групи. Після того, як струм через вентиль ФВГ зникає, знову відкривається вентиль РВГ. У результаті в усталеному режимі роботи навантаження несуть обидві вентильні групи. Під час початкового збудження синхронного генератора кут відкривання вентилів є малий (рис. 15) і напруга з виходу ФВГ запирає вентилі РВГ. Відповідно в цьому режимі, коли напруга генератора є значно меншою від заданої, працює лише ФВГ (рис. 11–12), яка забезпечує максимальне форсування за напругою збудження (рис. 7).

Як видно з рис. 8, під час початкового збудження синхронного генератора його струм збудження зростає і виходить на усталене значення з певним перерегулюванням. Однак, зважаючи на наявність демпферної обмотки в синхронному генераторі, напруга на виході генератора зростає до заданого значення без перерегулювання (рис. 9), оскільки перерегулювання струму збудження компенсується відповідною зміною струму демпферної обмотки по осі d (рис. 16). Струм демпферної обмотки по осі q близький до нуля, оскільки синхронна машина працює без навантаження.

Як показали результати досліджень, незважаючи на наявність тиристорних перетворювачів у системі збудження синхронного генератора, вихідна напруга останнього не зазнає спотворень (рис. 10), незважаючи на те, що обмотка збудження генератора живиться напругою із значними пульсаціями. Це пояснюється значними сталими часу обмотки збудження та демпферної обмотки синхронного генератора.

1. Юрганов А.А., Кожевников В.А. Регулирование возбуждения синхронных генераторов. – СПб., 1996. 2. Плахтина Е.Г. Математическое моделирование электромашинно – вентильных систем. – Львов, 1986. 3. Плахтина О.Г., Боднар Г.Й., Куцик А.С. Математичне моделювання перетворювача частоти з каскадним включенням інверторів // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 1998. – № 340. – С. 91–96.

УДК 621.314.223

Г.М. Лисяк, О.М. Равлик, В.Й. Іваноньків
Національний університет "Львівська політехніка", кафедра ЕМС,
Західна електроенергетична система, СРЗА

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ В АВТОТРАНСФОРМАТОРАХ ПІДСТАНЦІЙ 750 КВ

© Лисяк Г.М., Равлик О. М., Іваноньків В.Й., 2002

Розроблено математичні та цифрову моделі аналізу аварійних режимів в автотрансформаторах 750 кВ з поздовжньо-поперечним регулюванням для налагодження та перевірки функціювання систем їх захисту й автоматики.

Developed mathematical and digital models to analysis of malfunctions in avtotransformers 750 kV with longitudinal-transversal adjustment for adjusting and systems functioning verification of their protections and automations.

Електрична мережа (ЕМ) 750 кВ відіграє важливу роль в електроенергетиці України. Від надійності її функціювання значною мірою залежить надійність функціювання всієї електроенергетичної системи України. Аварії в цій мережі, які з тієї чи іншої причини

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

вчасно не ліквідовуються пристроями захисту й автоматики, зумовлюють значні збитки. Серед сукупності елементів ЕМ 750 кВ одними з найскладніших з конструктивного і експлуатаційного погляду є автотрансформатори підстанцій (ПС) 750 кВ з поздовжньо-поперечним регулюванням. Правильне налаштування систем їх захисту можливе тільки при детальному аналізі всіх аварійних процесів, що виникали чи можуть виникнути у них під час експлуатації.

Автотрансформатор 750 кВ з поздовжньо-поперечним регулюванням є складною електротехнічною системою (ЕТС), надійну експлуатацію та захист якої можна здійснити, зокрема, за наявності достовірних результатів розрахунків усталених нормальних та аварійних режимів. Основним для успішного вирішення цього завдання є адекватне математичне відображення електромагнітного стану такої ЕТС із урахуванням заданих обґрунтованих наперед обмежень і допущень.

Для дослідження вказаних режимів застосовують математичні моделі трансформаторів з припущенням ненасиченості магнітних систем, що зумовлює лінійність параметрів математичних моделей, а також можливість представлення магнітного потоку кожної з обмоток фази у вигляді робочого (основного) потоку (спільного для всіх обмоток фази) та потоку розсіювання (властивого кожній з обмоток фази, зокрема).

У цьому випадку доцільним є врахування того, що як автотрансформатор, так і трансформатори поздовжнього та поперечного регулювання конструктивно виконують у вигляді трифазних груп з окремих однофазних трансформаторів, тобто магнітні системи їх окремих фаз не пов’язані між собою.

