

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ТРАНСФОРМАТОРНО-КЛЮЧОВИХ ВИКОНАВЧИХ СТРУКТУР ДИСКРЕТНИХ СТАБІЛІЗАТОРІВ ТА РЕГУЛЯТОРІВ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

**К.О.Липківський<sup>1</sup>**, докт.техн.наук, **В.А.Халіков<sup>2</sup>**, канд.техн.наук, **А.Г.Можаровський<sup>3</sup>**, канд.техн.наук  
<sup>1,2,3</sup> – Інститут електродинаміки НАН України,  
 Пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

*Обґрунтовано можливість побудови на єдиній діаграмі робочих характеристик трансформаторно-ключових виконавчих структур регуляторів та стабілізаторів напруги змінного струму завдяки притаманній їм властивості принципової оберненості. Досліджено особливості розрахунку величини встановленої потужності силових секціонованих автотрансформаторів у складі ТКВС різних перетворювачів змінної напруги при варіюванні у широких межах як ширини (глибини) діапазону регулювання (стабілізації), так і його зсуву відносно номінального значення напруги. Отримані результати проілюстровано запропонованими вольтамперними діаграмами, які дозволяють оцінити "внесок" у величину встановленої потужності автотрансформатора виокремлених груп секцій його обмотки. Бібл. 4, табл. 1, рис.7*

**Ключові слова:** трансформатор, ключ, стабілізатор, регулятор, напруга змінного струму.

**Вступ.** Надійне ефективне функціонування споживачів електричної енергії пов'язано з необхідністю виконання певних вимог щодо її якості. З метою забезпечення цих вимог доцільно використовувати локальні пристрої різного функціонального призначення – стабілізатори та регулятори напруги, фільтри, фільтросиметруючі, фільтрокомпенсуючі пристрої та їхні комбінації. Серед систем нормалізації параметрів електроенергії чільне місце посідають перетворювачі напруги змінного струму, в яких органічно комплексуються напівпровідникові ключові елементи (КЕ) та трансформуючі елементи – ТЕ (трансформатори, автотрансформатори, вольтодавчі трансформатори та їхні сполучення) і використовуються дискретно-разові принципи управління [4]. Вони апіорі не вносять жодних спотворень у вихідну напругу й у струм, що споживається з мережі, та дозволяють реалізувати як підвищення, так і зниження вихідної напруги без введення додаткових накопичуючих елементів. Силкові органи цього виокремленого класу перетворювачів напруги змінного струму отримали назву трансформаторно-ключових виконавчих структур – ТКВС [3].

Принципи побудови ТКВС, їхнє топологічне розмаїття, основи проектування знайшли відповідне висвітлення у технічній літературі. Зокрема у [1] задекларовано й доведено дуальність побудови ТКВС двох різновидів перетворювачів – стабілізаторів і регуляторів – та обґрунтовано вибір доцільного місця розташування комутатора на напівпровідникових КЕ: для стабілізаторів напруги – на

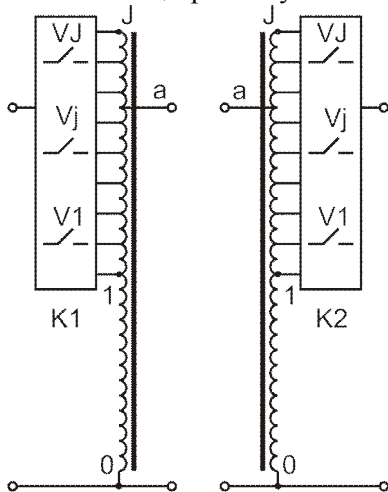


Рис. 1

первинному боці ТЕ, для регуляторів – на вторинному боці ТЕ. Там також розглянуто приклад розрахунку важливого технічного параметра обох ТКВС – встановленої потужності ТЕ, що переважно визначає масогабаритні показники перетворювача в цілому. Проте залежність цього параметра від вимог споживача і умов живлення у загальному вигляді не було достатньо прослідковано.

**Метою роботи** є аналіз впливу меж поля стабілізації – ПС [2] або діапазону регулювання на величину розрахункової встановленої потужності трансформуючого елемента при різних варіантах їхньої зміни та фізична інтерпретація отриманих залежностей.

