

УДК 623.592:621.362.2

Ю.О. Гунченко<sup>1</sup>, С.В. Ленков<sup>2</sup>, С.А. Шворов<sup>3</sup>, П.А. Шкуліпа<sup>4</sup><sup>1</sup>Одеський національний політехнічний університет, Одеса<sup>2</sup>Військовий інститут Київського національного університету ім. Т. Шевченка, Київ<sup>3</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ<sup>4</sup>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса

## КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДСИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТРЕНАЖНИХ СИСТЕМ З ПІДВИЩЕНИМИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Для складних відповідальних тренажних систем запропоновано модульну систему електроживлення, яка складається з  $N$  ідентичних силових каналів (СК), що під'єднані до декількох джерел первинного електроживлення. Отримано математичну модель модульного імпульсного перетворювача з гранично-розривним режимом функціонування, яка враховує неідентичності напруг джерел живлення силових каналів для основних структур і систем управління для контролю технічного стану підсистем електроживлення.

**Ключові слова:** тренажна система, тренажер, модульна система електроживлення, силовий канал, граничний режим, електричні параметри.

### Вступ

У сучасних умовах навчання фахівців різних напрямків все частіше і активніше використовуються тренажні системи підготовки [1]. При цьому у таких напрямках, як військові та спеціальні операції, керування космічними, повітряними, морськими апаратами, ядерні дослідження – без тренажерів обійтися просто неможливо. Сучасні тренажні системи представляють собою складні дорого вартісні комплекси, які включають до свого складу електротехнічні, механічні об'єкти, пристрої і мережі телекомунікації, комп'ютерні системи [2, 3]. Всі ці різноманітні по тактико-технічним характеристикам системи та пристрої потребують якісного і надійного електроживлення, відмова будь якого елемента призведе до невиконання програми навчання і, як слід, величезним часовим та грошовим втратам. Слід зазначити, що надійність системи принципово не може бути вище надійності підсистеми електроживлення [4 – 6]. Тому до систем електроживлення складних й відповідальних тренажних систем необхідно застосовувати додаткові вимоги: підвищення до заданого рівня надійності, необхідні масогабаритні та технічні характеристики.

У публікації пропонується застосування модульних імпульсних перетворювачів напруги, які паралельно працюють на одне навантаження, але від різних первинних джерел живлення, що дає змогу додатково підвищити надійність й забезпечити безперервність електроживлення як при виході зі строю одного з перетворювачів, так й одного з первинних джерел.

Кількість силових каналів (СК)  $N$  (рис. 1, де ДПЖ<sub>1</sub> – ДПЖ<sub>М</sub> – джерела первинного електроживлення, СК<sub>1</sub>, СК<sub>2</sub>,... СК<sub>к</sub>,... СК<sub>Н</sub> – відповідно 1-й, 2-й,... к-й,... N-й силові канали, СУ – система управління,  $U_{пн}$  – напруга живлення СК,  $U_{н}$  – напруга навантажен-

ня СК) обирається із умов надійності, якості, масогабаритних, динамічних показників, коефіцієнта корисної дії [4]. Додатково зменшити динамічні втрати за рахунок переключення силових ключів – включенні транзисторного і вимкнення діодного ключів при нульовому струмі, поліпшити динамічні показники можливо при граничному чи розривному режимі струму дроселя [5].

**Аналіз досліджень і публікацій.** У відомих роботах [4 – 6] отримано математичні моделі і описано електричні процеси як в одному силовому каналі так і в модульному перетворювачі в цілому при ідентичних параметрах елементів і рівних напругах джерел живлення для СК що понижують (рис. 2, а), підвищують (рис. 2, б) та інвертують (рис. 2, в). В той же час, відомі випадки роботи СК від окремих джерел живлення, що призводить до асиметрії електричних процесів.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є аналіз електричних параметрів і процесів модульних перетворювачів постійної напруги з гранично-розривним режимом функціонування при неідентичності напруг живлення  $U_{пн}$  силових каналів та створення методики розрахунку для контролю технічного стану електроживлення тренажерних систем.

Регулювання струму дроселя  $i_{Lk}(t)$ , шляхом зміни тривалості регулюючих імпульсів ( $t_{нк} = var$ ) и

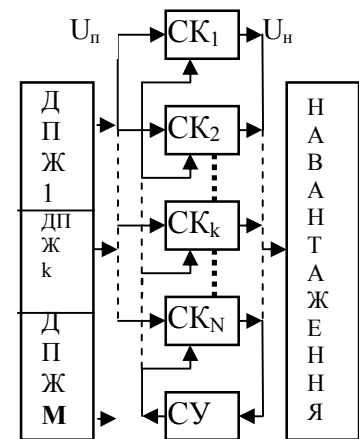


Рис. 1. Структура модульного ППН

частоти перетворення ( $f_k = 1/T_k = \text{var}$ ), дозволяє регулювати напругу навантаження  $U_n$  при гарантова-

ному граничному чи розривному режимах у всьому діапазоні регулювання.