Проведений аналіз показав, що рівняння стану математичних моделей традиційно формується в методі вузлових напруг. Але, на нашу думку, для розв’язання даної задачі такому підходу властиві певні недоліки, зоврема, необхідність представлення схеми заміщення окремих трансформаторів у вигляді багатополюсників і з використанням Y-форми рівнянь їх стану. При цьому, забезпечення відтворення у математичній моделі дійсних (незведених) координат режиму обмоток трансформаторів різних номінальних напруг спряжене з низкою методологічних і програмних труднощів: складні перетворення рівнянь стану до Y-форми, значна кількість вузлів розрахункової схеми, ускладнення програмної реалізації довільних видів несиметрії тощо. Тому трифазні розрахункові схеми заміщення автотрансформатора та трансформаторів поздовжнього й поперечного регулювання нами створювались на підставі природних контурів рівнянь рівноваги напруг їх обмоток і магнітних систем. При цьому враховувались також так звані втрати потужності для неробочого режиму трансформаторів. Для автотрансформаторів сполучення елементів схеми заміщення повністю відповідає сполученню обмоток, координати режиму всіх схем заміщення відповідають дійсним (незведеним) координатам ЕТС, а розрахунок параметрів елементів схем заміщення здійснювався на основі відомих формул за паспортними даними.

Математична модель автотрансформатора 750 кВ

Математичну модель АТ згідно з схемою електричних сполучень (рис. 1, *а*) і розрахункової схеми заміщення (рис. 1, *б*) записуємо у вигляді комплексних рівнянь рівноваги напруг обмоток з врахуванням контуру намагнічування

$$U_{B\phi} = Z_1 \cdot I_1 + Z_2 \cdot I_2 + jX_{1\mu} \cdot I_\mu + jX_{2\mu} \cdot I_\mu ;$$

$$U_{C\phi} = Z_2 \cdot I_2 + jX_{2\mu} \cdot I_\mu ;$$

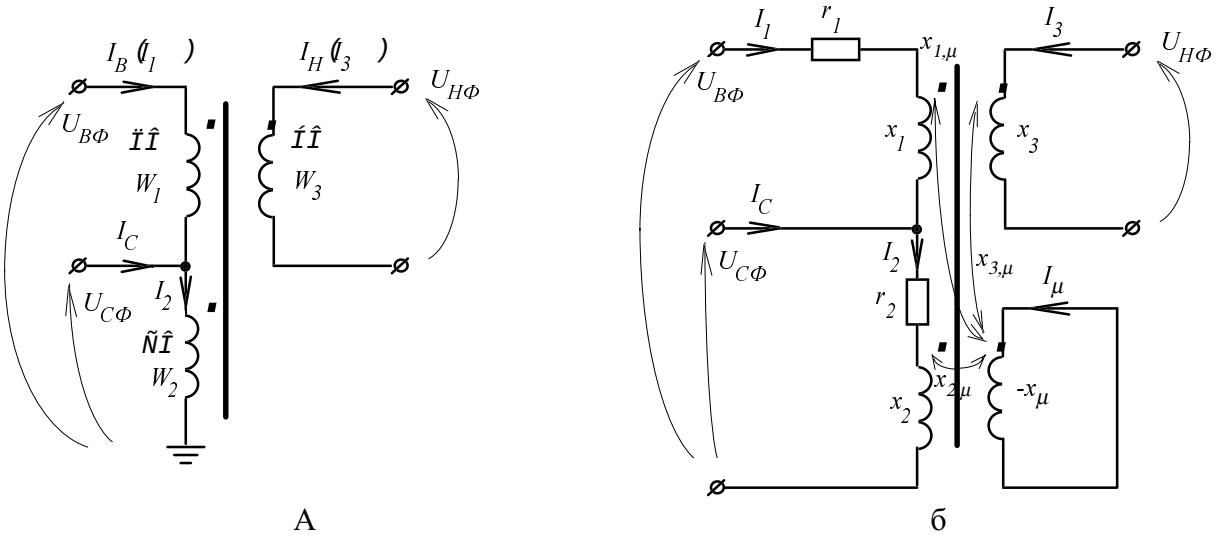
Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$U_{Н\phi} = Z_3 \cdot I_3 + jX_{3\mu} \cdot I_\mu ; \qquad (1)$$
$$0 = Z_\mu \cdot I_\mu + jX_{1\mu} \cdot I_1 + jX_{2\mu} \cdot I_2 + + jX_{3\mu} \cdot I_3 ,$$