**Основні положення.** Будемо для наочності, як і у [1], досліджувати найпростіші варіанти ТКВС – з одним комутатором на ключових елементах  $V1 \dots VJ$  (K1 – на вході ТЕ, K2 – на виході ТЕ) та секціонованим силовим автотрансформатором (АТ).

На рис. 1 показано ТКВС з комутатором K1 для стабілізатора напруги (СН) та з комутатором K2 для регулятора напруги (РН), який

при певному алгоритмі керування може бути використаний як стабілізатор струму (СС) при варіюванні величини навантаження.

У першій ТКВС мінімальна вхідна напруга  $U_{1CHmin}$  подається ключем V1 на вивід 1 АТ. При зростанні вхідної напруги здійснюється перекомутація KE  $V1 \rightarrow V2 \rightarrow \dots \rightarrow VJ$ , тобто максимальна вхідна напруга  $U_{1CHmax}$  прикладається до J-го виводу обвитки АТ. При цьому вихідна напруга підтримується на номінальному рівні  $U_{2CHном}$  з деякою відносною похибкою  $\delta = (U_{1CHmax} - U_{1CHmin}) / U_{2CHном}$ .

У другій ТКВС при незмінній вхідній напрузі  $U_{1PHном}$  при аналогічному алгоритмі роботи KE відбувається підвищення – регулювання вихідної напруги від  $U_{2PHmin}$  до  $U_{2PHmax}$ .

Для коректності порівняння обох ТКВС вважатимемо, що во-ни будуть розраховуватись на одну й ту ж максимальну потужність  $P_{CH} = P_{PH} = P$ , а також, що  $U_{1CHном} = U_{2CHном} = U_{1PHном} = U_{2PHном} = U_H$ ,  $U_{1CHmin} = U_{2PHmin}$ ,  $U_{1CHmax} = U_{2PHmax}$ .

Задля компактності запису формул будемо користуватись тими самими позначеннями відносних (нормованих по номінальних значеннях) величин, що й у [1]:  $\mu_{CH} = U_{1CHmin} / U_H = U_{1CHmin}^*$ ,  $\rho_{CH} = U_{1CHmax}^*$ ,  $\mu_{PH} = U_{2PHmin}^*$ ,  $\rho_{PH} = U_{2PHmax}^*$ . З врахуванням прийнятих припущень маємо:  $\mu_{CH} = \mu_{PH} = \mu$ ,  $\rho_{CH} = \rho_{PH} = \rho$ .

Обидві ТКВС при J ключових елементів характеризуються множиною нетотожних станів, або, що те ж саме, коефіцієнтів передачі по напрузі  $K_j = U_{2j} / U_{1j}$  ( $j = \overline{1, J}$ ). Вказана множина повинна мати упорядкований характер. Згідно з [3] найдоцільніше змінювати коефіцієнт передачі за законом геометричної прогресії

$$K_j = K_1 \cdot \gamma^{(1-j)}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – певний чисельний коефіцієнт, сутність якого буде пояснена пізніше (зазвичай  $1,02 \leq \gamma \leq 1,10$ ).

При такому законі зміни коефіцієнтів передачі їх множині на графіку  $U_2 = f(U_1)$  відповідає множина тангенсів нахилу до осі абсцис променів, що виходять з початку координат і розміщення яких обмежується першим (максимальним) і останнім, J-тим (мінімальним) коефіцієнтами передачі