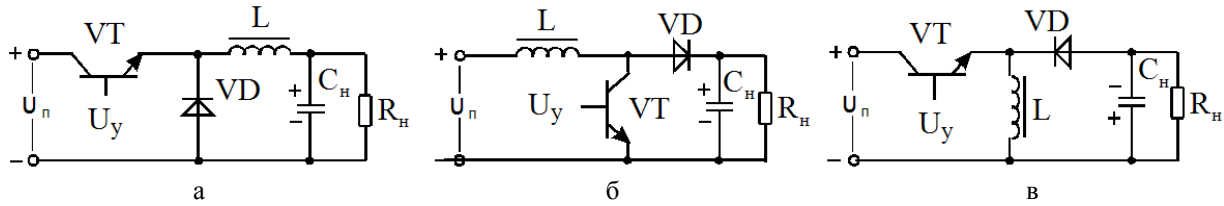


Рис. 2. Схеми силових каналів: а – понижуючої; б – підвищуючої; в – інвертуючої структур

### Математична модель

В принципі, можлива різна реалізація систем управління (СУ) [4, 5], в наслідок чого електричні процеси в СК будуть також різні. Багато систем управління модульних ППН з граничним і розривним режимом функціонування можливо звести к трьом основним типам (по електричним процесам в силових каналах) [4, 6]:

1. СУ з розподіленням одного імпульсу управління на всі СК, при необхідності з відповідним зсувом (СУ<sub>1</sub>) ( $t_{nk} = t_{n1}$ );

2. СУ з незалежним формуванням імпульсів управління в кожному СК і з негативним зворотним зв'язком по струму навантаження в каналах (СУ<sub>2</sub>) ( $I_{ncpk} = I_{ncp1}$ );

3. СУ з струмковим регулюванням в СК (СУ<sub>3</sub>) ( $I_{mk} = I_{m1}$ ).

Визначимо відношення амплітудних (індекс  $m$ ), середніх (індекс<sub>ср</sub>), діючих (без індексу) значень струмів в елементах любых двох СК – дроселях  $I_{mk}$ ,  $I_{Lcpk}$ ,  $I_{Lk}$ , транзисторах  $I_{mk}$ ,  $I_{VTcpk}$ ,  $I_{VTk}$ , діодах  $I_{mk}$ ,  $I_{VDcpk}$ ,  $I_{VDk}$ . Для зручності аналізу и записи будемо порівнювати струми любого k-го СК с 1-им СК, в якому гарантовано спостерігається граничний режим функціонування. Додаткове допущення – всі СК функціонують з однаковою частотою перетворення. При цьому будемо вважати, що параметри елементів СК ідентичні, зокрема індуктивності в каналах рівні  $L_k = L_1$ . Такі процеси виникають в модульних перетворювачах при живленні СК від різних джерел живлення (рис. 1 при  $U_{дпжк} \neq U_{дпж1}$ ).

При СУ<sub>1</sub> виконується умова

$$t_{nk} = t_{n1}, \tag{1}$$

де  $t_{n1}$ ,  $t_{nk}$  – відповідно час накопичення енергії в 1-ом и k-ом каналах.

З врахуванням гранично-розривного режиму, амплітуду струмів  $I_{mk}$  для любого k-го каналу будь якої структури (понижуючої, підвищуючої, інвертуючої) можливо записати на інтервалах відповідно накопичення і звороту:

$$I_{mk} = \frac{1}{L_k} \int_0^{t_{nk}} u_{L_{nk}}(t) dt = \frac{1}{L_k} \int_0^{t_{bk}} u_{L_{bk}}(t) dt =$$

$$= \frac{1}{L_k} U_{L_{nk}} K_{nk} T_k = \frac{1}{L_k} U_{L_{bk}} K_{bk} T_k, \tag{2}$$

де  $U_{L_{nk}}$ ,  $U_{L_{bk}}$  – напруга, що прикладається до дроселю k-го СК відповідно на інтервалах накопичення  $t_{nk}$  и звороту  $t_{bk}$ ;  $L_k$  – індуктивність дроселя k-го каналу;  $T_k$  – період перетворення;  $K_{nk} = t_{nk} / T_k$ ,  $K_{bk} = t_{bk} / T_k$  – коефіцієнти накопичення і звороту k-го каналу. Для понижуючої структури на інтервалах накопичення і звороту напруги, що прикладаються до індуктивностей каналів, визначаються:

$$\begin{aligned} U_{L_{n1}} &= U_{n1} - U_n, & U_{L_{nk}} &= U_{nk} - U_n; \\ U_{L_{b1}} &= -U_n, & U_{L_{bk}} &= -U_n, \end{aligned} \tag{3}$$

де  $U_{L_{n1}}$ ,  $U_{L_{nk}}$  – напруги, що прикладаються до дроселів 1-го та k-го СК на інтервалі накопичення енергії  $K_{n1}$  та  $K_{nk}$ ;  $U_{L_{b1}}$ ,  $U_{L_{bk}}$  – напруги, що прикладаються до дроселів 1-го та k-го СК на інтервалі звороту енергії  $K_{b1}$  та  $K_{bk}$ ;  $U_{n1}$ ,  $U_{nk}$  – напруги живлення 1-го та k-го силових каналів;  $U_i$  – напруга загального навантаження каналів. Для структури, що підвищує, напруга, що прикладається до дроселів на інтервалі накопичення і звороту:

$$\begin{aligned} U_{L_{n1}} &= U_{n1}, & U_{L_{nk}} &= U_{nk}; \\ U_{L_{b1}} &= U_n - U_{n1}, & U_{L_{bk}} &= U_n - U_{nk}. \end{aligned} \tag{4}$$