при

$$Z_1 = R_1 + jX_1; \quad Z_2 = R_2 + jX_2; \quad Z_3 = R_3 + jX_3; \quad Z_\mu = -jX_\mu ,$$

де $U_{В\phi}, U_{Н\phi}, I_В, I_С, I_Н$ – фазні напруги та струми вищої (В), середньої (С) та нижчої (Н) сторін АТ; I_1, I_2, I_3 – струми послідовної (ПО), спільної (СО) та нижчої (НО) обмоток АТ; Z_1, Z_2, Z_3 – комплексні параметри розсіювання ПО, СО, НО відповідно; I_μ, Z_μ – струм та власний комплексний опір контуру намагнічування; $X_{1\mu}, X_{2\mu}, X_{3\mu}$ – взаємні індуктивні опори між контурами обмоток ПО, СО, НО та намагнічування відповідно.



А б

Рис. 1. Фаза АТ-750 кВ:
а – схема електричних сполучень обмоток; б – розрахункова схема заміщення

Тут координати та параметри не приводяться до однієї базової напруги, а залишаються дійсними. Параметри розрахункової схеми заміщення отримуємо на підставі методики, викладеної у [1] у вигляді

$$Z_1 = R_1 + jX_1 = R_{ВО} + jX_{ВО} = (0{,}766 + j55{,}366)\ \text{Ом};$$
$$Z_2 = R_2 + jX_2 = R_{СО} + jX_{СО} = (0{,}109 + j0{,}63)\ \text{Ом};$$
$$Z_3 = R_3 + jX_3 = R_{НО} + jX_{НО} = (0{,}0033 + j0{,}133)\ \text{Ом}.$$

Математична модель трансформатора поздовжнього регулювання ТПРУ

Трансформатор поздовжнього регулювання ТПРУ має дві обмотки у кожній фазі – компенсаційну КОУ та регулювальну РОУ. Для ненасиченої магнітної системи АТ 750 кВ, ТПРУ, який конструктивно виконаний разом з АТ, можна розглядати окремо від нього. Схема електричних сполучень обмоток фази ТПРУ має вигляд, показаний на рис. 2, *а*.

Математична модель, за налогією з (1), матиме вигляд

$$U_{В\phi} = Z_В \cdot I_В + jX_{В\mu} \cdot I_\mu ;$$
$$U_{Н\phi} = Z_В \cdot I_Н + jX_{Н\mu} \cdot I_\mu ; \qquad (2)$$

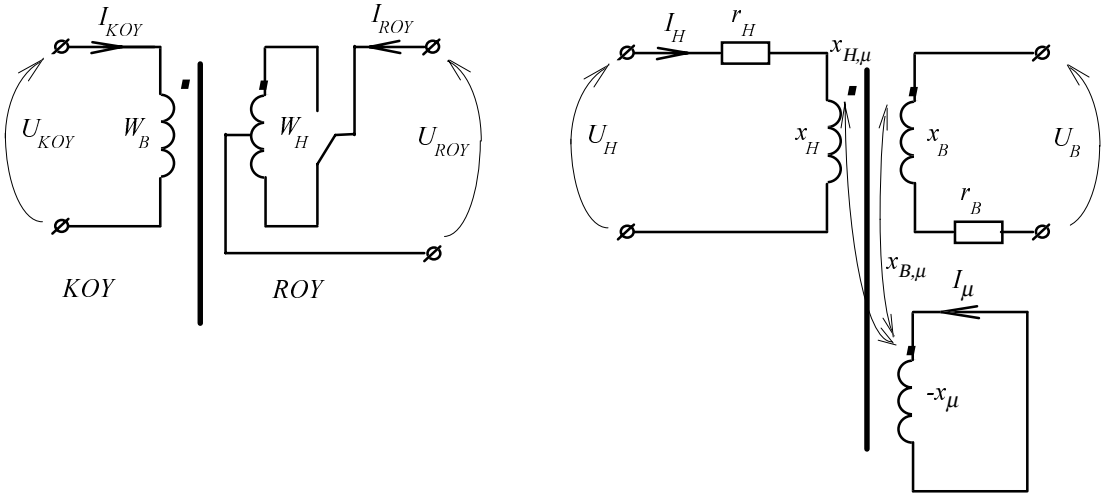
Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$0 = Z_\mu \cdot I_\mu + jX_{B\mu} \cdot I_B + jX_{H\mu} \cdot I_H,$$