$$K_1 = K_{max}, \quad K_J = K_{min} = K_{max} \cdot \gamma^{(1-J)}. \quad (2)$$

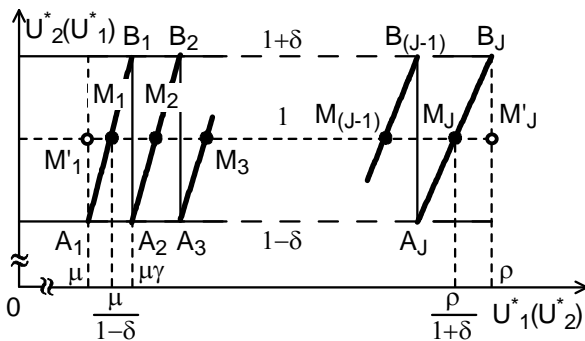


Рис. 2

Почнемо зі стабілізації напруги. Характеристика вхід-вихід ТКВС має в цьому випадку пилоподібний вигляд –  $A1 \rightarrow B1 \rightarrow A2 \rightarrow B2 \rightarrow \dots \rightarrow AJ \rightarrow BJ$  – і обмежується по вертикалі рівнями  $U_{2CHmin}^* = 1 - \delta$  та  $U_{2CHmax}^* = 1 + \delta$ , (рис. 2, де по осі абсцис відкладено вхідну напругу  $U_1^*$ , а по осі ординат – вихідну  $U_2^*$ ). Згадуваний вище коефіцієнт  $\gamma$  тут є співвідношенням максимальної та мінімальної вихідної напруги, тобто визначається припустимою похибкою

$$\gamma = (1 + \delta) / (1 - \delta). \quad (3)$$

З урахуванням (3) для ТКВС СН маємо такі значення максимального та мінімального коефіцієнтів передачі:

$$K_{CH1} = K_{CHmax} = \frac{1 - \delta}{\mu}, \quad K_{CHJ} = K_{CHmin} = \frac{1 + \delta}{\rho}. \quad (4)$$

Завдяки доведеній у [1] оберненості ТКВС характеристику для PH можна розмістити на цьому ж графіку при зміні назв осей – замість  $U_1^*$  та  $U_2^*$  поставити, відповідно,  $(U_2^*)$  та  $(U_1^*)$ , чому фізично відповідає зміна місць підключення до ТКВС джерела живлення та навантаження. Тоді мінімальний та максимальний коефіцієнти передачі будуть визначатися таким чином:

$$K_{PH1} = K_{PHmin} = \frac{\mu}{1 - \delta} = \frac{1}{K_{CHmax}}, \quad K_{PHJ} = K_{PHmax} = \frac{\rho}{1 + \delta} = \frac{1}{K_{CHmin}}. \quad (5)$$

Характеристиці PH буде відповідати множина точок  $M_j$  ( $j = \overline{1, J}$ ) на лінії  $(U_1^*) = 1$ , хоча діапазон регулювання ширше – він обмежується не точками  $M_1$  та  $M_J$ , а точками  $M'_1$  та  $M'_J$ , бо можна вважати, що  $(U_2^*)_{M_1} \approx (U_2^*)_{M'_1}$  та  $(U_2^*)_{M_J} \approx (U_2^*)_{M'_J}$  з похибкою  $\delta$ .

І для стабілізатора, і для регулятора напруги, а також для похідного від останнього стабілізатора струму СС [1] напруга на j-тій відпайці обвитки АТ (рис. 1) розраховується однаково

$$U_{j0}^* = U_{10}^* \cdot \gamma^{j-1}, \quad (6)$$

проте напруги на нерегульованій частині обвитки  $U_{10}^*$  для СН та РН (СС), як видно з рис. 2, різні

$$U_{10\text{СН}}^* = \mu\gamma = \mu \frac{1+\delta}{1-\delta}; \quad U_{10\text{РН(СС)}}^* = \mu \frac{1}{1-\delta}; \quad (7)$$

різні, природньо, й напруги між вихідною (СН) або вхідною (РН, СС) точкою **a** та точкою **0**

$$U_{a0\text{СН}}^* = 1+\delta; \quad U_{a0\text{РН(СС)}}^* = 1. \quad (8)$$

Основні формули для розрахунку струмів у секціях АТ отримано в [1], тому тут ми лише зведемо їх разом у зручній для аналізу формі у функції лише параметрів, що задаються при проектуванні –  $\delta$ ,  $\mu$ ,  $G$  (див. таблицю).

З таблиці видно, що в ТКВС трьох видів перетворювачів всі секції можна умовно поділити на групи між точками **10**, **a1**, **9a**, у кожній з яких максимальний струм визначається за своїм окремим законом.

