

У разі збільшення кроку числового інтегрування до величини, що відповідає 16 точкам на період метод Рунге-Кутта втрачає працездатність (втрачається числова стійкість), у той час як метод середньокрокових напруг забезпечує прийнятну точність (похибка до 8 %) навіть при кроках, що відповідають 5 точкам на період. Зауважимо, однак, що у разі розрахунку з таким кроком числового інтегрування, втрачається інформація про миттєві значення змінних статора генератора.

Висновки

Результати дослідження електромеханічної системи з синхронною машиною свідчать про переваги використання методу середньокрокових напруг з погляду швидкодії і стійкості розрахунку. Зокрема: під час використання методу числового інтегрування Адамса четвертого порядку значні (до 50 %) похибки розрахунку проявляються вже при кроках, що відповідають дискретності 25 точок за період; у разі використання методу Рунге-Кутта другого порядку значні похибки з'являються при кроках, що відповідають дискретності 16 точок за період; метод середньокрокових напруг забезпечує прийнятну (з похибкою до 8 %) точність розрахунку навіть при кроках, що відповідають дискретності 5 точок за період.

У разі розрахунку електромеханічної системи з синхронною машиною з кроком числового інтегрування, що відповідає дискретності 200 точок за період, всі розглянуті методи дають практично однаковий результат.

1. Плахтина О.Г. Числовий однокроковий метод аналізу електричних кіл і його застосування в задачах електромеханіки // Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – № 30. – С. 223–225. 2. Кузнецов О.О. Математична модель асинхронного електроприводу зі збудженням потужністю ковзання / О.О. Кузнецов // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2009. – № 653: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 109–113 3. Плахтына Е.Г. Математическое моделирование электромашинно-вентильных систем / Е.Г. Плахтына. – Л.: Вища шк., 1986. – 161 с.

УДК 621.311.2

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

ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС ЗОВНІШНІХ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ ЕНЕРГОБЛОКА З ДОДАТКОВИМ РОБОЧИМ ТРАНСФОРМАТОРОМ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

© Лисяк Г.М., Пастух О.Р., Равлик О.М., 2010

Проаналізовано зміну координат режиму енергоблока з турбогенератором ТГВ-200М та з додатковим робочим трансформатором власних потреб під час зовнішніх коротких замикань.

The analysis of varying performance parameters of power unit with turbogenerator ТГВ-200М consisting additional working auxiliary transformer under internal short circuits is carried out.

Постановка проблеми

Однією з важливих задач забезпечення надійного живлення електроприймачів власних потреб (ВП) електростанцій (ЕС) є розроблення нових схем електричної частини енергоблоків (ЕБ) та аналіз перехідних процесів під час їх аварійних режимів.

Аналіз останніх досліджень

У [1] зазначено, що з метою запобігання перервам живлення електроприймачів ВП і зменшення їхньої тривалості під час аварійних режимів у традиційних схемах ЕБ з одним робочим трансформатором власних потреб (РТВП) застосовують системи резервного живлення. До таких аварійних режимів належать і режими зовнішніх стосовно ЕБ коротких замикань (к.з.). У [2] показано, що застосування додаткового робочого трансформатора власних потреб (ДРТВП), який працює в режимі заданого навантаженням ЕБ струму [3], забезпечує під час зовнішніх к.з. усталені значення напруги на шинах розподільних устав власних потреб (РУВП) першого ступеня трансформації достатні для роботи електроприймачів ВП. Однак сам перебіг таких процесів досліджено не було.

Мета роботи

Аналіз електромагнітних перехідних процесів енергоблока з додатковим робочим трансформатором власних потреб під час зовнішніх симетричних і несиметричних коротких замикань.