при

$$Z_B = R_B + jX_B; \quad Z_H = R_H + jX_H; \quad Z_\mu = -jX_\mu,$$

де $U_{B\phi}, U_{H\phi}, I_B, I_H$ – фазні напруги та струми регулювальної В (РОУ) та Н (КОУ) обмоток РПНУ відповідно; Z_B, Z_H – комплексні параметри розсіювання обмоток В (РОУ) та Н (КОУ) відповідно; I_μ, Z_μ – струм та власний комплексний опір контуру намагнічування; $X_{B\mu}, X_{H\mu}$ – взаємні індуктивні опори між контурами обмоток В (РОУ) та Н (КОУ).



а б

Рис. 2. Фаза ТПРУ:
а – схема електричних сполучень обмоток; б – розрахункова схема заміщення

Рівнянням (2) відповідає розрахункова схема заміщення ТПРУ, зображена на рис. 2, *б*. Тут її координати та параметри не зводяться до однієї базової напруги, а залишаються дійсними.

Для проведення розрахунків приймаємо такі дані ТПРУ:

$$S_{B.ном.\phi} = S_{POY\,ном.\phi} = 37 \text{ МВА} \ (\text{Y} - \text{зовнішня обмотка});$$

$$S_{P.ном.\phi} = S_{KOY\,ном.\phi} = 37 \text{ МВА} \ (\Delta - \text{внутрішня обмотка});$$

$$U_{B\phi} = U_{POY\,ном.\phi} = 37{,}23 \text{ кВ}; \ U_{H\phi} = U_{KOY\,ном.\phi} = 15{,}75 \text{ кВ};$$

$$U_K \approx 10{,}5\%; \quad K_{KO-POY(\alpha)} = (8{,}461 \div 0{,}423),$$

де $K_{KO-POY(\alpha)}$ – коефіцієнт трансформації між обмотками КО-РО для степенів регулювання від 1 до 20 відповідно.

Комплексні параметри розсіювання обмоток Z_B, Z_H (рис. 2, *б*) обчислюємо за формулами:

$$X_T = (U_K/100) \cdot \left(U_{B\phi}^2 / S_{B ном.\phi}\right) = (10{,}5/100) \cdot \left(15{,}75^2/37\right) = 0{,}7 \text{ Ом};$$

$$X_H = X_{KOY} = 0{,}5 \cdot 0{,}7 = 0{,}35 \text{ Ом};$$

$$R_H = R_{KOY} \approx 0{,}04 \cdot 0{,}35 = 0{,}014; \qquad (3)$$

$$X_{B(\alpha)} = X_{POY(\alpha)} = X_{KOY} / K_{KO-POY(\alpha)}^2;$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$R_{B(\alpha)} = R_{POY(\alpha)} \approx 0{,}04 \cdot X_{B(\alpha)}.$$

Коефіцієнт магнітного зв'язку обмотки РОУ для різних ступенів РПН:

$$K_{POY(\alpha)} = W_{POY(\alpha)} / W_{HO} = (W_{KOY} / W_{HO}) / K_{KO-POY(\alpha)} = 2{,}5 / K_{KO-POY(\alpha)}.$$

Результати розрахунків $X_{B(\alpha)}$ та значення коефіцієнта магнітного зв'язку обмотки РОУ для різних ступенів РПН наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри ТПРУ при різних відгалуженнях РПН

Відгалуження РПН, α	$X_{B(\alpha)}$, Ом	Магнітний зв'язок, $K_{POY(\alpha)}$	Відгалуження РПН	$X_{B(\alpha)}$, Ом	Магнітний зв'язок, $K_{POY(\alpha)}$
1(43)	1,96	5,91	11(33)	0,489	2,96
2(42)	1,77	5,618	12(32)	0,396	2,66
3(41)	1,58	5,319	13(31)	0,313	2,363
4(40)	1,41	5,02	14(30)	0,239	2,068
5(39)	1,251	4,726	15(29)	0,176	1,773
6(38)	1,1	4,433	16(28)	0,122	1,478
7(37)	0,959	4,139	17(27)	0,06	1,182
8(36)	0,826	3,84	18(26)	0,044	0,887
9(35)	0,704	3,546	19(25)	0,0196	0,591
10(34)	0,592	3,251	20÷24 [нр]	0,0049	0,295

