали результати, які наведені у табл. 4. Аналіз отриманих результатів показує зниження струмів КЗ в асинхронному режимі порівняно з асинхронізованим у 1,8–2,2 рази, що суттєво більше ніж співвідношення надперехідних опорів АСТГ. Це можна пояснити додатковим впливом постійних часу контурів ротора АСТГ в асинхронному режимі за відсутності збудження, що сприяє зменшенню струму КЗ. Особливо це проявляється в режимах, коли струми в контурах ротора більші (нижні рядки табл. 4).

Таблиця 4

**Результати додаткових розрахунків,
що були проведені на основі математичного моделювання**

Час, с	0,04	0,08	0,12	0,16
Струм КЗ при АСТГ в асинхронному режимі у точці КЗ для різних моментів часу, що не залежить від початкових умов (вихідного режиму), в.о.	2,4	2,2	2,1	1,9
Струм КЗ в асинхронізованому режимі, координати відповідають асинхронному з ковзанням 0,07 %, в.о. /співвідношення з асинхронним режимом	4,41 / 1,83	4,07 / 1,85	3,8 / 1,81	3,6 / 1,89
Струм КЗ в асинхронізованому режимі, координати відповідають асинхронному з ковзанням 0,09 %, в.о. /співвідношення з асинхронним режимом	4,75 / 1,98	4,38 / 1,99	4,1 / 1,95	3,8 / 2,0
Струм КЗ в асинхронізованому режимі, координати відповідають асинхронному з ковзанням 0,11 %, в.о. /співвідношення з асинхронним режимом	4,8 / 2,0	4,6 / 2,1	4,24 / 2,02	4,07 / 2,14
Струм КЗ в асинхронізованому режимі, координати відповідають асинхронному з ковзанням 0,13 %, в.о. /співвідношення з асинхронним режимом	4,75 / 1,98	4,65 / 2,11	4,41 / 2,1	4,09 / 2,15
Струм КЗ в асинхронізованому режимі, координати відповідають асинхронному з ковзанням 0,14 %, в.о. /співвідношення з асинхронним режимом	4,85 / 2,02	4,68 / 2,12	4,44 / 2,11	4,2 / 2,21

Внаслідок проведених досліджень можна зробити такі висновки:

Методика порівняння значень струмів КЗ АСТГ при роботі генератора в різних режимах, що полягає в оцінці струму КЗ АСТГ при рівних параметрах вихідних режимів по активній та реактивній потужності, як визначає кількісні оцінки співвідношення струмів КЗ АСТГ в різних режимах роботи, які показують зниження значень струмів КЗ в асинхронному режимі щодо асинхронізованого у 1,98–2,22 раза.

Визначено зв'язок значення реактивної потужності асинхронізованого режиму роботи АСТГ з значенням струмів КЗ. Показане зниження на 13 % значення струму КЗ при роботі з глибоким споживанням реактивної потужності.

Визначено незалежність значення струму КЗ АСТГ від параметрів вихідного режиму при роботі генератора в асинхронному режимі.

Визначено характеристики КЗ АСТГ залежно від зовнішнього опору схеми для застосування їх в інженерних розрахунках.

1. Здановский В.Г., Миняйло А.С., Кривый В.В. и др. Опыт эксплуатации асинхронизированного турбогенератора АСТГ-200 // *Электрические станции*. – 1993. – № 1. – С. 37–41. 2. Миняйло О.С., Покровський К.Б. Короткі замикання у схемі енергоблоку з асинхронізованим турбогенератором та їх вплив на роботу електрообладнання // *Тез. доп. 1-ї Міжнар. наук.-техн. конф. “Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці”*. – Львів, 19–22 листопада 1995. – С. 260.

УДК 621.398

О. Івахів, Ю. Мочернюк, А. Семенистий, І. Шигера

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедри ІВТ, ЕМБ

РІЗНИЦЕВО-АДАПТИВНА СИСТЕМА З КОДУВАННЯМ ЧАСУ ЗАТРИМКИ ТА ФІКСОВАНИМ ПЕРІОДОМ КОРИГУВАННЯ

© Івахів О., Мочернюк Ю., Семенистий А., Шигера І., 2001

Описана різницево-адаптивна система з кодуванням часу затримки. Отримані вирази для оцінки необхідної швидкості передавання інформації.

The difference adaptive system with coding time-delay is investigated in this paper. The data rate estimation expression for is found.

Зростання складності об'єктів вимірювань призводить до збільшення обсягів інформації, що надходить від об'єкта дослідження до споживача. При цьому, поряд із необхідними для споживача повідомленнями передається значна кількість надлишкових. Одна з причин – нестационарність неперервних сигналів, що передаються.

У багатоточкових системах з циклічним опитуванням давачів крок опитування останніх вибирається, виходячи з максимального значення частоти найбільш інтенсивного процесу [1], що призводить до появи надлишкових повідомлень при менших частотах інших процесів.