Для інвертуючої структури напруга, що прикладається до дроселів на інтервалі накопичення і звороту:

$$U_{L_{n1}} = U_{n1}, \quad U_{L_{nk}} = U_{nk}; \quad U_{L_{b1}} = U_n, \quad U_{L_{bk}} = U_n. \tag{5}$$

При підстановці (3) в (2) для понижуючої структури, (4) в (2) для підвищуючої та (5) в (2) для інвертуючої структур і, припускаючи рівність індуктивностей в силових каналах  $L_k = L_1$  отримаємо значення амплітудних значень струмів елементів каналів і значень коефіцієнтів звороту:

– для понижуючої структури:

$$I_{mk} = I_{m1} \frac{U_{nk} - U_n}{U_{n1} - U_n}; \quad K_{bk} = K_{b1} \frac{U_{nk} - U_n}{U_{n1} - U_n}; \tag{6}$$

– для структури, що підвищує:

$$I_{mk} = I_{m1} \frac{U_{nk}}{U_{n1}}; \quad K_{bk} = K_{b1} \frac{U_{nk}(U_n - U_{n1})}{U_{n1}(U_n - U_{nk})}; \tag{7}$$

– для структури, що інвертує:

$$I_{m_k} = I_{m_1} \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}}; \quad K_{B_k} = K_{B_1} \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}}. \quad (8)$$

Середні і діючі струми прямо пропорційні амплітудному значенню і коефіцієнтам накопичення чи звороту [2, 4]:

$$I_{L_{cpk}} = \frac{1}{2} I_{m_k} (K_{H_k} + K_{B_k}); \quad I_{VT_{cpk}} = \frac{1}{2} I_{m_k} K_{H_k};$$

$$I_{VD_{cpk}} = \frac{1}{2} I_{m_k} K_{B_k}; \quad I_{L_k} = \frac{I_{m_k}}{\sqrt{3}} (\sqrt{K_{H_k}} + \sqrt{K_{B_k}}); \quad (9)$$

$$I_{VT_k} = I_{m_k} \sqrt{K_{H_k}/3}; \quad I_{VD_k} = I_{m_k} \sqrt{K_{B_k}/3}$$

Підставляючи значення (6), (7), (8) відповідно для структур, що понижує, підвищує, інвертує в (9) визначимо співвідношення значень середніх і діючих струмів в елементах каналів:

– для структури, що понижує:

$$I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cpl}} \frac{U_{n_k} - U_H}{U_{n_1} - U_H}; \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cpl}} \left( \frac{U_{n_k} - U_H}{U_{n_1} - U_H} \right)^2;$$

$$I_{L_{cpk}} = I_{VT_{cpk}} + I_{VD_{cpk}}; \quad I_{L_k} = I_{VT_k} + I_{VD_k}; \quad (10)$$

$$I_{VD_k} = I_{VD_1} \left( \frac{U_{n_k} - U_H}{U_{n_1} - U_H} \right)^{3/2}; \quad I_{VT_k} = I_{VT_1} \frac{U_{n_k} - U_H}{U_{n_1} - U_H};$$

– для структури, що підвищує:

$$I_{L_{cpk}} = I_{VT_{cpk}} + I_{VD_{cpk}}; \quad I_{VT_k} = I_{VT_1} \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}}; \quad I_{VT_{cpk}} =$$

$$= I_{VT_{cpl}} \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}}; \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cpl}} \left( \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}} \right)^2 \frac{U_H - U_{n_1}}{U_H - U_{n_k}}; \quad (11)$$

$$I_{VD_k} = I_{VD_1} \sqrt{\left( \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}} \right)^3 \frac{U_H - U_{n_1}}{U_H - U_{n_k}}}; \quad I_{L_k} = I_{VT_k} + I_{VD_k};$$

– для структури, що інвертує:

$$I_{VD_k} = I_{VD_1} \left( \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}} \right)^{3/2}; \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cpl}} \left( \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}} \right)^2;$$

$$I_{L_{cpk}} = I_{VT_{cpk}} + I_{VD_{cpk}}; \quad I_{L_k} = I_{VT_k} + I_{VD_k}; \quad (12)$$

$$I_{VT_k} = I_{VT_1} \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}}; \quad I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cpl}} \frac{U_{n_k}}{U_{n_1}};$$

За базовий, 1-й СК, доцільно прийняти СК, що працює від максимальної напруги живлення, так як саме цей (ці) СК функціонують в граничному режимі, інші в розривному.

**Розглянемо електричні процеси при СУ<sub>2</sub>**, для структур, що понижають, підвищують і інвертують. Для СУ<sub>2</sub> виконується умова:

$$I_{H_{cpk}} = I_{H_{cpl}}. \quad (13)$$

Для понижуючої структури напруга, прикладена до індуктивностей каналів, на інтервалах накопичення і звороту відповідають (3).