Приймаємо, що координати та параметри контуру намагнічування зведені до кількості витків НО АТ. Тоді маємо

$$X_{\mu} = (100/I_{XX}) \cdot (U^2_{Bном.ф} / S_{Bном.ф}) = (100/0{,}3) \cdot (15{,}75^2 / 333) = 248{,}31 \text{ Ом}.$$

Схему заміщення магнітної системи фази АТ та електричне сполучення обмоток представляємо у вигляді, показаному на рис. 3, де вітки схеми розраховані пропорційно до геометричних розмірів магнітопроводу відносно X_{μ}. Значення опорів віток зведені в табл. 2, а напрям показаний. При цьому зведений еквівалентний магнітний опір буде

$$R^*_{Мекв} = \omega^2 / X_{\mu} = 3{,}8\, R_{1M} = 314^2 / 248{,}31 = 397 \text{ Ом};$$

Таблиця 2

Значення опорів віток

R_{1M}		R_{3M}	R_{4M}	R_{5M}
105 Ом	240 Ом	140 Ом	112 Ом	144 Ом

Згідно зі схемою сполучень обмоток фази трансформатора послідовну обмотку розбиваємо на чотири півобмотки, сполучені паралельно, а спільну та обмотку нижчої напруги розбиваємо на дві півобмотки кожну, сполучених паралельно**.** Усі півобмотки розташовуємо пропорційно на основних стрижнях (вітки R_{1M}, рис. 3) магнітопроводу АТ. При цьому опори розсіювання кожної з півобмоток та їх магнітні зв'язки будуть визначатися

$$Z'_{ПО} = 4 \cdot Z_1 = (3{,}064 + j221{,}464) \text{ Ом};$$

$$K_{ПО} = (U_{В.ном.ф} - U_{С.ном.ф}) / U_{Н.ном.ф} = (443{,}01 - 190{,}53) / 15{,}75 = 15{,}39;$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$Z'_{CO} = 2 \cdot Z_2 = (0{,}218 - j1{,}26)\ \text{Ом};$$

