

моделі, керування моделлю і реєстрацію результатів розрахунку, що своєю чергою полегшує умови роботи моделі в реальному часі.

2. Функціонування інтерфейсу математичної моделі системи генерування електроенергії синхронною машиною в комп'ютерній мережі не порушує роботу математичної моделі в реальному часі, про що свідчать результати проведених експериментів.

1. Плахтина О.Г., Куцик А.С. Програмно-технічний комплекс для випробування систем збудження в енергоблоках електричних станцій // *Технічна електродинаміка: Тем. вип. "Проблеми сучасної електротехніки"*. Ч. 6. – 2006. – С. 22–25. 2. Плахтина О.Г. Числовий однокроковий метод аналізу електричних кіл і його застосування в задачах електромеханіки // *Вісн. Нац. тех. ун-ту "Харківський політехнічний інститут"*. – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – № 30. – С. 223–225. 3. Plakhtyna O., Kutsyk A. The computer diagnostics of the excitation systems of synchronous generator // *Proceeding of the International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science" TCSET'2006*. – Lviv, 2006. – P. 49–50. 4. Saulnier E.T., Bortscheller B. Data transfer bottlenecks over SPARC-based computer networks // *Proceedings 20th Conference on Local Computer Networks*. – USA1995. – P. 289–295. 5. Wei A., Chen Y., Wu J. Simulation Study of TCP/IP Communication Based on Networked Control Systems // *The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation*. – 2006. – Vol: 1. – P. 4479–4483,

УДК 621.311.2

Г.М. Лисяк, О.Р. Пастух, О.М. Равлик  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра ЕСМ

## РЕЖИМИ ЗОВНІШНІХ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ ЕНЕРГОБЛОКА З ДОДАТКОВИМ РОБОЧИМ ТРАНСФОРМАТОРОМ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

© Лисяк Г.М., Пастух О.Р., Равлик О.М., 2009

**Проведено порівняльний аналіз рівнів напруги на шинах власних потреб енергоблока з додатковим робочим трансформатором власних потреб під час усталених режимів зовнішніх коротких замикань. Наведено результати досліджень для енергоблока електростанції з турбогенератором ТГВ-200М.**

**The comparative analysis of voltage levels at auxiliary buses of power unit with the additional working auxiliary transformer under internal short circuits is carried out. The results of researches for power unit with power plant turbogenerator ТГВ-200М are given.**

**Постановка проблеми.** Одним з важливих завдань, які виконують під час розроблення нових схем електричної частини енергоблоків (ЕБ) електростанцій (ЕС), є дослідження умов забезпечення надійного живлення електроприймачів власних потреб (ВП).

**Аналіз останніх досліджень.** Відомо, що в традиційних схемах електричної частини ЕБ з одним робочим трансформатором власних потреб (РТВП) для запобігання перервам живлення електроприймачів ВП від шин розподільних устав власних потреб (РУВП) першого ступеня трансформації та зменшення їх тривалості під час аварійних режимів застосовують системи

резервного живлення [1]. Уведення їх в роботу супроводжується перемиканнями комутаційних апаратів у системі живлення ВП, що за їх відмови зумовлює подальший розвиток аварійних режимів. Це стосується й режимів під час виникнення коротких замикань (к.з.) у прилеглий до ЕБ електричній мережі (ЕМ). Застосування додаткового робочого трансформатора власних потреб (ДРТВП), який працює в режимі заданого навантаженнями ЕБ струму [2, 3], забезпечує впродовж часу існування зовнішніх трифазних к.з. достатній для роботи електроприймачів ВП рівень напруги на шинах РУВП першого ступеня трансформації без застосування систем резервного живлення.

**Мета роботи.** Дослідження і порівняльний аналіз рівнів напруги на шинах розподільної устави власних потреб першого ступеня трансформації енергоблока електростанції з додатковим робочим трансформатором власних потреб під час усталених режимів зовнішніх симетричних і несиметричних коротких замикань.

**Виклад основного матеріалу.** Відомо, що трансформатори ВП першого ступеня трансформації потужністю 25 МВ·А і більше виконують з розщепленими вторинними обмотками. Тому й вторинні обмотки ДРТВП також повинні бути розщепленими [4]. Однак, за умови рівномірного завантаження секцій шин РУВП, ці трансформатори під час аналізу усталених режимів можна розглядати як звичайні двохобмоткові з відповідними еквівалентними параметрами і навантаженням. Тоді принципові схеми електричної частини ЕБ з ДРТВП (ТЗ) та без нього (традиційна схема) матимуть вигляд, як показано на рис. 1, де позначення елементів є загально-прийнятими і додаткових пояснень не потребують.

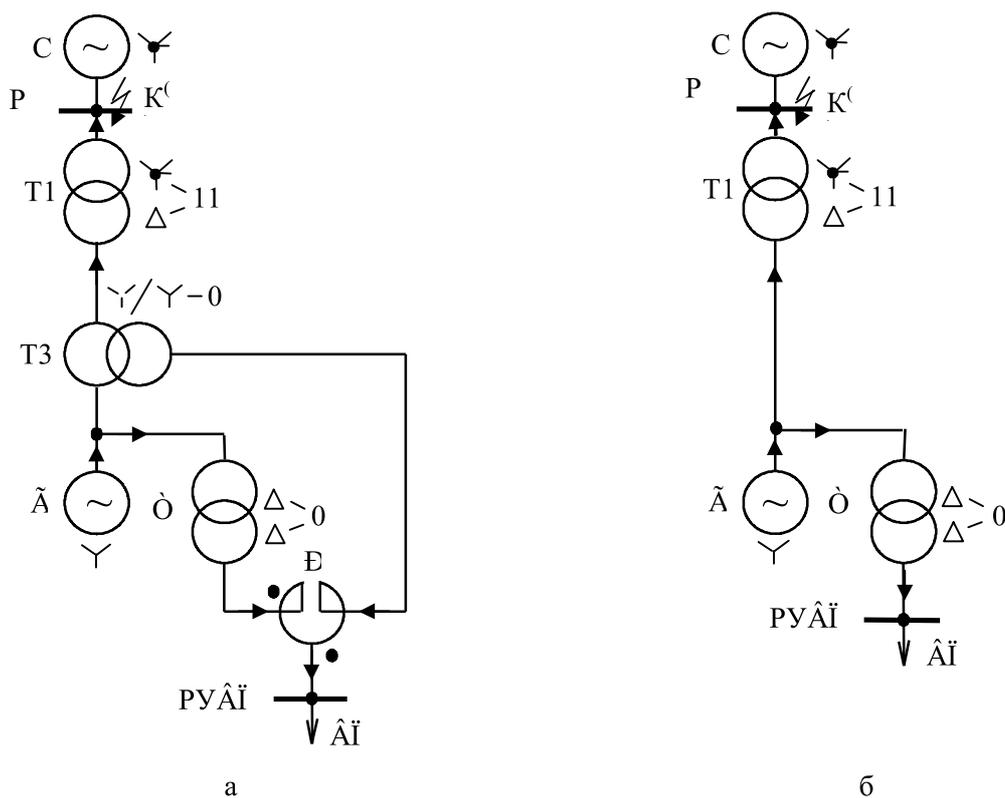


Рис. 1. Принципові схеми електричної частини енергоблока електростанції:  
 а – з додатковим робочим трансформатором власних потреб ТЗ; б – традиційна

Під час зовнішніх к.з. (на шинах РУ вищої напруги блочного трансформатора Т1) рівень напруги на шинах РУВП у традиційній схемі лише з РТВП Т2 (рис. 1,б) визначається значенням напруги на виводах генератора Г, а у схемі з ДРТВП ТЗ (рис. 1,а) – також значенням струму к.з.,

який протікає від генератора Г через первинну обмотку ДРТВП ТЗ, оскільки цей трансформатор працює в режимі заданого навантаженням генератора Г струму і також бере участь у живленні навантаження ВП енергоблока.

Дослідження режимних властивостей обидвох схем ЕБ (рис. 1) проводилося з використанням цифрового комплексу [5] за таких умов і припущень:

1. Розрахункова схема прийнята трифазною з врахуванням вказаних на рис. 1 схем і груп з'єднання обмоток трансформаторів.

2. Генератор Г моделювався з'єднаними у зірку активними гілками з фазними ЕРС  $\dot{E}_{Gi} = E_{Gi} \cdot \exp(j\Theta_{E_{Gi}}) = E_{Gi} \angle \Theta_{E_{Gi}}$  за комплексними опорами  $\underline{Z}_{Gi} = r_{Gi} + jx_{Gi}$ , де  $i = A, B, C$ . При цьому модулі  $E_{Gi}$  фазних ЕРС дорівнювали значенню фазної надперехідної ЕРС  $E''_{q\phi}$ , обчисленому за нормальним режимом з координатами близькими до значень номінальних параметрів генератора, а реактанс  $x_{Gi}$  – значенню надперехідного опору генератора  $x''_d$ , тобто  $E_{Gi} = E''_{q\phi}$  та  $x_{Gi} = x''_d$ .

3. Електроенергетична система С моделювалася з'єднаними у зірку активними гілками з фазними ЕРС  $\dot{E}_{Ci} = E_{Ci} \cdot \exp(j\Theta_{E_{Ci}}) = E_{Ci} \angle \Theta_{E_{Ci}}$  за комплексними опорами  $\underline{Z}_{Ci} = r_C + jx_C$ , де  $i = A, B, C$ . Значення реактансу  $x_C$  обчислювалося за прийнятою потужністю  $S_{к.3}^{(3)}$  трифазного к.з. на шинах РУ енергоблока.

4. Вебер-амперні характеристики магнітних систем трансформаторів прийняті лінійними з врахуванням шляхів поширення магнітних потоків за межами магнітопроводів трансформаторів, що особливо важливо для тристрижневого блочного трансформатора Т1 з уземленою нейтраллю обмотки вищої напруги. Втрати активної потужності в магнітних системах не враховувались.

5. Власні потреби ЕБ моделювалися з'єднаними у зірку пасивними гілками з опорами  $\underline{Z}_{ВП} = r_{ВП} + jx_{ВП}$ , які відповідають значенням номінальних параметрів навантаження ВП.

6. Результатами розрахунків були діючі значення фазних і лінійних напруг і струмів елементів схем у комплексній формі, а також потокозчеплень в елементах магнітних систем трансформаторів.

За об'єкт дослідження прийнятий ЕБ з турбогенератором ТГВ-200М ( $U_{Г\text{ ном}} = 15,75$  кВ,  $\cos \varphi_{Г\text{ ном}} = 0,85$ ), блочним трансформатором ТДЦ-250000/220, робочим трансформатором власних потреб ТРДНС-25000/35 та такими параметрами навантаження ВП:  $U_{ВП\text{ ном}} = 6$  кВ;  $P_{ВП\text{ ном}} = 0,08 P_{Г\text{ ном}}$ ;  $\cos \varphi_{ВП\text{ ном}} = 0,7$ . Параметри ДРТВП ТЗ визначались на основі параметрів трансформатора ТДНС-16000/20, але з врахуванням необхідної реконструкції його первинної обмотки, яка вмикається послідовно в електричне коло між виводами генератора Г і первинної обмотки блочного трансформатора Т1 (рис. 1, а). Параметри еквівалентного здвоєного реактора Р (рис. 1, а) визначались на основі параметрів реакторів РБС-10-2×630-0,4УЗ. Для генератора Г і системи С прийнято:  $E_{Gi*} = E''_{q\phi*} = 1,121$ ;  $r_{Gi} = 0,002$  Ом;  $x''_d* = 0,204$ ;  $E_{Ci} = 230/\sqrt{3}$  кВ;  $r_C = 0,05$  Ом;  $S_{к.3}^{(3)} = 20000$  МВ·А. Параметри інших елементів схем на рис. 1 визначались за даними [6, 7]. Враховуючи, що блочний трансформатор Т1 має 11-ту групу з'єднань обмоток, аргумент ЕРС фази А системи С прийнятий таким, що дорівнює  $\Theta_{ЕСА} = -30^\circ$ , а фаз В і С відповідно  $\Theta_{ЕСВ} = \Theta_{ЕСА} - 120^\circ = -150^\circ$  і  $\Theta_{ЕСС} = \Theta_{ЕСА} + 120^\circ = 90^\circ$ .

Попередні розрахунки показали, що нормальні режими ЕБ в обидвох схемах на рис. 1 з координатами режиму, близькими до їх номінальних значень, матимуть місце за таких значень фазних коефіцієнтів трансформації трансформаторів і аргументів фазних ЕРС генератора:  $K_{Т1\phi} = 0,1071$  і  $K_{Т2\phi} = 0,42$  (схема рис. 1, а) та  $K_{Т1\phi} = 0,1127$  і  $K_{Т2\phi} = 0,4$  (схема рис. 1, б);  $K_{Т3\phi} = 0,143$ ;  $\Theta_{ЕГА} = 14,6^\circ$ ;  $\Theta_{ЕГВ} = \Theta_{ЕГА} - 120^\circ = -105,4^\circ$ ;  $\Theta_{ЕГС} = \Theta_{ЕГА} + 120^\circ = 134,6^\circ$ .

Згідно з метою цієї роботи для обох схем на рис. 1 досліджувалися нормальні усталені режими з координатами режиму, близькими до їх номінальних значень, та режими усталених трифазних  $K^{(3)}$ , двофазних  $K^{(2)}$ , однофазних  $K^{(1)}$  і двофазних на землю  $K^{(1,1)}$  зовнішніх коротких замикань на шинах РУ вищої напруги енергоблока електростанції. Для зручності порівняльного аналізу режимних властивостей досліджуваних схем у табл. 1 (схема рис. 1, а) та у табл. 2 (схема рис. 1, б) наведені модулі комплексних величин у відповідних відносних базових одиницях та їх аргументи в електричних градусах. Враховуючи, що математичні моделі у цифровому комплексі [5] формуються у фазних координатах, за базові величини приймалися відповідні значення лінійних і фазних номінальних параметрів елементів схем з врахуванням способу з'єднання їх обмоток (Y – зірка,  $\Delta$  – трикутник):

- генератор Г і обмотки трансформаторів Т1, Т2, Т3 з боку цього генератора:

$$U_{\phi} = U_{Г \text{ ном}} = 15750 \text{ В}; U_{\phi, \text{фY}} = U_{\phi} / \sqrt{3} = 15750 / \sqrt{3} \text{ В}; U_{\phi, \text{ф}\Delta} = U_{\phi} = 15750 \text{ В};$$

$$I_{\phi} = I_{Г \text{ ном}} = P_{Г \text{ ном}} / (\sqrt{3} U_{Г \text{ ном}} \cos \varphi_{Г \text{ ном}}) = 8625,21 \text{ А};$$

$$I_{\phi, \text{фY}} = I_{\phi} = 8625,21 \text{ А}; I_{\phi, \text{ф}\Delta} = I_{\phi} / \sqrt{3} = 8625,21 / \sqrt{3} \text{ А};$$

- система С і обмотка В вищої напруги блочного трансформатора Т1 з боку цієї системи:

$$U_{\phi} = U_{С \text{ ном}} = 220000 \text{ В}; U_{\phi, \text{фY}} = U_{\phi} / \sqrt{3} = 220000 / \sqrt{3} \text{ В};$$

$$I_{\phi} = I_{Т1В \text{ ном.фY}} = S_{Т1 \text{ ном}} / (\sqrt{3} U_{Т1В \text{ ном}}) = 596,44 \text{ А};$$

- власні потреби ВП, обмотки трансформаторів Т2, Т3 і здвоєний реактор Р з боку РУВП:

$$U_{\phi} = U_{ВП \text{ ном}} = 6000 \text{ В}; U_{\phi, \text{фY}} = U_{\phi} / \sqrt{3} = 6000 / \sqrt{3} \text{ В}; U_{\phi, \text{ф}\Delta} = U_{\phi} = 6000 \text{ В};$$

$$I_{\phi} = I_{ВП \text{ ном}} = 0,08 \cdot P_{Г \text{ ном}} / (\sqrt{3} U_{ВП \text{ ном}} \cos \varphi_{ВП \text{ ном}}) = 2199,43 \text{ А};$$

$$I_{\phi, \text{фY}} = I_{\phi} = 2199,43 \text{ А}; I_{\phi, \text{ф}\Delta} = I_{\phi} / \sqrt{3} = 2199,43 / \sqrt{3} \text{ А}.$$

Як видно з табл. 1 і 2 нормальні режими в обох схемах близькі до номінального, оскільки модулі напруг і струмів генератора і власних потреб у в.о. близькі до одиниці, а їхні аргументи для різних фаз зсунуті на  $\pm 120^\circ$  відповідно. За прийнятих значень коефіцієнтів трансформації ДРТВП і РТВП струмове завантаження їх вторинних обмоток (з боку ВП) є практично однаковим ( $I_{Т3(ВП)*} = 0,529$ ;  $I_{Т2(ВП)*} = 0,531$ ). Аргументи цих струмів відрізняються між собою, оскільки є різними коефіцієнти потужності генератора ( $\cos \varphi_{Г} \approx 0,85$ ) та навантаження ВП ( $\cos \varphi_{ВП} = 0,7$ ). Отже, характерною властивістю схеми з ДРТВП (рис. 1, а) є те, що в нормальному режимі через ДРТВП передається в основному активна складова, а через РТВП – в основному реактивна складова потужності навантаження ВП.

Під час зовнішнього трифазного к.з.  $K^{(3)}$  залишкова напруга на виводах генератора і на шинах РУВП у традиційній схемі (табл. 2) знижується до  $U_{Г*}^T = 0,363$  і  $U_{ВП*}^T = 0,353$  відповідно, а у схемі з ДРТВП (табл. 1) на виводах генератора знижується до  $U_{Г*}^D = 0,418$ , а на шинах РУВП залишається на рівні  $U_{ВП*}^D = 0,898$ , близькому до номінального значення, та забезпечує нормальну роботу електроприймачів ВП. Рівень струмів у схемі з ДРТВП від генератора ( $I_{Г*}^D = 3,449$ ) та через блочний трансформатор Т1 до місця к.з. ( $I_{Т1(С)}^D = 3,203$ ) орієнтовно на 7–7,5 % менший за рівень відповідних струмів у традиційній схемі ( $I_{Г*}^T = 3,716$  та  $I_{Т1(С)}^T = 3,469$ ).

Під час несиметричних к.з. рівень струмів від генератора  $I_{Г}$  в обох схемах не перевищує рівня струмів під час трифазного к.з., а струм через блочний трансформатор Т1 до місця к.з.  $I_{Т1(С)}$

має найбільше значення під час однофазного к.з.  $K^{(1)} \left( I_{Т1(C)}^D = 5,241 \text{ та } I_{Т1(C)}^T = 5,557 \right)$ , тобто також у схемі з ДРТВП рівень цих струмів на 5–6 % менший порівняно зі струмами к.з. у традиційній схемі.

Рівень напруги на шинах РУВП під час несиметричних к.з. в обох схемах є вищим, ніж під час трифазного к.з., але якщо в схемі з ДРТВП він є близьким до номінального  $\left( U_{ВПi}^D = 0,898 - 1,005 \right)$ , тобто достатнім для нормальної роботи електроприймачів ВП, то в традиційній схемі є значно нижчим  $\left( U_{ВПi}^T = 0,353 - 0,969 \right)$ , де  $i = A, B, C$ .

Несиметрія фазних напруг і струмів генератора та фазних напруг на шинах РУВП під час несиметричних к.з. характеризується значеннями прямої і оберненої симетричних складових, обчисленими за відповідними даними табл. 1 і 2 та наведеними у табл. 3 і 4 відповідно (модулі величин – у в.о., а їх аргументи – в ел. град).

Таблиця 1

**Усталені режими електричної частини енергоблока з ДРТВП**

Режим		Нормальний		$K^{(3)}$		$K^{(2)}$		$K^{(1)}$		$K^{(1,1)}$	
Величина	Фаза	Модуль	Аргу-мент	Модуль	Аргу-мент	Модуль	Аргу-мент	Модуль	Аргу-мент	Модуль	Аргу-мент
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U_{Т1\phi(C)}$	A	1.049	-29.52	0	–	1.049	-29.52	0	–	1.026	-29.53
	B	1.049	-149.52	0	–	0.525	150.48	1.038	-148.43	0	–
	C	1.049	90.48	0	–	0.525	150.48	1.038	89.38	0	–
$I_{Т1(C)}$	A	0.846	-52.46	3.203	-104.66	0.846	-52.46	5.241	-109.93	1.873	37.64
	B	0.846	-172.46	3.203	135.34	3.119	160.57	2.597	-133.43	4.315	107.27
	C	0.846	67.54	3.203	15.34	2.454	-8.59	1.173	-122.13	4.907	33.61
	N	0	–	0	–	0	–	8.863	-118.26	9.060	61.75
$U_{Т1(\Gamma)}$	AC	0.946	-24.63	0.335	-16.01	0.946	-24.63	0.528	-20.93	0.732	-23.27
	BA	0.946	-144.63	0.335	-136.01	0.517	-170.91	0.877	-132.13	0.437	-162.13
	CB	0.946	95.37	0.335	103.99	0.591	126.33	0.844	87.56	0.495	121.19
$I_{Т1(\Gamma)}$	A	0.948	-22.73	3.584	-74.66	2.491	-26.39	1.967	-89.98	2.625	-47.17
	B	0.948	-142.73	3.584	165.34	3.584	165.34	0.948	-142.73	3.584	165.30
	C	0.948	97.27	3.584	45.34	1.253	9.19	2.651	73.48	1.967	31.17
$I_{Т2(\Gamma)}$	A	0.057	-59.93	0.146	83.35	0.059	-173.88	0.096	33.59	0.056	124.80
	B	0.057	-179.93	0.146	-36.65	0.146	-36.65	0.057	-179.93	0.146	-36.65
	C	0.057	60.07	0.146	-156.65	0.110	122.12	0.058	-113.06	0.094	154.36
$U_{\Gamma\phi}$	A	1.003	5.67	0.418	12.72	0.868	-10.51	0.745	21.23	0.702	-5.82
	B	1.003	-114.33	0.418	-107.28	0.418	-107.28	1.003	-114.33	0.418	-107.28
	C	1.003	125.67	0.418	132.72	0.918	142.62	0.703	113.57	0.742	140.69
$I_{\Gamma}$	A	0.995	-24.73	3.449	-73.75	2.441	-27.13	1.915	-87.58	2.569	-46.00
	B	0.995	-144.73	3.449	166.25	3.449	166.25	0.995	-144.73	3.449	166.25
	C	0.995	95.27	3.449	46.25	1.214	13.98	2.593	73.62	1.917	33.52
$U_{ВП\phi}$	A	1.005	4.56	0.898	5.60	0.972	2.06	0.956	6.95	0.946	3.23
	B	1.005	-115.44	0.898	-114.40	0.898	-114.40	1.005	-115.44	0.898	-114.40
	C	1.005	124.56	0.898	125.60	0.987	127.50	0.946	123.15	0.956	126.87
$I_{ВП}$	A	1.005	-41.01	0.898	-39.96	0.972	-43.50	0.956	-38.61	0.946	-42.33
	B	1.005	-161.01	0.898	-159.96	0.898	-159.96	1.005	-161.01	0.898	-159.96
	C	1.005	78.99	0.898	80.04	0.987	81.92	0.946	77.59	0.956	81.31
$U_{Т2(ВП)}$	AC	1.051	-25.54	0.604	-22.64	1.051	-25.54	0.746	-23.95	0.895	-24.86
	BA	1.051	-145.54	0.604	-142.64	0.723	-159.23	0.993	-137.60	0.675	-154.13
	CB	1.051	94.46	0.604	97.36	0.760	111.03	0.974	86.97	0.702	106.96

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$I_{T2(ВП)}$	A	0.531	-59.64	1.365	83.39	0.547	-174.44	0.899	33.88	0.531	124.49
	B	0.531	-179.64	1.365	-36.61	1.365	-36.61	0.531	-179.64	1.365	-36.61
	C	0.531	60.36	1.365	156.69	1.027	122.42	0.543	-113.39	0.880	154.67
$U_{T3ф(Г)}$	A	0.057	10.70	0.083	7.64	0.066	19.45	0.070	2.54	0.072	14.72
	B	0.057	-109.30	0.083	-112.36	0.083	-112.36	0.057	-109.30	0.083	-112.36
	C	0.057	130.70	0.083	127.64	0.063	119.41	0.072	134.98	0.070	122.82
$U_{T3(ВП)}$	A	1.007	7.10	1.235	6.52	1.074	12.19	1.122	3.35	1.128	10.04
	B	1.007	-112.90	1.235	-113.48	1.235	-113.48	1.007	-112.90	1.235	-113.48
	C	1.007	127.10	1.235	126.52	1.063	121.62	1.129	130.18	1.122	123.50
$I_{T3(ВП)}$	A	0.529	-22.31	2.004	-74.63	1.393	-26.23	1.098	-89.99	1.467	-47.06
	B	0.529	-142.31	2.004	165.37	2.004	165.37	0.529	-142.31	2.004	165.37
	C	0.529	97.69	2.004	45.37	0.698	9.04	1.482	73.59	1.098	31.16

Таблиця 2

## Усталені режими традиційної електричної частини енергоблока

Режим		Нормальний		K <sup>(3)</sup>		K <sup>(2)</sup>		K <sup>(1)</sup>		K <sup>(1,1)</sup>	
Величина	Фаза	Модуль	Аргумент	Модуль	Аргумент	Модуль	Аргумент	Модуль	Аргумент	Модуль	Аргумент
$U_{T1ф(С)}$	A	1.050	-29.53	0	–	1.050	-29.53	0	–	1.026	-29.53
	B	1.050	-149.53	0	–	0.525	150.47	1.038	-148.41	0	–
	C	1.050	90.47	0	–	0.525	150.47	1.038	89.36	0	–
$I_{T1(С)}$	A	0.848	-55.10	3.469	-105.64	0.848	-55.10	5.557	-110.42	1.876	37.95
	B	0.848	-175.10	3.469	134.36	3.343	159.74	2.615	-134.01	4.607	107.68
	C	0.848	64.90	3.469	14.36	2.691	-9.89	1.207	-120.48	5.188	32.27
	N	0	–	0	–	0	–	9.227	-118.25	9.437	61.75
$U_{T1(Г)}$	AC	0.998	-24.98	0.363	-16.99	0.998	-24.98	0.564	-21.48	0.776	-23.68
	BA	0.998	-144.98	0.363	-136.99	0.552	-170.59	0.925	-132.69	0.470	-162.02
	CB	0.998	95.02	0.363	103.01	0.626	125.16	0.892	83.41	0.527	119.96
$I_{T1(Г)}$	A	0.903	-25.36	3.688	-75.64	2.496	-27.19	2.046	-92.05	2.659	-48.40
$I_{T2(Г)}$	A	0.099	-44.55	0.036	-36.57	0.085	-62.45	0.072	-27.23	0.067	-57.75
	B	0.099	-164.55	0.036	-156.57	0.036	-156.57	0.099	-164.55	0.036	-156.57
	C	0.099	75.45	0.036	83.43	0.090	94.01	0.067	61.55	0.071	92.15
$U_{Гф}$	A	0.998	5.02	0.363	13.00	0.858	-12.88	0.719	22.34	0.675	-8.18
	B	0.998	-114.98	0.363	-107.00	0.363	-106.99	0.998	-114.98	0.363	-106.99
	C	0.998	125.02	0.363	133.00	0.907	143.59	0.677	111.13	0.716	141.73
$I_{Г}$	A	0.998	-27.24	3.716	-75.29	2.566	-28.29	2.077	-90.27	2.725	-48.63
	B	0.998	-147.24	3.716	164.71	3.716	164.71	0.998	-147.24	3.716	164.71
	C	0.998	92.76	3.716	44.71	1.346	10.14	2.751	72.03	2.077	30.86
$U_{ВПф}$	A	0.969	1.27	0.353	9.26	0.833	-16.63	0.698	18.59	0.655	-11.93
	B	0.969	-118.72	0.353	-110.74	0.353	-110.74	0.969	-118.73	0.353	-110.74
	C	0.969	121.27	0.353	129.26	0.881	139.84	0.657	107.38	0.695	137.98
$I_{ВП}$	A	0.968	-44.29	0.353	-36.31	0.833	-62.19	0.698	-26.98	0.655	-57.50
	B	0.968	-164.29	0.353	-156.31	0.353	-156.31	0.969	-164.29	0.353	-156.31
	C	0.968	75.71	0.353	83.69	0.881	94.27	0.657	61.81	0.695	92.41

Аналіз даних табл. 3 і 4 показує, що рівень несиметрії фазних напруг і струмів генератора в обох схемах практично однаковий і для напруги генератора становить орієнтовно від 20 % (для  $K^{(1,1)}$ ) до 30 % (для  $K^{(2)}$ ), тобто є недопустимо великим. Поряд з цим, якщо у традиційній схемі

рівень несиметрії фазних напруг на шинах РУВП є практично таким самим недопустимо великим, то у схемі з ДРТВП рівень несиметрії цих напруг є набагато нижчим і становить від 5,4 % (для  $K^{(2)}$ ) до 3,5 % (для  $K^{(1,1)}$ ). Це означає, що схемі ЕБ з ДРТВП притаманна природна симетрувальна властивість щодо напруги на шинах РУВП під час зовнішніх несиметричних к.з.

Таблиця 3

**Симетричні складові під час несиметричних к.з. у схемі з ДРТВП**

Режими к.з.		$K^{(2)}$		$K^{(1)}$		$K^{(1,1)}$	
Величина	Складова	Модуль	Аргумент	Модуль	Аргумент	Модуль	Аргумент
$U_{\Gamma}$	пряма	0.709	7.75	0.803	6.92	0.607	8.94
	обернена	0.295	-59.316	0.201	120.68	0.192	-59.30
$I_{\Gamma}$	пряма	2.085	-63.38	1.68	-56.60	2.549	-68.24
	обернена	1.448	31.23	0.986	-148.80	0.944	31.22
$U_{ВП}$	пряма	0.952	5.05	0.969	4.89	0.933	5.23
	обернена	0.054	-64.25	0.037	115.98	0.035	-64.22

Таблиця 4

**Симетричні складові під час несиметричних к.з. у традиційній схемі**

Режими к.з.		$K^{(2)}$		$K^{(1)}$		$K^{(1,1)}$	
Величина	Складова	Модуль	Аргумент	Модуль	Аргумент	Модуль	Аргумент
$U_{\Gamma}$	пряма	0.679	7.15	0.781	6.28	0.568	8.46
	обернена	0.32	-59.48	0.218	120.55	0.209	-59.50
$I_{\Gamma}$	пряма	2.223	-65.68	1.775	-59.29	2.695	-56.41
	обернена	1.569	31.04	1.069	-148.97	0.908	70.03
$U_{ВП}$	пряма	0.66	3.40	0.758	2.53	0.552	4.71
	обернена	0.311	-63.26	0.212	116.78	0.202	-63.28

**Висновки.** 1. Застосування додаткового робочого трансформатора власних потреб, який працює в режимі заданого навантаженням генератора струму, забезпечує під час зовнішніх симетричних і несиметричних к.з. рівень фазних напруг на шинах РУВП, достатній для нормальної роботи електроприймачів ВП впродовж часу існування таких к.з.

2. Схемі електричної частини енергоблока з додатковим робочим трансформатором власних потреб притаманна природна симетрувальна властивість щодо фазних напруг на шинах розподільної устави власних потреб і тому під час зовнішніх несиметричних к.з. несиметрія фазних напруг на шинах РУВП є порівняно малою.

3. Режими зовнішніх к.з. у схемі з ДРТВП, порівняно з традиційною, характеризуються вищим рівнем залишкових напруг та нижчим рівнем струмів елементів електричної частини енергоблока, що підвищує надійність його роботи.

1. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж: Правила. – К.: ОЕП “ГРІФРЕ”, 2003. – С. 598. (ТДК 34.20.507-2003). 2. Патент 39640 А. Система електропостачання власних потреб енергоблоку електростанції / Г.М. Лисяк, А.А. Маліновський, Л.О. Никонець. – 2001. – Бюл. № 5. 3. Лисяк Г.М., Маліновський А.А., Пастух О.Р. Методика вибору основних параметрів схеми підвищеної надійності блочних електростанцій з умови підтримання бажаного рівня напруги на шинах власних потреб під час зовнішніх трифазних коротких замикань // Технічна електродинаміка. – 2000. – № 4. – С. 51–55. 4. Лисяк Г.М., Пастух О.Р. Оцінка рівнів напруг під час усталених режимів енергоблоків з додатковим робочим трансформатором власних потреб // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2008. – № 615. – С. 58–64. 5. Ravlyk A. Digital complex for modeling of transient processes in electric circuits / A.Ravlyk, T.Grechyn. // Metody Matematyczne w