При підстановці (3) в (2), з урахуванням (9), (13), та відповідності струму навантаження струму

дроселя  $I_{H_k} = I_{L_k}$ , отримаємо розподіл амплітудних значень струмів в елементах каналів:

$$I_{m_k} = I_{m_1} \sqrt{\frac{U_{n_1} (U_{n_k} - U_H)}{U_{n_k} (U_{n_1} - U_H)}}. \quad (14)$$

Із (2), з урахуванням (14) знайдемо співвідношення для коефіцієнтів накопичення і звороту:

$$K_{H_k} = K_{H_1} \sqrt{\frac{U_{n_1} (U_{n_1} - U_H)}{U_{n_k} (U_{n_k} - U_H)}};$$

$$K_{B_k} = K_{B_1} \sqrt{\frac{U_{n_1} (U_{n_k} - U_H)}{U_{n_k} (U_{n_1} - U_H)}}. \quad (15)$$

Співвідношення середніх і діючих значень струмів в елементах каналів з (9), (14), (15):

$$I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cpl}} \frac{U_{n_1}}{U_{n_k}}; \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cpl}} \frac{U_{n_1} (U_{n_k} - U_H)}{U_{n_k} (U_{n_1} - U_H)};$$

$$I_{L_{cpk}} = I_{L_{cpl}}; \quad I_{VT_k} = I_{VT_1} \left( \frac{U_{n_1}}{U_{n_k}} \right)^{3/4} \left( \frac{U_{n_k} - U_H}{U_{n_1} - U_H} \right)^{1/4}; \quad (16)$$

$$I_{VD_k} = I_{VD_1} \left( \frac{U_{n_1} (U_{n_k} - U_H)}{U_{n_k} (U_{n_1} - U_H)} \right)^{3/4}; \quad I_{L_k} = I_{VT_k} + I_{VD_k}.$$

Для структури, що підвищує, напруга, що прикладається до дроселів на інтервалах накопичення і звороту визначається (4). Аналогічно понижуючої структурі з урахуванням (2), (9), (13) і рівності струму навантаження струму діодного ключа  $I_{H_k} = I_{VD_k}$  отримаємо співвідношення для амплітудних значень струмів, коефіцієнтів накопичення і звороту, діючих значень струмів в елементах:

$$I_{m_k} = I_{m_1} \sqrt{\frac{U_H - U_{n_k}}{U_H - U_{n_1}}}; \quad K_{H_k} = K_{H_1} \frac{U_{n_1}}{U_{n_k}} \sqrt{\frac{U_H - U_{n_k}}{U_H - U_{n_1}}};$$

$$K_{B_k} = K_{B_1} \sqrt{\frac{U_H - U_{n_1}}{U_H - U_{n_k}}}; \quad I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cpl}} \frac{U_{n_1}}{U_{n_k}} \left( \frac{U_H - U_{n_k}}{U_H - U_{n_1}} \right);$$

$$I_{L_{cpk}} = I_{VT_{cpk}} + I_{VD_{cpk}}; \quad I_{L_k} = I_{VT_k} + I_{VD_k}; \quad (17)$$

$$I_{VT_k} = I_{VT_1} \sqrt{\frac{U_{n_1}}{U_{n_k}} \left( \frac{U_H - U_{n_k}}{U_H - U_{n_1}} \right)^{3/2}}; \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cpl}};$$

$$I_{VD_k} = I_{VD_1} \left( \frac{U_H - U_{n_k}}{U_H - U_{n_1}} \right)^{1/4}.$$

Для інвертуючої структури напруга, що прикладається до дроселів на інтервалах накопичення і звороту визначається (5). Аналогічно понижуючої і підвищуючої структурам з урахуванням (2), (9), (13) і рівності струму навантаження струму діодного ключа  $I_{H_k} = I_{VD_k}$  отримаємо співвідношення для амплітудних значень струмів, коефіцієнтів накопичення і звороту, діючих значень струмів в елементах:

$$I_{m_k} = I_{m_1}; \quad K_{H_k} = K_{H_1} \cdot (U_{n_1}/U_{n_k}); \quad K_{B_k} = K_{B_1};$$

$$I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cpl}} U_{n_1}/U_{n_k}; \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cpl}}; \quad I_{VT_k} =$$

$$= I_{VT_1} \sqrt{U_{n_1}/U_{n_k}}; \quad I_{VD_k} = I_{VD_1}; \quad I_{L_k} = I_{VT_k} + I_{VD_k}.$$

За базовий, функціонуючий в граничному режимі, слід прийняти СК, для якого в структурі, що понижує виконується умова:

$$K_{H1} \sqrt{\frac{U_{n1}(U_{n1} - U_H)}{U_{nk}(U_{nk} - U_H)}} + K_{B1} \sqrt{\frac{U_{n1}(U_{nk} - U_H)}{U_{nk}(U_{n1} - U_H)}} \leq 1;$$

– для структури, що підвищує:

$$K_{H1} \frac{U_{n1}}{U_{nk}} \sqrt{\frac{U_H - U_{nk}}{U_H - U_{n1}}} + K_{B1} \sqrt{\frac{U_H - U_{n1}}{U_H - U_{nk}}} \leq 1;$$

– для структури, що інвертує СК з мінімальною напругою живлення.

**При СУ<sub>3</sub> для будь-якої структури виконується умова**

$$I_{m_k} = I_{m_1} \quad (19)$$

Із (2), з урахуванням (3) для понижуючої, (4) для підвищуючої і (5) для інвертуючої структур визначимо співвідношення коефіцієнтів накопичення і звороту в k-м СК:

– для структури, що понижує:

$$K_{H_k} = K_{H1} \frac{U_{n1} - U_H}{U_{nk} - U_H}; \quad K_{B_k} = K_{B1};$$

– для структури, що підвищує:

$$K_{H_k} = K_{H1} \frac{U_{n1}}{U_{nk}}; \quad K_{B_k} = K_{B1} \frac{U_H - U_{n1}}{U_H - U_{nk}}; \quad (20)$$

– для структури, що інвертує:

$$K_{H_k} = K_{H1} \cdot (U_{n1}/U_{nk}); \quad K_{B_k} = K_{B1}.$$

С урахуванням (19), (20) із (9) отримаємо значення середніх та діючих струмів в елементах СК:

– для структури, що понижує:

$$I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cp1}} \frac{U_{n1} - U_H}{U_{nk} - U_H}; \quad I_{VT_k} = I_{VT_1} \sqrt{\frac{U_{n1} - U_H}{U_{nk} - U_H}};$$

$$I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cp1}}; \quad I_{L_{cpk}} = I_{VT_{cpk}} + I_{VD_{cpk}}; \quad (21)$$

$$I_{VD_k} = I_{VD_1}; \quad I_{L_k} = I_{VT_k} + I_{VD_k}.$$

– для структури, що підвищує:

$$I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cp1}} \frac{U_{n1}}{U_{nk}}; \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cp1}} \frac{U_H - U_{n1}}{U_H - U_{nk}};$$

$$I_{L_k} = I_{VT_k} + I_{VD_k}; \quad I_{L_{cpk}} = I_{VT_{cpk}} + I_{VD_{cpk}}.$$

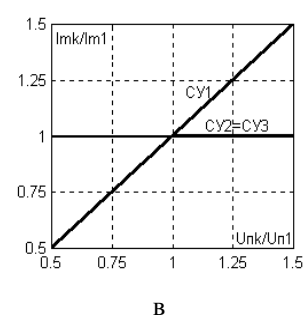
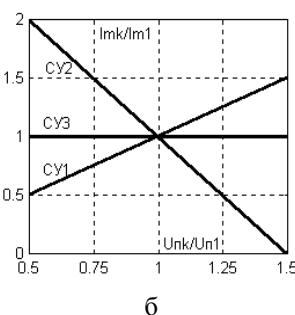
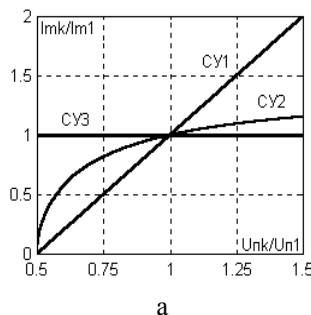


Рис. 3. Співвідношення амплітудних значень струмів в елементах силового каналу від співвідношення напруг живлення для: а – структури, що понижує, при  $U_H=1/2U_{n1}$ ; б – структури, що підвищує, при  $U_H=1,5U_{n1}$ ; в – структури, що інвертує, при  $U_H=U_{n1}$ , для трьох систем управління СУ<sub>1</sub>, СУ<sub>2</sub>, СУ<sub>3</sub>

$$I_{VT_k} = I_{VT_1} \sqrt{\frac{U_{n1}}{U_{nk}}}; \quad I_{VD_k} = I_{VD_1} \sqrt{\frac{U_H - U_{n1}}{U_H - U_{nk}}}; \quad (22)$$

– для структури, що інвертує:

$$I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cp1}} \frac{U_{n1}}{U_{nk}}; \quad I_{VT_k} = I_{VT_1} \sqrt{\frac{U_{n1}}{U_{nk}}}; \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cp1}}; \quad (23)$$

$$I_{L_{cpk}} = I_{VT_{cpk}} + I_{VD_{cpk}}; \quad I_{VD_k} = I_{VD_1}; \quad I_{L_k} = I_{VT_k} + I_{VD_k}.$$

За базовий, функціонуючий в граничному режимі, слід прийняти СК, що живиться від джерела з мінімальною напругою для структур, що понижують і інвертують. Для структури, що підвищує СК, для якого виконується умова:

$$K_{H1} \frac{U_{n1}}{U_{nk}} + K_{B1} \frac{U_H - U_{n1}}{U_H - U_{nk}} \leq 1.$$

На рис. 3 – 9 приведено співвідношення амплітудних, середніх та діючих струмів в елементах СК від співвідношень напруг живлення для структур що понижують, підвищують та інвертують для трьох систем управління.

**Аналіз отриманих співвідношень і залежностей показує:**

1. Асиметрія електричних процесів при неідентичності напруг джерел живлення СК залежить від типу системи управління, типу силового каналу, також від напруги навантаження.

2. Базовий силовий канал, що функціонує в граничному режимі для структур, що понижує і підвищує при СУ<sub>2</sub> і для структури, що підвищує при СУ<sub>3</sub> слід вибирати як по напругам живлення, так і по коефіцієнтам накопичення і звороту.

3. Для структури, що інвертує, електричні процеси у всіх елементах СК однакові для СУ<sub>2</sub> і СУ<sub>3</sub>.

4. Діаграми струмів дроселів для першого і k-го СК приведено на рис. 10.

## Висновки

1. Розроблено математичні моделі співвідношень амплітудних, середніх, діючих струмів в елементах СК, включених модульно при неідентичності напруг джерел живлення силових каналів для основних структур и систем управління.

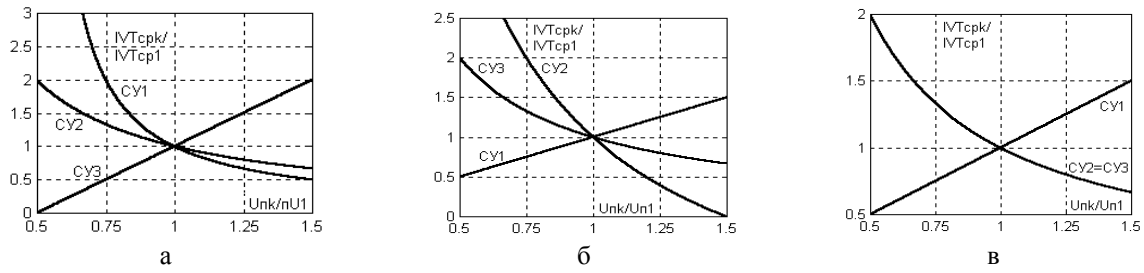


Рис. 4. Співвідношення середніх значень струмів транзисторних ключів в силових каналах від співвідношення напруг живлення для: а – структури, що понижує, при  $U_n=1/2U_{n1}$ ; б – структури, що підвищує, при  $U_n=1,5U_{n1}$ ; в – структури, що інвертує, при  $U_n=U_{n1}$ , для трьох систем управління  $CY1, CY2, CY3$

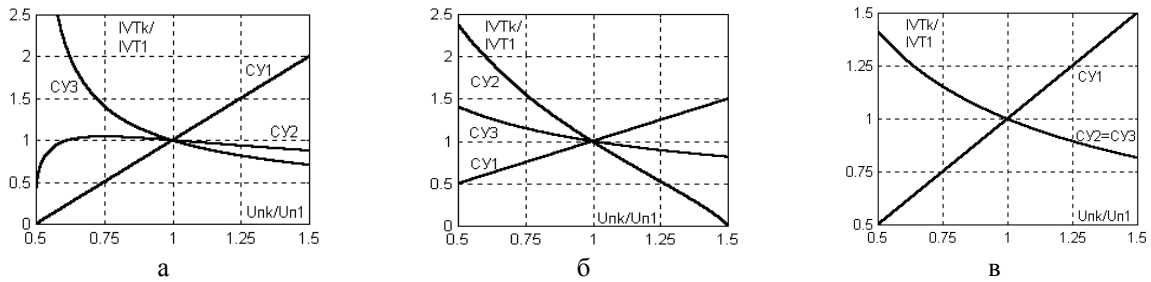


Рис. 5. Співвідношення діючих значень струмів транзисторних ключів в силових каналах від співвідношення напруг живлення для: а – структури, що понижує, при  $U_n=1/2U_{n1}$ ; б – структури, що підвищує, при  $U_n=1,5U_{n1}$ ; в – структури, що інвертує, при  $U_n=U_{n1}$ , для трьох систем управління  $CY1, CY2, CY3$

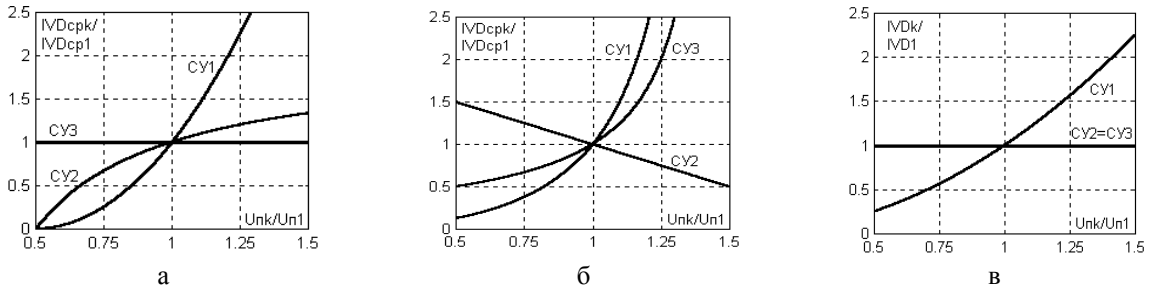


Рис. 6. Співвідношення середніх значень струмів діодних ключів в силових каналах від співвідношення напруг живлення для: а – структури, що понижує, при  $U_n=1/2U_{n1}$ ; б – структури, що підвищує, при  $U_n=1,5U_{n1}$ ; в – структури, що інвертує, при  $U_n=U_{n1}$ , для трьох систем управління  $CY1, CY2, CY3$

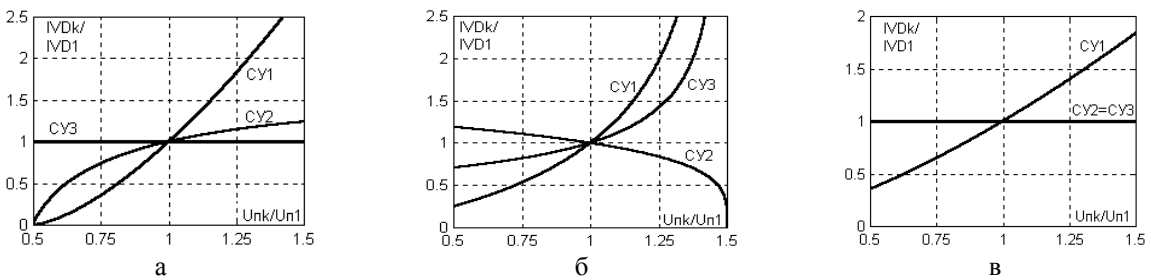


Рис. 7. Співвідношення діючих значень струмів діодних ключів в силових каналах від співвідношення напруг живлення для: а – структури, що понижує, при  $U_n=1/2U_{n1}$ ; б – структури, що підвищує, при  $U_n=1,5U_{n1}$ ; в – структури, що інвертує, при  $U_n=U_{n1}$ , для трьох систем управління  $CY1, CY2, CY3$

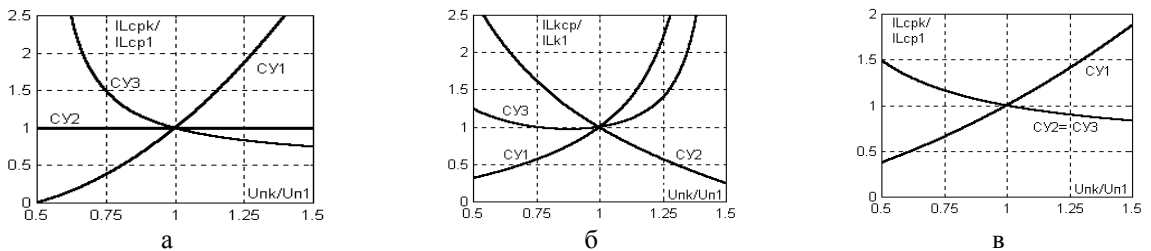


Рис. 8. Співвідношення середніх значень струмів дроселів в силових каналах від співвідношення напруг живлення для: а – структури, що понижує, при  $U_n=1/2U_{n1}$ ; б – структури, що підвищує, при  $U_n=1,5U_{n1}$ ; в – структури, що інвертує, при  $U_n=U_{n1}$ , для трьох систем управління  $CY1, CY2, CY3$

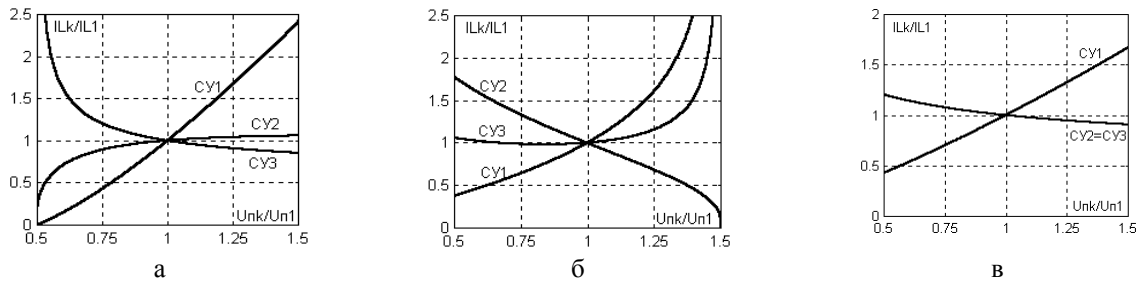


Рис. 9. Співвідношення діючих значень струмів дроселів в силових каналах від співвідношення напруг живлення для: а – структури, що понижує, при  $U_H=1/2U_{п1}$ ; б – структури, що підвищує, при  $U_H=1,5U_{п1}$ ; в – структури, що інвертує, при  $U_H=U_{п1}$ , для трьох систем управління СУ1, СУ2, СУ3.

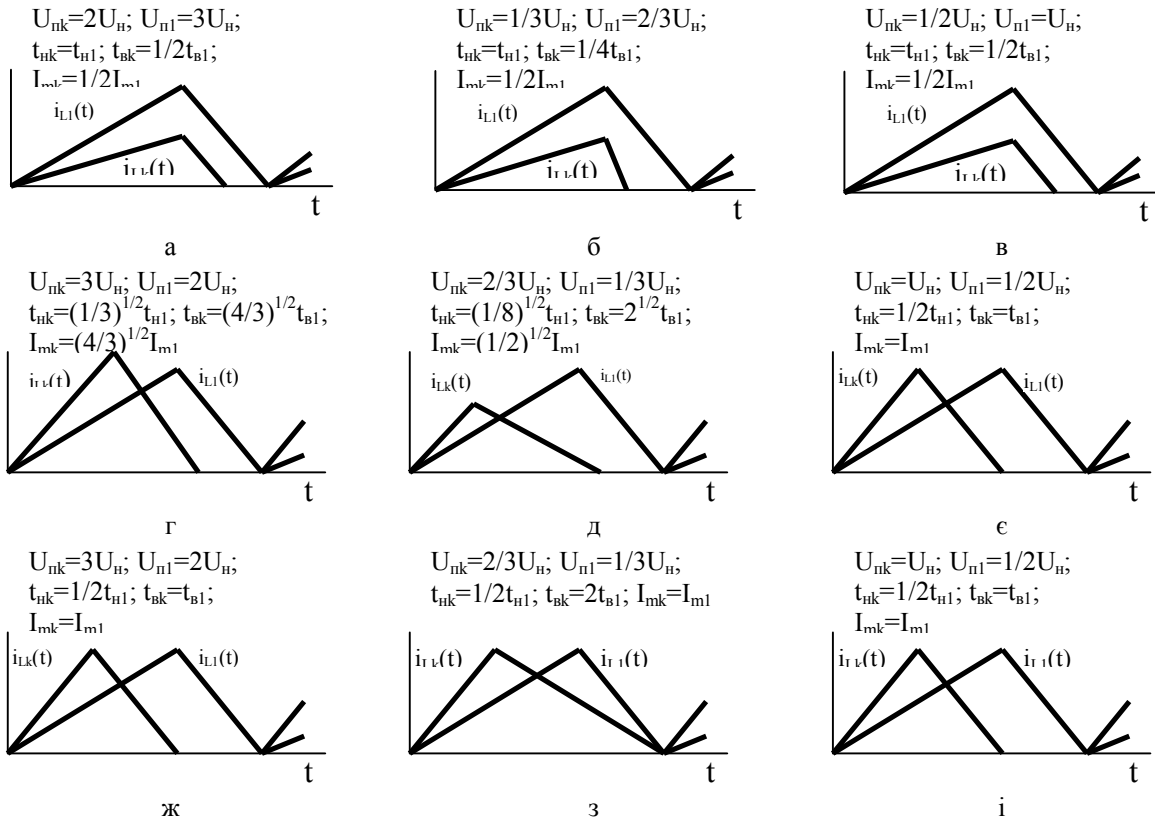


Рис. 10. Діаграми струмів дроселів при неідентичності напруг джерел живлення для: а, б, в – СУ1; г, д, е – СУ2; ж, з, і – СУ3 для а, г, ж – структури, що понижує; б, д, з – структури, що підвищує; в, е, ж – структури, що інвертує

2. Розроблена методика визначення електричних параметрів – струмів в елементах СК, коефіцієнтів накопичення і звороту при неідентичності напруг живлення каналів, узагальнена для основних структур силових каналів и систем управління, що дозволяє отримати математичні моделі використовувати для контролю технічного стану електроживлення.

3. При застосуванні модульних імпульсних перетворювачів напруги, які паралельно працюють на одне навантаження, але від різних первинних джерел живлення, дає змогу додатково підвищити надійність й забезпечити безперервність електроживлення тренажних систем.

### Список літератури

1. Гунченко Ю.О. Принципи побудови та організації функціонування ігрових тренажерних систем фахівців під-

розділів спеціального призначення / Ю.О. Гунченко // Сучасна спеціальна техніка. – К. 2011. – № 4(27). – С. 18-22.

2. Методологічні основи побудови та організації функціонування роботизованих систем спеціального призначення / С.В. Ленков, С.А. Шворов, Ю.О. Гунченко, Д.В. Чирченко // Вісник інженерної академії України. – К., 2012. – № 1. – С. 205-210.

3. Гунченко Ю.О. Методи аналізу і синтезу інтелектуальних тренажерних систем інтенсивної підготовки фахівців підрозділів спеціального призначення / Ю.О. Гунченко, С.В. Ленков, С.А. Шворов // Праці Одеського політехнічного університету. – Одеса, 2012. – № 1. – С. 157-162.

4. Гунченко Ю.О. Електричні параметри модульних перетворювачів постійної напруги з гранично-розривним функціонуванням при неідентичності дроселів і джерел живлення. Науковий твір. Реєстрація авторського права на твір № 22243 від 03.10.2007.

5. Гунченко Ю.А. Управление многофазным импульсным преобразователем постоянного напряжения с гранично-разрывным режимом функционирования // Техноло-

гия и конструирование в электронной аппаратуре. – 2007. – № 6 (72). – С. 20-25.

б. Гунченко Ю.О. Електричні параметри модульних перетворювачів постійної напруги з гранично-розривним режимом функціонування при неідентичності індуктивностей силових каналів / Ю.О. Гунченко // Інформатика

та математичні методи в моделюванні. – Одеса, 2012. – Т. 2, № 2. – С. 143-152.

Надійшла до редколегії 19.07.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ТРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ С ПОВЫШЕННЫМИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Ю.О. Гунченко, С.В. Ленков, С.А. Шворов, П.А. Шкулипа

Для сложных ответственных тренажных систем предложено модульную систему электропитания, которая состоит из  $N$  идентичных силовых каналов (СК), которые подключены к нескольким источникам первичного электропитания. Получена математическая модель модульного импульсного преобразователя с гранично-разрывным режимом функционирования, с учетом неидентичности напряжений питания силовых каналов для основных структур и систем управления для контроля технического состояния подсистем электропитания.

**Ключевые слова:** тренажная система, тренажер, модульная система электропитания, силовой канал, граничный режим, электрические параметры.

### CONTROL OF THE TECHNICAL STATE OF SUBSYSTEM OF POWER SUPPLY OF DRILLING SYSTEMS WITH THE PROMOTED TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC INDEXES

Yu.O. Gunchenko, S.V. Lenkov, S.A. Shvoro, P.A. Shkulipa

The modular system of power supply which consists of  $N$  identical power channels which are linked up to some sources of initial power supply is offered for complex crucial training systems. The mathematical model of a modular impulsive converter with a limited-discontinuous mode of functioning and with considering nonidentical tensions of supply power channels for the main structures and control systems is received for control of the technical state of subsystems of elktropitaniya.

**Keywords:** training system, trainer, modular system of power supply, power channel, limited mode, electric parameters.