$$K_{CO} = U_{С.ном.ф} / U_{Н.ном.ф} = 190{,}53 / 15{,}75 = 12{,}09;$$

$$Z'_{НО} = 2 \cdot Z_3 = (0{,}0066 - j0{,}266)\ \text{Ом};$$

$$K_{НО} = U_{Н.ном.ф} / U_{Н.ном.ф} = 15{,}75 / 15{,}75 = 1.$$

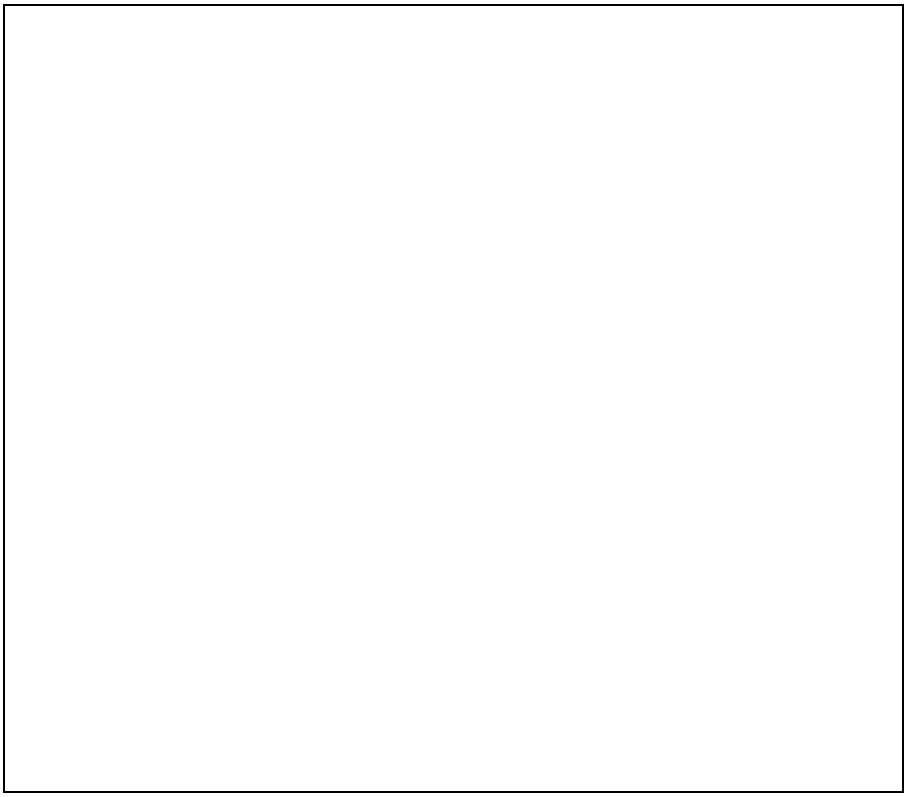


Рис. 3. Розрахункова схема заміщення фази АТ

У нейтраль автотрансформатора ввімкнено струмообмежувальний реактор типу РБНГ-10-100000, 56У1 ($X_р = 0{,}576$ Ом), вибраний з умови забезпечення електродинамічної міцності обмотки РОУ.

Модель трансформатора поперечного регулювання ТПРХ

Трансформатор поперечного регулювання ТПРХ має чотири обмотки в кожній фазі: збуджувальну (ЗОХ чи СО-У – середня), регулювальну (РОХ чи ВО-У – висока), компенсаційну (КОХ-Δ – низька) та компенсаційну збуджувальну обмотку (КЗОХ). Схема заміщення магнітної системи й електричне сполучення обмоток фази ТПРХ має вигляд, зображений на рис. 4.

Комплексні параметри розсіювання обмоток $Z_{РОХ}$, $Z_{ЗОХ}$, $Z_{КОХ}$ та $Z_{КЗОХ}$ (рис. 4) обчислюємо на підставі паспортних даних за формулами.

Спочатку визначимо опори розсіювання для відгалуження № 1:

$$X_{ВС(1)} = \left(U'_{К,ВС(1)} / 100\right) \cdot \left(U^2_{Вф(1)} / S\Delta_{Вном.ф(1)}\right) = (8{,}22/100) \cdot \left(68^2/70\right) = 5{,}43\ \text{Ом};$$

$$X_{РОХ(1)} = 0{,}5 \cdot 5{,}43 = 2{,}715\ \text{Ом};$$

$$X_{ЗОХ} = X_{в(1)} / K^2_{РОХ-ЗОХ(1)} = 2{,}715 / 7{,}477^2 = 0{,}049\ \text{Ом};$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$R_{ЗОХ} \approx 0{,}04 \cdot X_c = 0{,}04 \cdot 0{,}049 = 0{,}0002 \text{ Ом}.$$

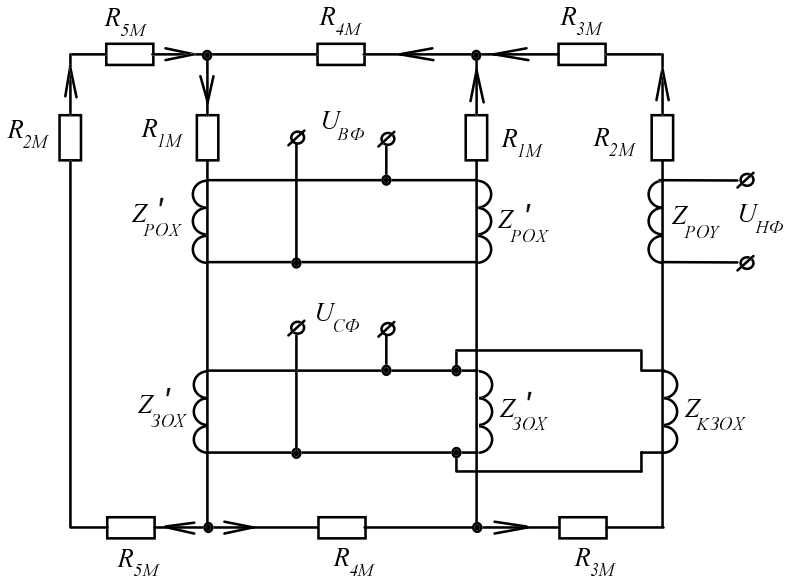


Рис. 4. Розрахункова схема заміщення фази ТПРХ

Тоді

$$X_{ВС(\alpha)} = \left(U'_{К,ВС(\alpha)} / 100\right) \cdot \left(U^2_{Вф(\alpha)} / S\Delta_{Вном.ф(\alpha)}\right);$$