Виклад основного матеріалу

Відомо, що для ЕБ з традиційними схемами електричної частини під час невіддалених коротких замикань, коли еквівалентний опір між генератором і місцем к.з. є меншим за певне критичне значення, напруга у вузлах прилеглої електричної мережі, зокрема й на шинах генератора і РУВП першого ступеня трансформації істотно знижується навіть за дії АРЗ генератора. У деяких випадках, коли таке зниження напруги є глибоким і тривалим, виникає небезпека порушення нормальної роботи електроприймачів і механізмів ВП ЕБ з подальшим розвитком аварійного режиму аж до вимушеного вимкнення ЕБ.

Нижче буде показано, що для ЕБ з ДРТВП, принципова схема електричної частини якого наведена на рис. 1, а, природною властивістю є підтримання впродовж часу існування на шинах розподільної уставу (РУ) зовнішніх к.з. напруги на шинах РУВП, достатньої для роботи електроприймачів і механізмів власних потреб. Тут Т1 – блоковий трансформатор (БТ), Т2 – робочий трансформатор власних потреб (РТВП), Т3 – додатковий робочий трансформатор власних потреб (ДРТВП), $K^{()}$ – місце зовнішнього к.з., а інші позначення є загальноприйнятими.

Математичне і цифрове моделювання електромагнітних перехідних процесів здійснювалося з використанням програмного комплексу [4] за розрахунковою трифазною електромагнітною схемою електричної частини такого ЕБ, наведеною на рис. 1, б, де враховані відповідні схеми і групи з'єднання обмоток трансформаторів Т1, Т2, Т3 і вебер-амперні характеристики гілок їхніх магнітних систем МС1, МС2, МС3 відповідно.

Дослідження проводили для ЕБ з турбогенератором ТГВ-200М, параметри елементів якого наведені в [2]. Номінальні міжфазні напруги: генератор Г – 15,75 кВ; РУВП – 6 кВ; електроенергосистема С – 220 кВ.

Умови і припущення під час математичних експериментів:

1. Застосована кусково-лінійна апроксимація нелінійних вебер-амперних характеристик стрижнів магнітопроводів трансформаторів Т1, Т2 і Т3. При цьому параметри гілок, які відображають магнітні системи за межами їх магнітопроводів, прийнято лінійними.

2. До виникнення к.з. в точці $K^{()}$ на шинах РУ з боку обмотки вищої напруги блокового трансформатора Т1 енергоблок працював у нормальному режимі з координатами, близькими до їхніх номінальних значень.

3. Вид к.з. моделювався увімкненням в заданий момент часу відповідних ключів.

4. Розраховували електромагнітні процеси для трифазного $K^{(3)}$, двофазного $K^{(2)}$, однофазного $K^{(1)}$ і двофазного на землю $K^{(1,1)}$ коротких замикань. При цьому, в усіх експериментах прийнято, що к.з. виникають під час переходу через нуль (від додатних до від'ємних значень) струму фази А обмотки вищої напруги блокового трансформатора Т1. Цей момент відповідає часу $t_K = 0,0229$ с від початку ($t = 0$) розрахунку електромагнітного процесу усталеного до аварійного режиму.

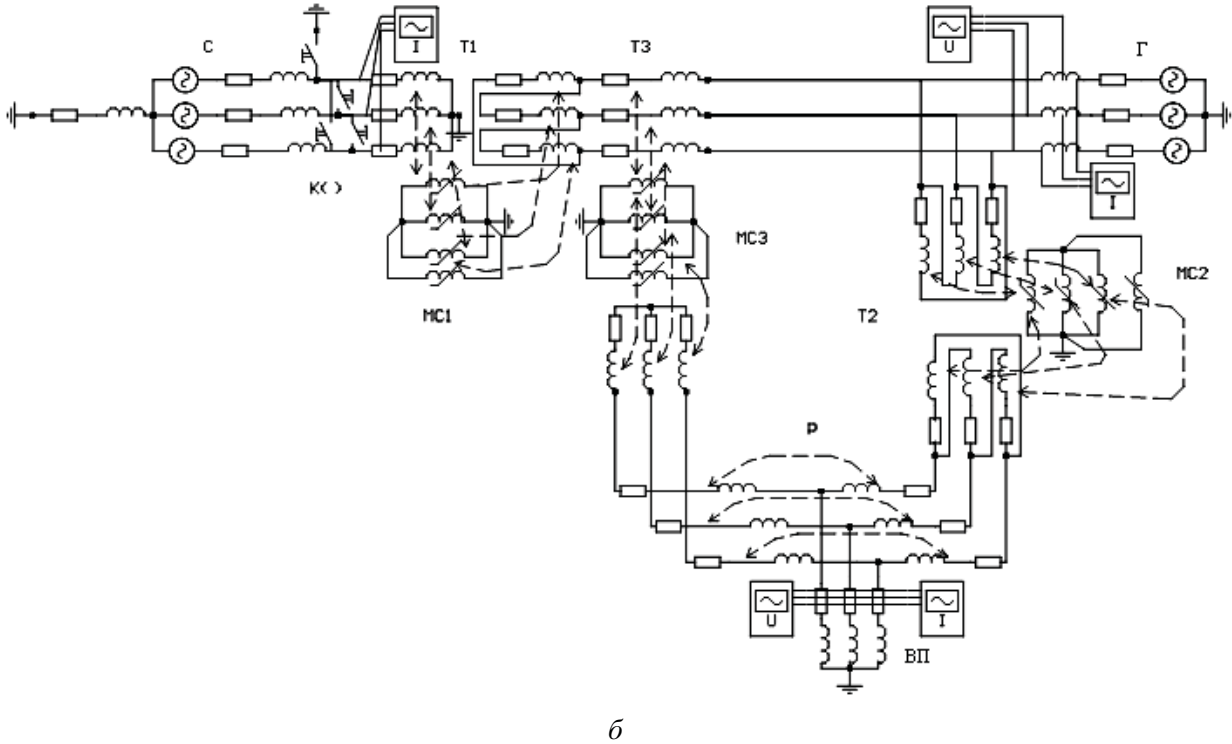
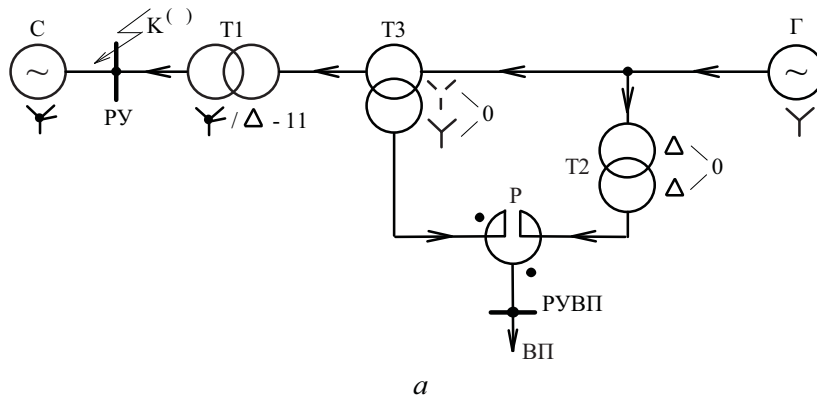


Рис. 1. Електрична частина енергоблока електростанції з додатковим робочим трансформатором власних потреб:
 а – принципова схема; б – розрахункова трифазна електромагнітна схема для математичного і цифрового моделювання

5. У цій роботі, згідно з показаними на рис. 1, б приладами, осцилографувались такі координати режиму ($i = A, B, C$): $\vec{i}_{T1B} = \{i_{T1Bi}\}$ – струми фаз обмотки вищої напруги блокового трансформатора Т1, тобто до місця к.з.; $\vec{u}_\Gamma = \{u_{\Gamma i}\}$ – фазні напруги на виводах генератора Г; $\vec{i}_\Gamma = \{i_{\Gamma i}\}$ – струми фаз генератора Г; $\vec{u}_{ВП} = \{u_{ВПi}\}$ – фазні напруги на РУВП; $\vec{i}_{ВП} = \{i_{ВПi}\}$ – струми фаз навантаження ВП.

6. Враховуючи, що результати розрахунків – це зміна в часі миттєвих значень координат режиму, для порівняльної кількісної оцінки їх максимальних значень доцільно користуватися відповідними амплітудними номінальними значеннями, а саме: $I_{T1B\text{ном}} \approx 0,843 \text{ кА}$; $U_{\Gamma\text{мф.ном}} \approx 12,860 \text{ кВ}$; $I_{\Gamma\text{мф.ном}} \approx 12,196 \text{ кА}$; $U_{ВП\text{мф.ном}} \approx 4,899 \text{ кВ}$.

Основні результати математичних експериментів наведені на: рис. 2 – режим трифазного к.з. $K^{(3)}$; рис. 3 – режим двофазного к.з. $K^{(2)}$; рис. 4 – режим однофазного к.з. $K^{(1)}$; рис. 5 – режим

двофазного к.з. на землю $K^{(1,1)}$. На рисунках значення струмів вказані в [А], а напруг – у [В]. Аналіз цих осцилограм показав таке.

Як вже зазначалося, до виникнення к.з. енергоблок працював у нормальному режимі з координатами, близькими до відповідних номінальних значень:

$$I_{T1Bm} = 0,716 \text{ кА (рис. 2-5, а); } U_{Гm\phi} = 12,9 \text{ кВ (рис. 2-5, б);}$$

$$I_{Гm} = 12,12 \text{ кА (рис. 2-5, в); } U_{ВПm\phi} = 4,919 \text{ кВ (рис. 2-5, г).}$$

Струм в обмотці вищої напруги Т1 набуває найбільшого миттєвого значення за модулем (7,967 кА) під час однофазного к.з. у пошкодженій фазі А (рис. 4, а) і найменшого (3,79 кА) – під час двофазного к.з. між фазами А і В (рис. 3, а). Як відомо, це зумовлено з'єднанням обмотки нижчої напруги Т1 за схемою трикутника та, як наслідок, істотно меншим значенням опору нульової послідовності енергоблока відносно місця к.з. порівняно з опором прямої послідовності. Таким з'єднанням обмотки нижчої напруги Т1 пояснюється й відсутність складових нульової послідовності у струмах обмотки статора генератора Г. Саме тому струм генератора набуває найбільшого миттєвого значення за модулем (76,22 кА) під час трифазного к.з. (рис. 2, б) і найменшого (50,139 кА) – під час однофазного к.з. фази А (рис. 4, в).

У загальному випадку струми фаз генератора містять значні аперіодичні складові, а у напругах на виводах фаз генератора аперіодичні складові практично відсутні, оскільки активний опір обмотки статора генератора набагато менший за її перехідний індуктивний опір.

Найменше, майже у три рази, зниження фазних напруг генератора має місце під час трифазного к.з. (рис. 2, б). Під час несиметричних к.з. спостерігається, окрім істотного зменшення, також і значна несиметрія фазних напруг генератора (рис. 3-5, б).

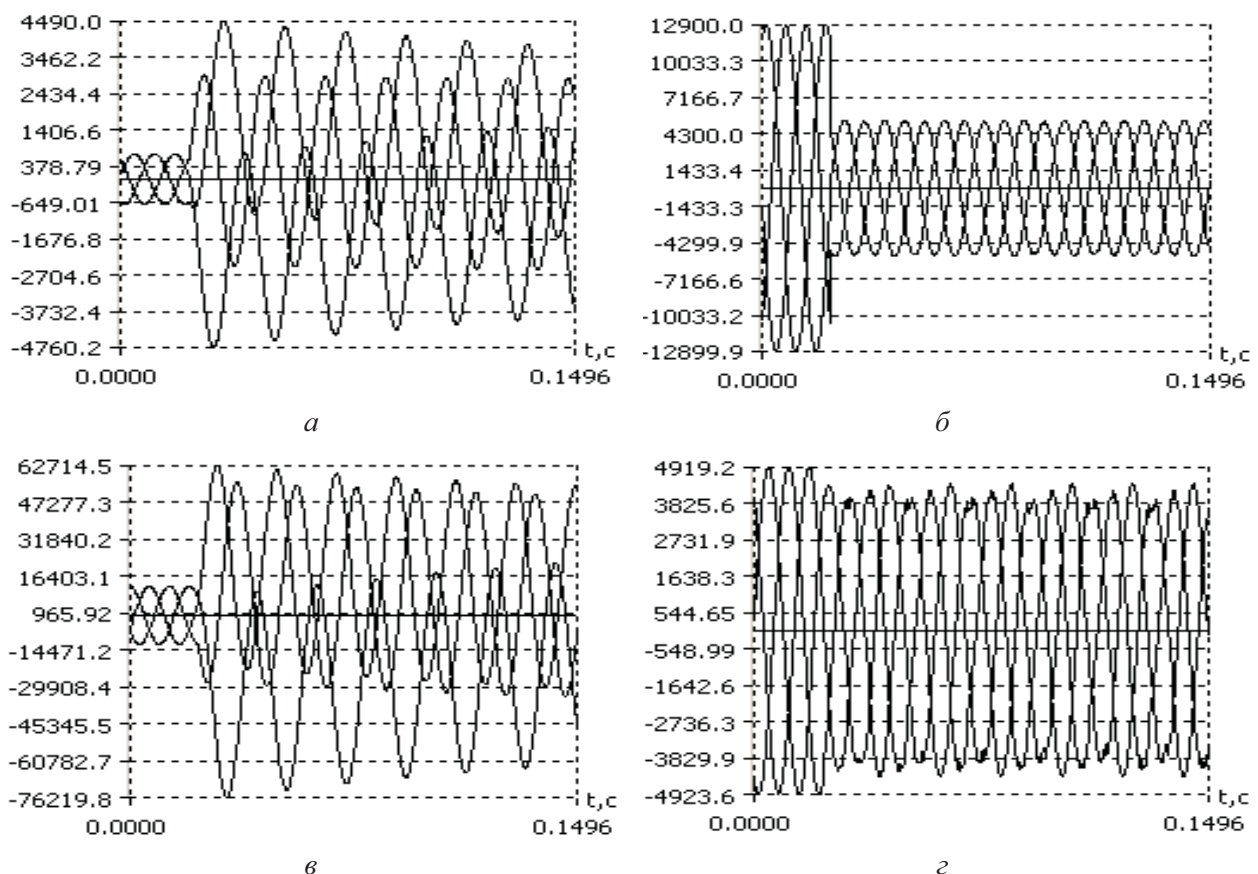


Рис. 2. Трифазне к.з. $K^{(3)}$:
а – \vec{i}_{T1B} ; б – $\vec{u}_{Г}$; в – $\vec{i}_{Г}$; г – $\vec{u}_{ВП}$

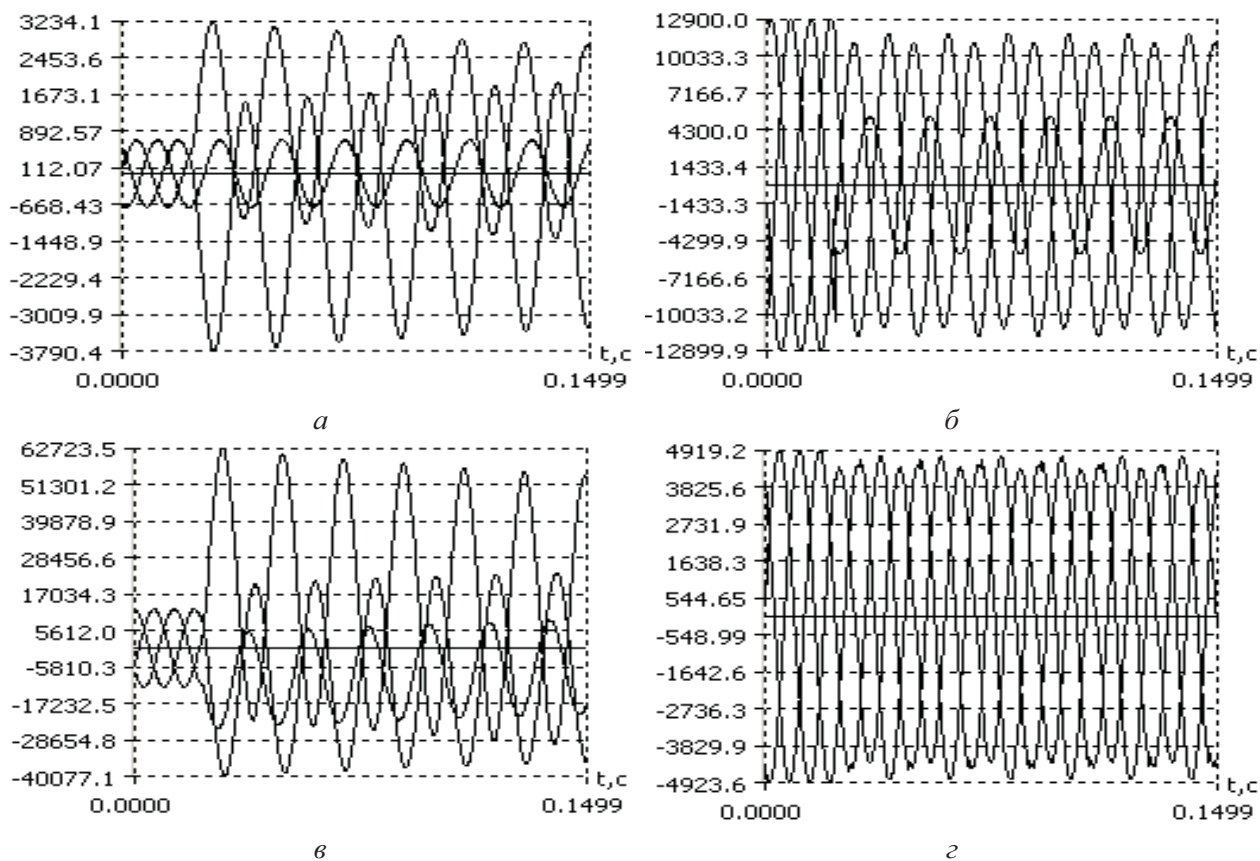


Рис. 3. Двофазне к.з. $K^{(2)}$: а – \vec{i}_{T1B} ; б – \vec{u}_T ; в – \vec{i}_T ; г – $\vec{u}_{BП}$

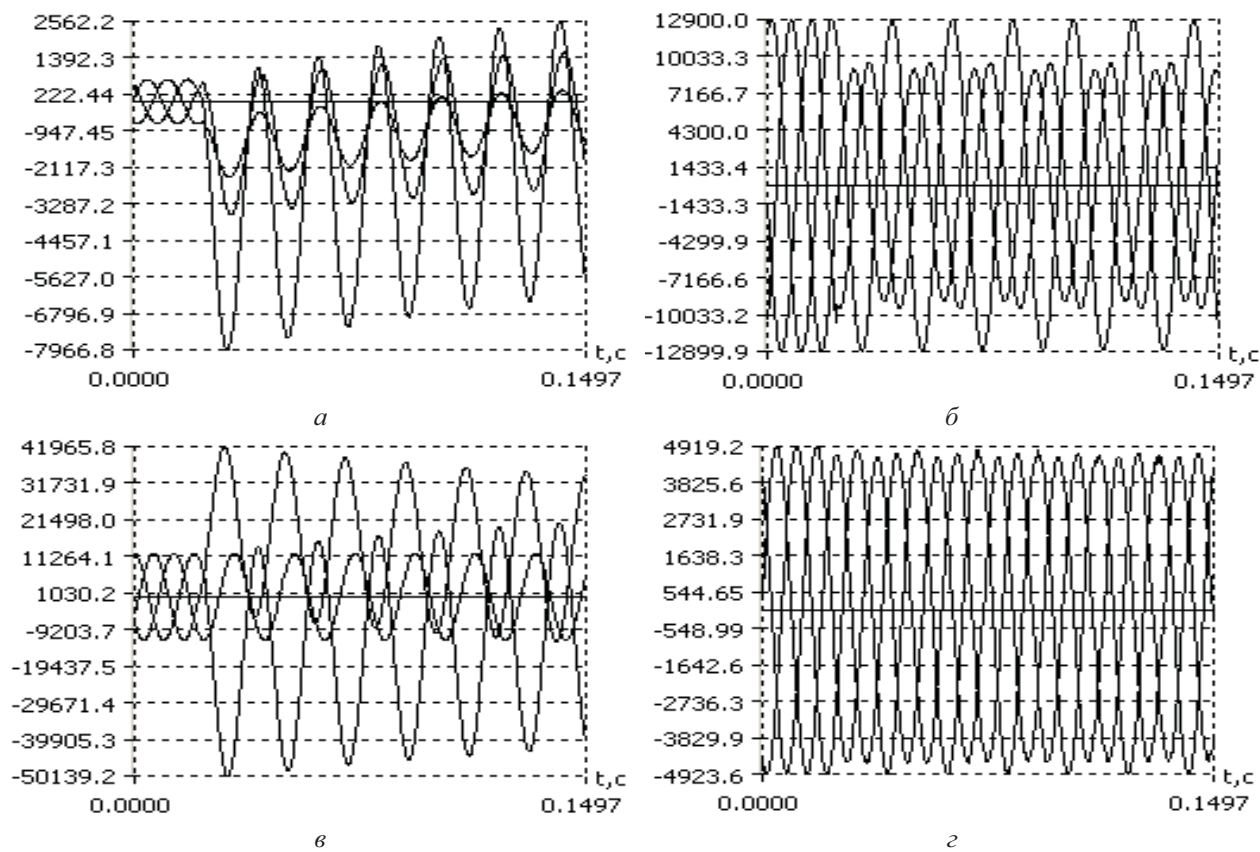


Рис. 4. Однофазне к.з. $K^{(1)}$: а – \vec{i}_{T1B} ; б – \vec{u}_T ; в – \vec{i}_T ; г – $\vec{u}_{BП}$

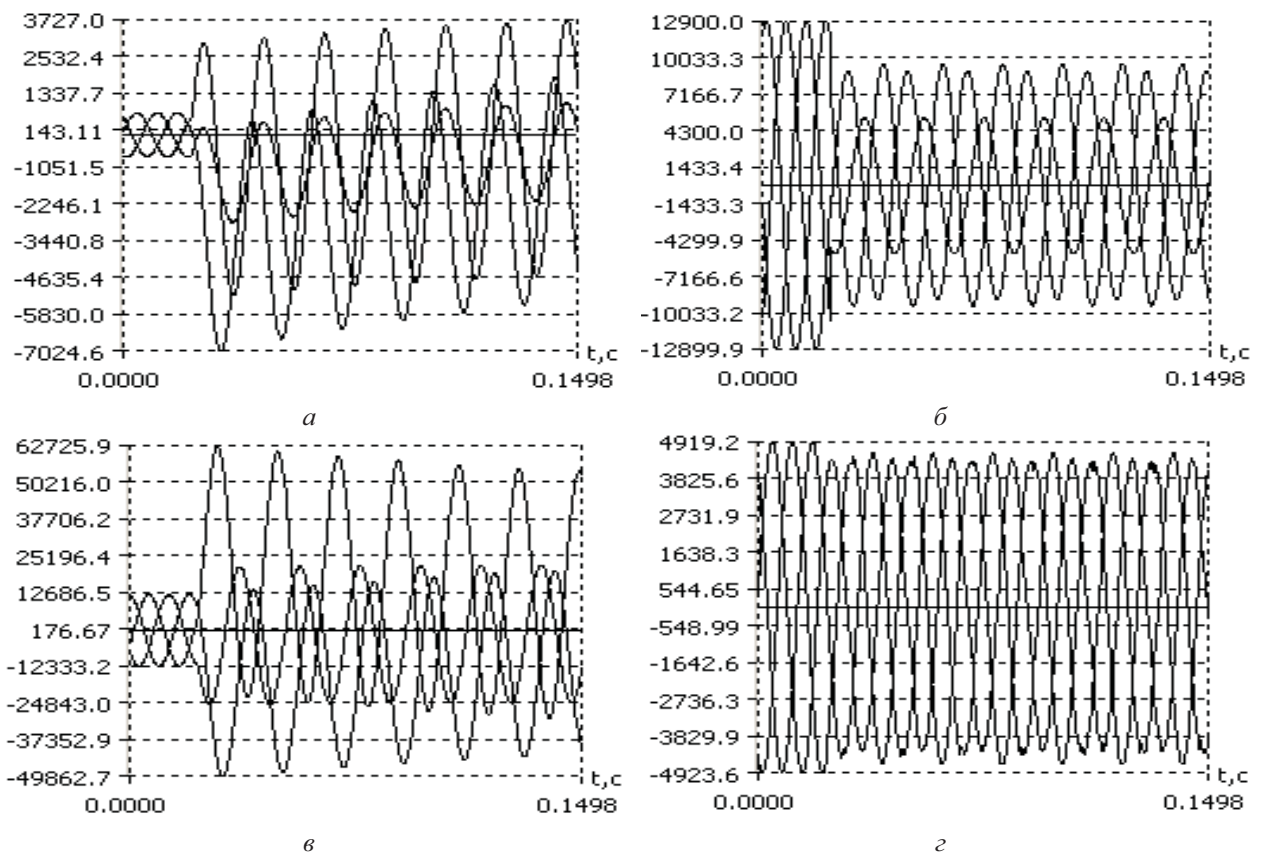


Рис. 5. Двофазне к.з. на землю $K^{(1,1)}$:

$a - \vec{i}_{T1B}$; $б - \vec{u}_T$; $в - \vec{i}_T$; $г - \vec{u}_{ВП}$

До того ж несиметрія фазних напруг на шинах РУВП є незначною (рис. 2–5, $г$), а їхній рівень не зменшується нижче $0,85U_{ном}$ під час трифазного к.з. (рис. 2, $г$) та $0,9-0,95U_{ном}$ під час несиметричних к.з. (рис. 3–5, $г$), тобто забезпечується робота електроприймачів та механізмів ВП енергоблока.

Висновки

Схема живлення власних потреб енергоблока, яка містить додатковий робочий трансформатор власних потреб, забезпечує, на відміну від традиційних схем, протягом часу існування перехідного процесу під час зовнішніх як симетричних, так і несиметричних к.з. рівень і симетрію фазних напруг, достатні для роботи електроприймачів і механізмів власних потреб.

1. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж: Правила. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2003. – С. 598. (ТДК 34.20.507-2003). 2. Лисяк Г.М., Пастух О.Р., Равлик О.М. Режими зовнішніх коротких замикань енергоблока з додатковим робочим трансформатором власних потреб // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2009. – № 654. – С. 125–132. 3. Патент 39640 А. Система електропостачання власних потреб енергоблоку електростанції / Г.М. Лисяк, А.А. Маліновський, Л.О. Никонець. – 2001. – Бюл. № 5. 4. Ravlyk A. Digital complex for modeling of transient processes in electric circuits / A. Ravlyk, T. Grechyn. // Metody Matematyczne w elektroenergetyce: III Sympozjum. – Zakopane, Polska. – 1993. – P. 17–20.