Струм у основній обвитці між точками **1** та **0** може набувати максимального значення в одному з режимів – або у першому ( $I_{101}^*$ ), або у останньому ( $I_{10j}^*$ ). Прирівнюючи ці струми, знаходимо деяке критичне значення параметра  $\mu_{\text{кр}}$ : якщо  $\mu$  менше за  $\mu_{\text{кр}}$ , то найбільшу (розрахункову) величину має струм  $I_{101}^*$ , у протилежному випадку –  $I_{10j}^*$ .

|                   | СН  | РН   | СС   |
|-------------------|---|--|--|
| $I_{101}^*$       | $(1+\delta) \left( \frac{1-\delta}{\mu} - 1 \right)$                  | $\frac{(1+\delta)^4}{G^2(1-\delta)^2} \left( \frac{1-\delta}{\mu} - 1 \right)$ | $\frac{(1+\delta)^3}{G(1-\delta)} \left( \frac{1-\delta}{\mu} - 1 \right)$ |
| $I_{10j}^*$       | $(1+\delta) \left( 1 - \frac{1+\delta}{\mu G} \right)$                | $(1+\delta)^2 \left( 1 - \frac{1+\delta}{\mu G} \right)$                       | $(1+\delta)^2 \left( 1 - \frac{1+\delta}{\mu G} \right)$                   |
| $\mu_{\text{кр}}$ | $\frac{(G+1)-\delta(G-1)}{2G}$  | $(1-\delta^2) \frac{(G+1)-\delta(G-1)}{G^2(1-\delta)^2 + (1+\delta)^2}$        | $(1-\delta^2) \frac{2}{(G+1)-\delta(G-1)}$                                 |
| $I_{a1}^*$        | $1+\delta$  | $\frac{(1+\delta)^2}{G^2} \left( \frac{1+\delta}{1-\delta} \right)^{2j}$       | $\frac{(1+\delta)^2}{G} \left( \frac{1+\delta}{1-\delta} \right)^j$        |
| $I_{9a}^*$        | $\frac{(1+\delta)^2}{\mu} \left( \frac{1+\delta}{1-\delta} \right)^j$ | $1+\delta$   | $1+\delta$   |

Максимальний струм у секціях між точками **a** та **1** (для СН) і **9** та **a** (для РН та СС) дорівнює максимальному струму навантаження. Струм у j-тій регульованій секції, розташованій між точками **9** та **a** (для СН), або **a** та **1** (для РН і СС) визначається відповідним вхідним струмом для j-ого режиму.

Виходячи з цього, а також з наведених раніше міркувань щодо максимальних напруг на секціях обвитки АТ, було розроблено зручний єдиний алгоритм розрахунку встановленої потужності АТ всіх різновидів перетворювачів напруги змінного струму (нормованої по номінальній потужності навантаження напівсуми добутків максимальних напруг і струмів всіх секцій).

Проаналізуємо, як залежить цей важливий показник від меж поля стабілізації (діапазону регулювання), в першу чергу, від співвідношень мінімальної та максимальної вхідних напруг з номінальним значенням. Для цього доцільно звернутися до "альтернативних" понять – ширини діапазону стабілізації (регулювання)

$$\Delta = U_{1\text{max}}^* - U_{1\text{min}}^* = (U_2^*)_{\text{max}} - (U_2^*)_{\text{min}} = \rho - \mu = \mu(G-1) \quad (9)$$

та коефіцієнта зсуву середини цього діапазону відносно номінального значення напруги

$$\varphi = 0,5(U_{1\text{max}}^* + U_{1\text{min}}^*) - U_{\text{H}}^* = 0,5 \left( (U_2^*)_{\text{max}} + (U_2^*)_{\text{min}} \right) - U_{\text{H}}^* = 0,5(\rho + \mu) - 1 = 0,5\mu(G+1) - 1. \quad (10)$$

(Зауважимо, що формулювання даних на розробку ТКВС може мати різний вигляд – задано, наприклад,  $\mu$  та  $\rho$ ,  $\mu$  та  $G$ ,  $\mu$  та  $\Delta$ ,  $\mu$  та  $\varphi$ ,  $\mu$  та  $\rho$ ,  $\Delta$  та  $\varphi$  тощо).

Підставляючи в (10)  $\mu_{\text{кр}}$  з таблиці, знаходимо критичні значення коефіцієнта зсуву, при яких для розрахунку струму в основній секції АТ треба переходити від  $I_{101}^*$  до  $I_{10j}^*$

$$\varphi_{\text{кр СН}} = \frac{G-1}{4G} [(G-1) - \delta(G+1)] > 0, \quad (11)$$

$$\varphi_{\text{КР РН}} = - \frac{G(1-\delta)^2 - (1+\delta)^2}{G^2(1-\delta)^2 + (1+\delta)^2} \cdot \frac{(G-1) - \delta(G+1)}{2} < 0, \quad (12)$$

$$\varphi_{\text{КР СС}} = \delta \frac{(G-1) - \delta(G+1)}{(G+1) - \delta(G-1)} > 0. \quad (13)$$

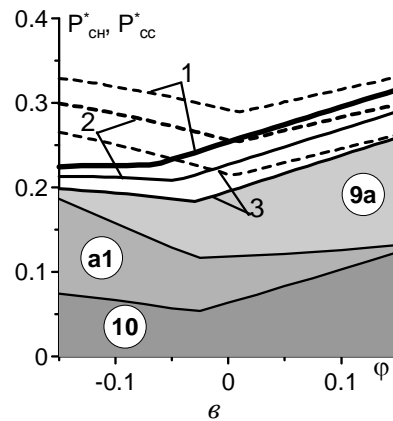
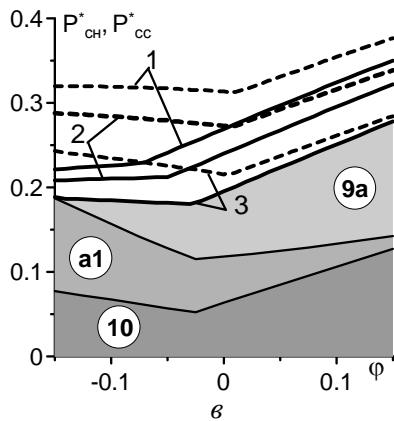
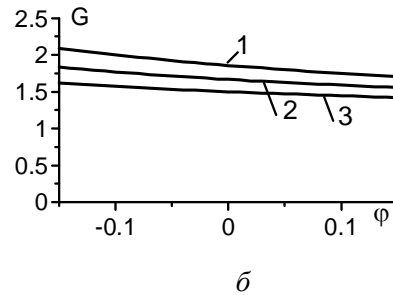
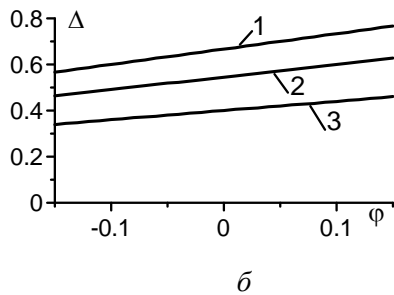
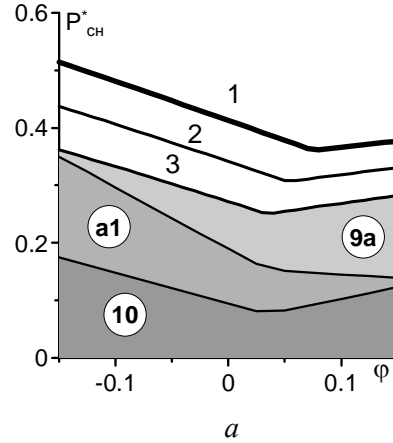
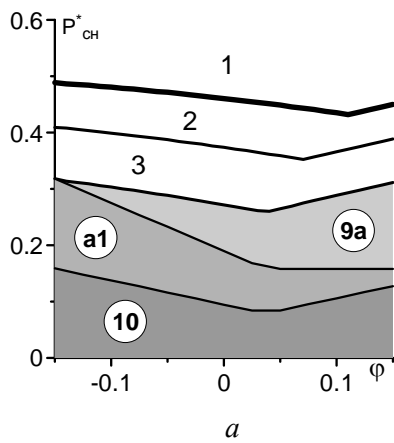


Рис. 3

Рис. 4

метра  $G$ : до ~85% при переході від  $G=2,0$  до  $G=1,75$  та до ~64% при переході від  $G=1,75$  до  $G=1,5$ . Для останнього варіанту (крива 3, рис. 3, а) виокремлено ступінню затемнення "внески" у величину  $P_{\text{CH}}^*$  кожної з визначених груп секцій – 10, а1, 9а. Зрозуміло, що зі зростанням  $\varphi$  кількість і "внесок" регулювальних секцій між точками 1 та 2 зменшується, а секцій між точками 9 та а – збільшується; "внесок" основної секції 10, згідно з визначенням раніше характером зміни струму через неї, має мінімум у зоні  $\varphi = \varphi_{\text{КР СС}}$ .

Розрахункові встановлені потужності АТ регуляторів напруги та стабілізаторів струму, як видно з рис. 3, в, значно менші, ніж у АТ стабілізаторів напруги ( $G$  – однакові). Залежності  $P_{\text{РН}}^* = f(\varphi)$  та  $P_{\text{СС}}^* = f(\varphi)$  (відповідно, неперервні та штрихові лінії) якісно відрізняються від залежності  $P_{\text{СН}}^* = f(\varphi)$  тим, що при  $\varphi < \varphi_{\text{КР}}$  вони майже незмінні, а при перевищенні  $\varphi$  критичного значення зростають більш

Розрахуємо за допомогою запропонованого алгоритму встановлені потужності АТ ТКВС з дев'ятьма КЕ ( $J=9$ ) для трьох видів перетворювачів напруги змінного струму. Побудуємо залежності  $P_{\text{СН}}^*$ ,  $P_{\text{РН}}^*$ ,  $P_{\text{СС}}^*$  від коефіцієнта зсуву у двох випадках: коли незмінною є глибина діапазону стабілізації (регулювання), тобто  $G=\text{const}$ , та коли незмінною є ширина цього діапазону, тобто  $\Delta=\text{const}$  (див. рис. 3, де кривим 1, 2, 3 відповідають значення  $G=2,0$ ; 1,75; 1,5; та рис. 4, де кривим 1, 2, 3 відповідають значення  $\Delta=0,6$ ; 0,5; 0,4).

Проаналізуємо отримані залежності, починаючи з випадку  $G=\text{const}$  (рис. 3). Як видно з рис. 3, а, монотонне збільшення коефіцієнту зсуву від  $-0,15$  до  $+0,15$  хоча й супроводжується монотонним збільшенням ширини діапазону стабілізації  $\Delta$  (рис.3, б), проте не призводить до монотонного збільшення потужності АТ СН: спочатку  $P_{\text{СН}}^*$  зменшується, а після  $\varphi=\varphi_{\text{КР СС}}$  збільшується, тобто залежність  $P_{\text{СН}}^* = f(\varphi)$  має мінімум при  $\varphi=\varphi_{\text{КР СС}}$ .

Величина встановленої потужності АТ суттєво зменшується при зменшенні пара-

стрімко, причому при суттєвому збільшенні  $\varphi$  (а у РН та СС це можливо)  $P_{РН}^*$  та  $P_{СС}^*$  зближуються. Щодо характеру "внесків" у  $P_{РН}^*$  та  $P_{СС}^*$ , то він залишається таким самим, як у стабілізатора напруги.

У випадку варіювання  $\varphi$  при  $\Delta = \text{const}$  (рис. 4) ситуація якісно залишається такою, як і у попередньому, хоча глибина діапазону стабілізації (регулювання)  $G$  при зростанні  $\varphi$  дещо зменшується. Крім того, залежність  $P_{СС}^* = f(\varphi)$  при  $\varphi < \varphi_{кр\text{СС}}$  не є постійною, а має спадаючий характер. "Внески" виокремлених груп секцій у величини  $P_{СН}^*$ ,  $P_{РН}^*$  та  $P_{СС}^*$  аналогічні попереднім.

Більш детальний аналіз отриманих результатів не є нагальним, тому що для розробника параметри поля стабілізації (діапазону регулювання) є заданими і їх не можна змінювати навіть з метою зменшення величини встановленої потужності АТ. Тобто отримані результати є лише інформацією, яка має бути корисною при оцінці очікуваних показників кінцевого продукту – секціонованого автотрансформатора.

Видається доцільним з тією ж метою – забезпечення повноти розуміння особливостей побудови ТКВС – розглянути вольтамперні діаграми (ВАД) секціонованих АТ, які було введено у [1]. Це контурні фігури, що складаються з  $J$  прямокутників, вертикальний розмір кожного з яких визначається максимальною напругою на відповідній секції, а горизонтальний – її максимальним струмом. Побудуємо вольтамперні діаграми для ТКВС з  $J=9$  при  $G=1,5$ : ВАД для АТ СН показано на рис. 5, для АТ РН – на рис. 6, для АТ СС – на рис. 7, причому всім рисункам "а" відповідає  $\varphi = -0,10$ , "б" –  $\varphi = 0$ , "в" –  $\varphi = 0,10$ . Там також наведено відповідні цим  $\varphi$  чисельні значення встановлених потужностей АТ –  $P_{СН}^*$ ,  $P_{РН}^*$ ,  $P_{СС}^*$ . (Нагадаємо, що "зворотність" ВАД РН та СС відносно ВАД СН ілюструє різницю у розміщенні комутатора: у СН – на вході АТ (К1), а у РН та СС – на виході (К2)).

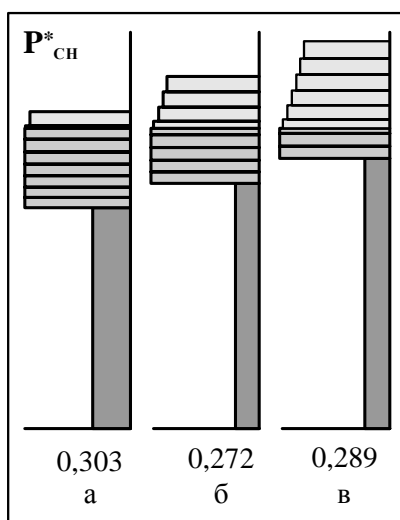


Рис. 5

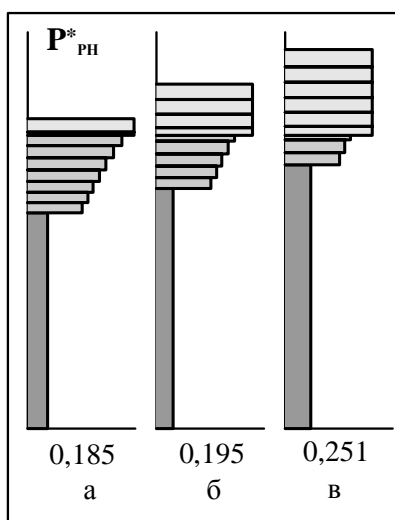


Рис. 6

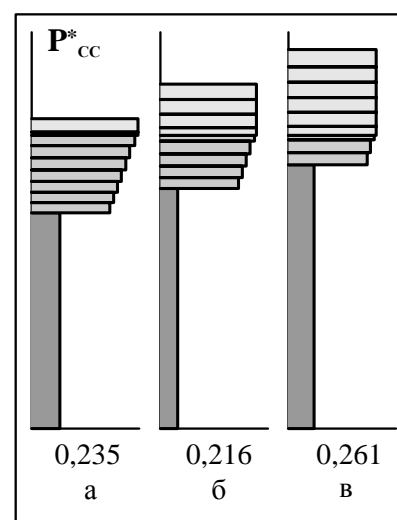


Рис. 7

Як бачимо, на цих рисунках при збільшенні  $\varphi$  чітко прослідковується зміна величини розрахункової потужності АТ і струму через основну секцію його обвитки та підвищення максимальної напруги на АТ, а саме внаслідок цього – зменшення максимального струму через регульовальні секції для АТ РН та СС у порівнянні з АТ СН, бо у всіх перетворювачах виконується умова незмінності максимальної потужності навантаження.

#### Висновки.

1. Використання задекларованого у [1] принципу оберненості ТКВС стабілізаторів та регуляторів напруги змінного струму дозволяє будувати їхні робочі характеристики на єдиній діаграмі.
2. Запропонований алгоритм розрахунку параметрів АТ дозволяє визначити встановлену потужність секціонованого автотрансформатора ТКВС для будь-яких співвідношень ширини (глибини) діапазону стабілізації або діапазону регулювання напруги та його зсуву відносно номіналу.
3. Результати виконаного всебічного розгляду залежностей показників секціонованого автотрансформатора від можливих умов його функціонування мають бути корисними при оцінці ТКВС, що пропонуються для розробки дискретних регуляторів напруги та стабілізаторів напруги й струму.

1. Липківський К.О. Дуальність побудови трансформаторно-ключових виконавчих структур дискретних стабілізаторів та регуляторів напруги змінного струму // Техн. електродинаміка. – 2010.– № 6.– С. 16–23.  
*Lypkivskyi K.O. Duality of Transformer-and-Switches Executive Structures of Alternating Current Voltage Stabilizers and Regulators // Tekhnichna elektrodynamika. – 2010. – № 6. – P. 16–23. (Ukr.)*
2. Липківський К.О., Можаровський А.Г. Модернізація закону вибору коефіцієнтів передачі трансформаторно-ключової исполнительної структури дискретного стабілізатора напруги перемінного току // Техн. електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – 2005. – Ч. 1. – С. 69–72.  
*Lypkivskyi K.O., Mozharovskyi A.H. Modernization of the Law for Selecting the Conversion Gains of Transformer-and-Switches Executive Structures of Alternating Current Voltage Stabilizers // Tekhnichna elektrodynamika: Tematychnyi vypusk "Power Electronics and Energy Efficiency". – 2005. – Vol. 1. – P. 69–72. (Rus.)*
3. Липковський К.А. Трансформаторно-ключеві исполнительні структури преобразователів перемінного напруги.– Київ: Наукова думка, 1983. – 216 с.  
*Lipkovskii K.A. Transformer-and-Switches Executive Structures of Alternating Current Voltage Converters. – Kiev: Naukova dumka, 1983. – 216 p. (Rus.)*
4. Bimal K.Bose. Power Electronics – Why the Field is so Exciting // IEEE Power Electronics Society Newsletter / Fourth Quarter – 2007. – Vol.19. – № 4. – P. 11–20.

УДК 621.314.214

**К.А.Липковский<sup>1</sup>**, докт.техн.наук, **В.А.Халиков<sup>2</sup>**, канд.техн.наук, **А.Г.Можаровский<sup>3</sup>**, канд.техн.наук  
<sup>1,2,3</sup> – **Институт электродинамики НАН Украины,**  
**пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.**

#### **Сравнительная оценка трансформаторно-ключевых исполнительных структур дискретных стабилизаторов и регуляторов напряжения переменного тока**

*Обоснована можливість побудови на єдиній діаграмі робочих характеристик трансформаторно-ключевих исполнительних структур ТКВС регуляторів та стабілізаторів напруги перемінного току завдяки присутньому їм свойству принципіальної оборотності. Исследованы особенности расчета величины установленной мощности силовых секционированных автотрансформаторов в составе ТКВС различных преобразователей переменного напряжения при варьировании в широких пределах как ширины (глубины) диапазона регулирования (стабилизации), так и его сдвига относительно номинального значения напряжения. Полученные результаты проиллюстрированы предложенными вольт-амперными диаграммами, позволяющими оценить "вклад" в величину установленной мощности автотрансформатора выделенных групп секций его обмотки. Библ. 4, табл. 1, рис.7.*

**Ключевые слова:** трансформатор, ключ, стабилизатор, регулятор, напряжение переменного тока.

**К.О.Lypkivskyi<sup>1</sup>, V.A. Khalikov<sup>2</sup>, A.G.Mozharovskyi<sup>3</sup>**  
<sup>1,2,3</sup> – **Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,**  
**Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.**

#### **Comparative estimate of transformer-key operation structures of discrete stabilizers and regulators of alternating voltage**

*The capability of construction, based on a single diagram, of the performance characteristics of transformer-key operation structures (TKOS) of regulators and stabilizers of alternating voltage due to their inherent property based on principle of invertibility has been substantiated. The features of calculating the installed capacity value of power sectioned autotransformers in the composition of TKOS of different alternating voltage transducers by wide variation of regulation (stabilization) width (depth) as well as its shift relative to nominal voltage have been researched. The findings are represented in the proposed volt-ampere diagrams which enable to evaluate the "contribution" to the value of rated autotransformer capacity of selected groups of its winding sections. References 4, table 1, figures 7.*

**Key words:** transformer, switch, stabilizer, regulator, alternating current voltage.

Надійшла 06.09.2010  
Received 06.09.2010