$$X_{РОХ(\alpha)} = X_{ВС(\alpha)} - X^*_{ЗОХ(\alpha)},$$

де

$$X^*_{ЗОХ(\alpha)} = X_{ЗОХ} \cdot К^2_{РОХ-ЗОХ(\alpha)};$$

$$R_{РОХ(\alpha)} \approx 0{,}04 \cdot X_{РОХ(\alpha)};$$

$$X_{СН(с)} = \left(U_{К,СН} / 100\right) \cdot \left(U^2_{Сном} / S_{Вном.ф}\right) = \left(38{,}5/100\right) \cdot \left(9{,}094^2 / 70\right) = 0{,}455 \text{ Ом};$$

$$X_{КЗОХ} = 0{,}5 \cdot X_{СН(с)} = 0{,}5 \cdot 0{,}455 = 0{,}228 \text{ Ом};$$

$$R_{КЗОХ} \approx 0{,}04 \cdot X_{КЗОХ} = 0{,}04 \cdot 0{,}228 = 0{,}009;$$

$$X_{КОХ} = X_{КОХ} \cdot \left(U_{Нном.ф} / U_{Сном.ф}\right)^2 = 0{,}228 \cdot \left(10{,}5/9{,}094\right)^2 = 0{,}304 \text{ Ом};$$

$$R_{КОХ} \approx 0{,}04 \cdot X_Н = 0{,}04 \cdot 0{,}304 = 0{,}0122 \text{ Ом}.$$

Результати розрахунків $X_{РОХ(\alpha)}$, $X^*_{ЗОХ(\alpha)}$ та значення коефіцієнта магнітного зв'язку обмотки РОХ для різних відгалужень наведені в табл. 3.

Приймаємо, що координати та параметри контуру намагнічування зведені до кількості витків ЗОХ. Тоді маємо

$$X_\mu = \left(100/I_{XX}\right) \cdot \left(U^2_{Сном.ф} / S_{Вном.ф}\right) = \left(100/0{,}6\right) \cdot \left(\left(15{,}75/\sqrt{3}\right)^2 / 70\right) = 196{,}88 \text{ Ом}.$$

Параметри схеми рис. 4 розраховані пропорційно до геометричних розмірів магнітопроводу відносно X_μ. Значення опорів віток наведені в табл. 4, а напрям показаний. При цьому зведений еквівалентний магнітний опір буде.

$$R^*_{Мекв} = \omega^2 / X_\mu = 314^2 / 196{,}88 = 500{,}8 \text{ Ом}.$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Таблиця 3

Результати розрахунків

№ відг.	$U_{К,ВС(\alpha)}$, %	$U_{Вф(\alpha)}$, В	$X_{РОХ(\alpha)}$, Ом	$X^*_{ЗОХ(\alpha)}$, Ом	М.зв'язок, $К_{РОХ(\alpha)}$
$1_{(43)}$	8,22	68000	2,715	2,715	7,477
$2_{(42)}$	8,18	64600	2,66	2,473	7,104
$3_{(41)}$	8,15	61200	2,63	2,219	6,73
$4_{(40)}$	8,145	578000	2,593	1,98	6,356
$5_{(39)}$	8,14	54400	2,549	1,753	5,982
$6_{(38)}$	8,08	51000	2,462	1,541	5,608
$7_{(37)}$	8,02	47600	2,319	1,389	5,324
$8_{(36)}$	7,97	44200	2,265	1,157	4,86
$9_{(35)}$	7,92	40800	2,152	0,987	4,487
$10_{(34)}$	8,07	37400	2,103	0,829	4,113
$11_{(33)}$	8,22	34000	2,03	0,685	3,739
$12_{(32)}$	8,17	30600	1,874	0,555	3,365
$13_{(31)}$	8,12	27200	1,708	0,438	2,991
$14_{(30)}$	8,06	23800	1,527	0,336	2,617
$15_{(29)}$	8,01	20400	1,34	0,247	2,243
$16_{(28)}$	7,8	17000	1,117	0,171	1,87
$17_{(27)}$	7,6	13600	0,894	0,11	1,495
$18_{(26)}$	7,1	10200	0,642	0,062	1,121
$19_{(25)}$	6,67	6800	0,414	0,027	0,748
20-24	не	ро	бо	Чі	0,374

Таблиця 4

Значення опорів віток

$R_{1М}$	$R_{2М}$	$R_{3М}$	$R_{4М}$	$R_{5М}$
107 Ом	260 Ом	200 Ом	158 Ом	200 Ом

Значення коефіцієнта магнітного зв'язку обмоток відповідно ЗОХ, КОХ та КЗОХ становлять

$$К_{ЗОХ} = 1; К_{КОХ} = 5; К_{КЗОХ} = 5{,}773.$$

Цифрова модель аналізу аварійних процесів в автотрансформаторах ПС 750 кВ

Цифрова модель (ЦМ) сформована на базі розрахункових схем автотрансформатора 750 кВ і трансформаторів поздовжнього та поперечного регулювання у вигляді трифазної системи з урахуванням узагальнених електричних систем за лініями електропересилання з напругами 750 і 33 кВ. Реалізація цифрової моделі здійснена за допомогою програмного комплексу для аналізу процесів в електротехнічних системах [2]. Для ідентифікації ЦМ були проведені математичні експерименти режимів неробочого режиму та короткого замикання для різних відгалужень, які порівняно з натурними експериментами підтвердили її адекватність. На замовлення служби релейного захисту ЗЕС і НЕК України на розробленій ЦМ були проведені розрахунки стаціонарних та аварійних режимів у автотрансформаторах ПС 750 кВ з метою налаштування окремих пристроїв захисту та автоматики.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Висновки

Для дослідження аварійних і стаціонарних режимів у автотрансформаторах 750 кВ з поздовжньо-поперечним регулюванням, як складної електротехнічної системи, доцільно використовувати трифазні математичні моделі, які формуються у вигляді взаємозв'язаних електричних і магнітних кіл. Такі моделі не містять комплексних коефіцієнтів трансформації та враховують дійсні (не зведені) координати та параметри схеми, внаслідок чого немає потреби у додаткових обчисленнях результатів.

Тестові розрахунки неробочого режиму та короткого замикання для різних відгалужень обмотки регулювання й окремих аварійних режимів автотрансформатора 750 кВ з поздовжньо-поперечним регулюванням підтвердили правильність прийнятих припущень і адекватність розроблених математичних і цифрової моделей.

1. Лисяк Г.М.,Скрипник О.І., Сотник Р.Б. Розрахункова електрична схема математичної моделі автотрансформатора // Вісн. Львів. політех. ін-ту. – 1987. – № 213. – С. 51–54. 2. Ravlyk A., Gretchyn T. Digital complex for modeling of transient processes in electric circuits // Metody matematycne w electroenergetyce. III Sympozjum, Zakopane, 1993. – P. 27–31.

УДК 62-83

О.Ю. Лозинський, Я.Ю. Марущак, А.П. Кушнір
Національний університет "Львівська політехніка", кафедра ЕАП

ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ І УРАХУВАННЯМ ДІЇ ДИСИПАТИВНИХ СИЛ

© Лозинський О.Ю., Марущак Я.Ю., Кушнір А.П., 2002

Обґрунтовано необхідність врахування дії дисипативних сил при синтезі двомасових систем автоматичного керування. Показано, що нехтування їх дією під час синтезу спричиняє відмінності динамічних характеристик реальних систем від очікуваних.

The necessity of the account of operating dissipative forces at synthesizing two mass automatic control systems is justified. It is rotined that neglect of their operating during synthesizing results in difference of dynamic performances of real systems from anticipated.

Традиційно синтез електромеханічних систем, в яких є пружні елементи, здійснюється без урахування дії дисипативних сил, а саме: сил внутрішнього в'язкого тертя в цих елементах та сил зовнішнього в'язкого тертя в опорах рухомих частин кінематичної схеми електроприводу. Це зумовлено тим, що тоді вирази, які описують такий об'єкт, значно спрощуються і внаслідок цього полегшується процедура синтезу систем автоматичного керування (САК). Так, наприклад, синтез системи модального регулювання (СМР) таким об'єктом зводиться до розгляду тільки характеристичного полінома системи, тому що в її передавальній функції відсутні нулі. Вважається, що синтезована САК знівелює невідповідність моделі об'єкта, в якій відсутня дія дисипативних сил, реальному об'єкту, де такі сили присутні. Сподіватися на це можна, якщо дія сил внутрішнього і зовнішнього в'язкого тертя є зневажливо малою, тобто відповідними

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua