

## КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НЕРОБОЧОГО ХОДУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ІЗ ВТОРИННОЮ НАПРУГОЮ 0,4 КВ

О. І. Дорошенко<sup>1</sup>, Т. О. Дручина<sup>1</sup>, Ю. Г. Сарахман<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одеський національний політехнічний університет

<sup>2</sup>ПАТ «Промінь»

**Анотація.** Пропонується оригінальна методика визначення потужності постійно ввімкненого ступеня конденсаторної установки з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ, яка «глухо» приєднана до затискачів вторинної напруги силових трансформаторів 6(10)/0,4 кВ, з метою зменшення втрат активної електроенергії в згаданих трансформаторах систем електропостачання конкретних споживачів електроенергії.

**Ключові слова:** математичне моделювання в електроенергетиці, математична модель системи електропостачання, електромагнітне поле, формально-математична модель, умовно-математична модель, реально-математична модель, квантування діелектричного середовища.

### Вступ

Як відомо, будь-яка система електропостачання (СЕР) конкретного споживача електроенергії є підсистемою загальної електроенергетичної системи (ЕЕС), достатньо складної, за технологією нормального функціонування сукупності її електроустановок, робочі процеси яких відбуваються, майже, одночасно. Тому її дослідження і вивчення, з метою нормалізації режимів роботи, без моделювання не є можливим. При цьому, найбільш поширеним видом моделювання в електроенергетиці є математичне моделювання.

За твердженням [1], найбільш достовірним видом математичного моделювання необхідно вважати реально-математичне моделювання, у зв'язку з яким всі математичні формули і логіка співвідношень між параметрами елементів системи та параметрами їх режиму, мають чітке фізичне обґрунтування і спираються на матеріальну основу. Таке моделювання, на відміну від формально-математичного та умовно-математичного моделювання, які у наш час найбільш поширені, передбачає, що із ЕЕС до приймального пункту в СЕР конкретних споживачів енергопередавальні організації (ЕО) передають енергію, як промислової продукції ЕЕС, у потенційному вигляді – у вигляді електричної напруги. Діючої форми (крутить світить, нагріває) вона набуває в електромагнітному полі СЕР, створеному сумою полів окремих елементів та електроприймачів такої системи.

© Дорошенко А. І., Дручина Т. О.,  
Сарахман Ю. Г. 2018

Реально-математичну модель СЕР за синусоїдальних напруги і струму провідності її струмоведучих частин, що відстає від їх синусоїдальної напруги на фазовий кут  $\varphi$  було представлено в [1], а за випереджаючого струму – в [2].

### Об'єкт дослідження.

Система електропостачання конкретному споживачеві електроенергії, реально-математичну модель електромагнітного поля якої приведено на рис. 1.

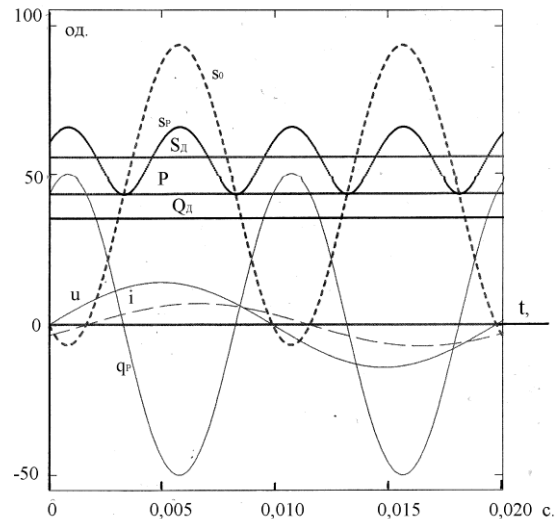


Рис. 1. Реально-математична модель СЕР.

Як відомо, загальною рисою математичної моделі будь-якої ЕЕС являється те, що логіка сумарної одночасної діючої напруги і струму провідності її струмоведучих частин при створенні електромагнітного поля в електрично пружному

діелектричному середовищі системи (логіка «і») змінюється на логіку суми одночасної дії активної і реактивної потужності такого поля системи (логіка «або»).

$$S = U \cdot I \rightarrow S = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (1)$$

де  $S$  - повна потужність СЕП, кВА;  $U$  - діюче значення напруги струмоведучих частин СЕП, кВ;  $I$  - діюче значення струму провідності струмоведучих частин СЕП, А;  $P_p$  - активна розрахункова потужність СЕП, кВт;  $Q_p$  - реактивна розрахункова потужність СЕП, квар.

При цьому не приймається до уваги той факт, що у складових повної потужності згаданого поля різний фізичний принцип їх створення. За даними [3]: активна його потужність це продовжня (у напрямку електропередавання) складова потужності поля, де діють електричні сили (сили Кулона); реактивна потужність це поперечна (у напрямку електропередавання) складова потужності поля, де діють механічні сили (сили Кариоліса). Тому активна потужність СЕП не залежить від періоду зміни синусоїдальних напруги і струму провідності струмоведучих частин електропередавання, а її реактивна потужність синусоїдально змінюється чотири рази протягом періоду зміни напруги.

Очевидно, що при розрахунках режимів навантаження СЕП необхідно враховувати діюче значення її реактивної потужності, яке визначається за відомою формулою, квар

$$Q_d = Q_p / \sqrt{2}, \quad (2)$$

де  $Q_p$  - розрахункове значення реактивної потужності СЕП, одержане за допомогою діючих сучасних методів розрахунку, або за даними комерційного обліку електроенергії у розрахунковому періоді споживача, квар.

Векторну діаграму навантаження, побудовану для реально-математичної моделі СЕП конкретного споживача електроенергії, відому з [1], представлено на рис.2.

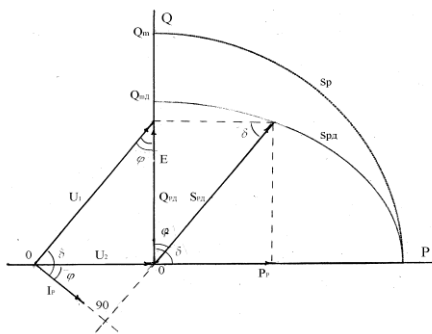


Рис. 2. Векторна діаграма реальної СЕП

### Мета дослідження.

Спираючись на реально-математичну модель СЕП промислових (що виробляють конкретну промислову продукцію) і дорівнених до них (що виробляють певний вид послуг) споживачів електроенергії (рис.1), з метою підвищення ефективності компенсації реактивних навантажень та зменшення втрат активної електроенергії, необхідно розробити науково-методичний підхід до визначення потужності постійно ввімкненого ступеня конденсаторної установки з номінальною напругою конденсаторів  $U_{НОМ} = 0,4/0,4$  кВ.

Вона «глухо» приєднується до затискачів вторинної напруги силових трансформаторів 6(10)/0,4 кВ.

### Результати дослідження.

Як підтверджує реально-математична модель СЕП, реактивна електроенергія (як і активна) створюється в електромагнітному полі такої системи і є її внутрішньою енергією (за її межі, фізично, виходити не може). Але, при цьому: збільшує втрати активної (корисної) енергії; зменшує пропускну спроможність електричних мереж електропередавання; суттєво впливає на рівні напруги (за відстаючого характеру струму струмоведучих частин системи зменшує, а за випереджаючого характеру – збільшує). Таким чином, реактивне навантаження СЕП конкретних споживачів електроенергії необхідно всіляко обмежувати за допомогою спеціальних пристроїв її компенсації.

Як відомо, найбільш дійовими з них є конденсаторні установки (КУ) з номінальною напругою електричних конденсаторів 0,4 кВ. При цьому, випадковий характер зміни реактивного навантаження вимагає застосування автоматичного регулювання потужності таких установок в межах найбільшої економічної ефективності.

Спираючись на [4], економічно ефективну потужність КУ будь-якого режиму реактивного навантаження СЕП можна визначити наступним чином.

Активні втрати в трансформаторі тільки від його реактивної потужності, без застосування компенсації, можна визначити за відомою формулою, кВт

$$\Delta P_{QX1} = \frac{\Delta Q_{XD}^2}{U_{НОМ2}^2} \cdot R_T \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

де  $Q_{ХД}$  - діюче значення реактивної потужності неробочого ходу трансформатора, яке визначається за формулою (2), квар;  $R_T$  - еквівалентний активний опір трансформатора, приведений до його вторинної номінальної напруги, Ом.

Із застосуванням режиму компенсації, формула (3) набуває вигляду, кВт

$$\Delta P_{QX2} = \frac{(Q_{ХД} - Q_{KH})^2}{U_{НОМ2}^2} \cdot R_T \cdot 10^{-3} + Q_{KH} \cdot \Delta P_{KH}, \quad (4)$$

де  $Q_{KH}$  - потужність КУ з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ;  $\Delta P_{KH}$  - питомі активні втрати в конденсаторах, які складають, за даними [5],  $\Delta P_{KH} = 0,0003$  кВт/квар.

У результаті застосування компенсації має місце зменшення активних втрат, яке складає величину, кВт

$$\Delta_{\Delta P_Q} = \Delta P_{QX1} - \Delta P_{QX2} + \Delta P_{KH} \cdot Q_{KH}, \quad (5)$$

З урахуванням формул (3) и (4) формула (5) набуває виду, кВт

$$\Delta_{\Delta P_Q} = \frac{(Q_{ХД} - Q_{KH})^2}{U_{НОМ2}^2} \cdot R_T \cdot 10^{-3} + \Delta P_{KH} \cdot Q_{KH}. \quad (6)$$

Зважаючи на те, що номінальна потужність трансформатора – діюче значення його повної потужності, діюче значення реактивної потужності неробочого ходу трансформатора можна визначити за формулою, квар

$$\Delta Q_{ХД} = \sqrt{S_{ХД}^2 - \Delta P_X^2}, \quad (7)$$

де  $S_{ХД}$  - діюче значення повної потужності неробочого ходу трансформатора, яка визначається за відомою формулою, кВА

$$S_{ХД} = I_X \cdot S_{НОМ}; \quad (8)$$

$I_X$  - повний струм навантаження неробочого режиму трансформатора, %;  $S_{НОМ}$  - номінальна потужність трансформатора, що розглядається, кВА.

Спираючись на формулу (7), потужність конденсаторної установки для оптимальної компенсації реактивної потужності неробочого ходу трансформатора можна визначити за відомою

формулою, квар

$$Q_{KH} = \Delta P_X \cdot \left( \frac{\Delta Q_{ХД}}{\Delta P_X} - tg \varphi_H \right), \quad (9)$$

де  $tg \varphi_H$  - нормативне значення коефіцієнта реактивної потужності СЕП споживачів електроенергії, яке на державному рівні встановлене на рівні  $tg \varphi_H = 0,25$  в.о., [6].

Методом послідовного перебору, спираючись на паспортні дані типових трансформаторів типу ТМ – 100/6(10) – ТМ – 2500/6(10) зі вторинною номінальною напругою  $U_{НОМ2} = 0,4$  кВ в [4] рекомендується наступна формула для визначення оптимальної потужності реактивної потужності їх неробочого ходу, квар

$$Q_{KH} = Q_{ХД} - \frac{0,024}{R_T}. \quad (10)$$

Економічність компенсації можна визначити як, кВт

$$\Delta P_{\Delta X} = \Delta P_X - \Delta P_{KH}, \quad (11)$$

де  $\Delta P_{KH}$  - активні втрати неробочого ходу із застосуванням компенсації, кВт.

У якості прикладу розглянемо трансформатор типу ТМ-400/6, для якого:

$$S_{НОМ} = 400 \text{ кВА}; U_2 = 0,4 \text{ кВ}; I_X = 2,1 \text{ \%};$$

$$\Delta P_K = 5,5 \text{ кВт}; \Delta P_X = 0,82 \text{ кВт}; U_K = 4,5 \text{ \%}.$$

Діюче значення повної потужності неробочого ходу трансформатора становить

$$S_{ХД} = \frac{400 \cdot 2,1}{100} = 8,400 \text{ кВА}.$$

Діюче значення реактивної потужності неробочого ходу

$$Q_{ХД} = \sqrt{8,4^2 - 0,82^2} = 8,360 \text{ квар}.$$

Опори трансформатора, приведені до його вторинної напруги:

Активний опір

$$R_E = \frac{\Delta P_K \cdot U_2^2 \cdot 10^3}{S_{НОМ}^2} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^3}{400,0^2} = 0,0055 \text{ Ом}.$$

Реактивний опір

$$X_E = \frac{U_K \cdot U_2^2 \cdot 10}{S_{НОМ}} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10}{400} = 0,018 \text{ Ом.}$$

За формулою (10)

$$Q_{КНХ1} = Q_{ХД} - \frac{0,024}{R_T} = 8,360 - \frac{0,024}{0,0055} = 3,996 \text{ квар.}$$

За формулою (4), економічність компенсації складає

$$\Delta P_{QX1} = \frac{(8,360 - 3,996)^2}{0,4^2} \cdot 0,0055 \cdot 10^{-3} + 3,996 \cdot 0,0003 = 0,00185 \text{ кВт.}$$

Очевидно, що методом послідовного перебору, за допомогою формули (10), можна підібрати таке значення конденсаторної установки, за якого досягається максимальна її економічність.

Для трансформатора ТМ-400/6 результати такого підбору представлено на рис.3.

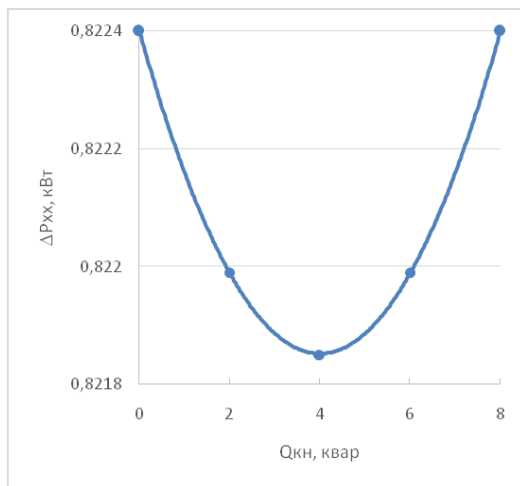


Рис.3. Графік залежності  $\Delta P_{QX} = f(Q_{КНХ1})$

Якщо у якості нормативного значення приймається  $tg\varphi_H = 0,25$  в.о., рекомендоване за офіційною методикою [6], то

$$Q_{КНХ2} = \Delta P_X \cdot \left( \frac{Q_{ХД}}{\Delta P_X} - tg\varphi_H \right) =$$

$$= 0,82 \cdot \left( \frac{8,360}{0,82} - 0,25 \right) = 8,155 \text{ квар.}$$

При цьому, економічність компенсації за тією ж формулою (4) становить

$$\Delta P_{QX2} = \frac{(8,360 - 8,155)^2}{0,4^2} \cdot 0,0055 \cdot 10^{-3} + 8,155 \cdot 0,0003 = 0,00245 \text{ кВт.}$$

Як можна бачити, застосування компенсації неробочого ходу трансформатора, що не відмикається, не може бути рекомендованою до застосування, через перекомпенсацію реактивної потужності його неробочого ходу, що призводить до збільшення активних втрат в трансформаторі.

Крім того, оскільки в схемі заміщення СЕП таку конденсаторну установку постійно ввімкнено послідовно з еквівалентним опором трансформатора, то, у випадку порушення синусоїдальності напруги в мережі, яка його живить, є можливими явища резонансу напруг, що є небезпечним для конденсаторів КУ. При цьому, номер резонансної гармоніки можна визначити за допомогою відомої формули, од.

$$v_P = \sqrt{\frac{X_{KH}}{X_T}}, \quad (14)$$

де  $X_{KH}$  - ємнісний реактивний опір конденсаторної установки, який визначається за відомою формулою, Ом

$$X_{KH} = - \frac{U_{НОМ2}^2 \cdot 10^3}{Q_{KH}}, \quad (15)$$

але приймається з протилежним знаком (плюс).

Таким чином, трансформатори типу ТМ з напругою 6(10)/0,4 кВ у режимі неробочого ходу з компенсацією реактивної потужності можна використовувати тільки у якості фільтрокомпенсуючих пристроїв реактивного навантаження мереж 6(10) кВ.

Реактивний опір конденсаторів в прикладі, що розглядається, становить

$$X_{KH} = - \frac{U_{НОМ}^2 \cdot 10^3}{Q_{KH}} = - \frac{0,4^2 \cdot 10^3}{3,996} = -40,04 \text{ Ом.}$$

При цьому, за формулою (14)

$$V_p = \sqrt{\frac{X_{KH}}{X_E}} = \sqrt{\frac{40,04}{0,018}} = 149,1 \text{ в.о.}$$

Тобто, до вищої гармоніки з номером  $V_p$  еквівалентний опір трансформатора з компенсацією реактивної потужності його неробочого ходу резонанс напруж виключається.

Результати аналогічних розрахунків для усіх інших знижувальних трансформаторів типу  $TM - 6(10)$  із вторинною напругою  $U_{НОМ2} = 0,4$  кВ, оснащених пристроєм ПБВ, представлено в табл.1.

Таблиця 1

Компенсация неробочого ходу трансформаторов ТМ-6(10)/0,4 кВ

№, п/п	$S_{НОМ}$ , кВА	$Q_{ХД}$ , квар	$Q_{KH}$ , квар	$V_p$ , од.
1.	100	2,574	1,813	35,0
2.	160	3,798	2,349	38,9
3.	250	5,712	3,178	41,8
4.	400	8,360	3,996	47,2
5.	630	18,854	11,011	32,2
6.	1000	13,842	0,206	297,1
7.	1600	20,611	-0,818	-
8.	2500	24,694	-12,290	-

### Висновки.

1. Застосування конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ для зменшення активних втрат в режимі неробочого ходу трансформаторів типу  $TM - 6(10)/0,4$ кВ економічно не доцільне. З метою підвищення економічності роботи таких трансформаторів у неробочому режимі систем електропостачання вони підлягають відмиканню.

2. Трансформатори типу  $TM - 6(10)/0,4$ кВ без навантаження, але із спеціальним чином підбраною потужністю конденсаторів 0,4 кВ і додаткових індуктивних реакторів, можуть слугувати у якості фільтро-компенсувальних пристроїв для електричних мереж, що їх живлять.

### Список використаної літератури

1. Дорошенко, О. І. Про математичне моделювання систем електропостачання конкретних промислових споживачів електроенергії [Текст] / О. І. Дорошенко, М. С. Левакін // Електроенерге-

тичні та комп'ютерні системи. – Київ: Техніка, 2016. – Вып. 22(98). – С. 170–174.

2. Левакін, М. С. Про оптимальне реактивне навантаження синхронних електродвигунів [Текст] / М. С. Левакін, О. І. Дорошенко // Електроенергетичні та комп'ютерні системи. – Київ: Техніка, 2016. – Вып. 22(98). – С. 195–199.

3. Ландау, Л. Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц. // М.: Изд. «Наука», Главная редакция физико-математической литературы.– 1969. – 399 с.

4. Дорошенко, О. І. Визначення потужності компенсуючих пристроїв споживачів електроенергії [Текст] / О. І. Дорошенко, С. О. Дорошенко // Електромашинобудування та електрообладнання. Київ, "Техніка", 2001, № 56. – С. 76–80.

5. Каталог фирмы СВ АЛЬТЕРА для энергетиков и инженеров по автоматизации [Текст] / июнь 2010. – 320 с.

6. СОУ – Н МПЕ 40.1.20.510.:2006. Методика визначення економічно доцільних обсягів компенсації реактивної енергії, яка перетікає між електричними мережами електропередавальної організації та споживача (основного споживача та субспоживача) [Текст] / Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку». Київ, 2006. – 48 с.

### References

1. Doroshenko, O. I. 2. Levakin, M. S. (2016) About the more optimal reactive navantazhennya synchronic electrodeson [Pro matematichne modelyuvannya sistem elektropostachannya konkretnih promislovih spozhivachiv elektroenergiyi] the Electricity and the computer system. – Kiev, Tekhnika, Vol. 22(98). P. 170–174.

2. Levakin, M. S., Doroshenko, O. I. (2016) About the more optimal reactive navantazhennya synchronic electrodeson [Pro optimalne reaktivne navantazhennya sinhronnih elektrodviguniv] the Electricity and the computer system. – Kiev: 3.

3. Landau, L. D., Akhiezer, A. I., Lifshitz, E. M. (1969) Course of General physics. Mechanics and molecular physics [Kurs obshchej fiziki. Mekhanika i molekulyarnaya fizika] Izd. Nauka, Home edition physical and mathematical literature.– 399 p

4. Doroshenko, O. I., Doroshenko, S. O. (2001) Proposed paternost kompensuoja pristroim spozhivachiv electroenergy [Viznachennya potuzhnosti kompensuyuchih pristroiyiv

spozhivachiv elektroenergiyi] Elektromasinbuves elektroobladnannya. Kyiv, "Technika", No. 56. P. 76–80.

5. The catalogue of the company SV ALTERA for power engineers and engineers of automation [Katalog firmy SV AL'TERA dlya ehnergetikov i inzhenerov po avtomatizacii] June 2010. – 320 p.

6. SOU – N MPE 40.1.20.510.:2006. The method of determining economically reasonable amounts of reactive power compensation, which flows between the electrical networks

lektroperedacha organizations and consumers (the main consumer and subspicata) [Metodika viznachennya ekonomichno docilnih obsyagiv kompensaciyi reaktivnoyi energiyi, yaka peretikaye mizh elektrichnimi mrezhami elektroperedavalnoyi organizaciyi ta spozhivacha (osnovnogo spozhivacha ta subspozhivacha)] Association of energy enterprises "Branch reserve-investiciniu development Fund". Kiev, 2006. – 48 p.

## REACTIVE POWER COMPENSATION MINIMUM LOAD TRANSFORMERS WITH A SECONDARY VOLTAGE 0.4 KV

I. Doroshenko<sup>1</sup>, T. Druchyna<sup>1</sup>, Yu. G. Sarahman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Odessa national Polytechnic University

<sup>2</sup> private enterprise "Luch"

**Abstract.** An original technique for determining the capacity of a permanently switched-on stage of a capacitor plant with a rated voltage of 0.4 kV, transformers 6 (10) / 0.4 kV, is proposed to reduce losses of active electricity in such transformers of power supply systems. It is assumed that the voltage that is supplied to consumers is a potential form of electricity. At the same time, in the electromagnetic field of consumers' electric receivers (as legal entities), it turns into an electrokinetic form of that kind of energy that can perform a specific useful work. The modern mathematical model of the power supply system is conditionally-mathematical, which considers the reactive component of electricity in the electric power system as a separate type of energy, which is transferred to consumers and determines the volume of its consumption by the amplitude values of the load of their reactive power. Therefore, the robot uses a real-mathematical model of electricity transmission, which allows adequate (according to the current values of such a load) to determine the negative impact of the reactive load of consumers on the energy efficiency of energy resources in the electric power industry. Based on such physical principles, it is proved that at a voltage of 0.4 kV, the reactive load compensating devices in idling mode of power supply system transformers are not economically feasible to use. Transformers in this mode must be turned off. However, under the condition of a special selection of the capacity of the mentioned capacitor installations and inductive reactors, transformers of the TM-6 (10) kV type can be applied in the form of filter-compensating devices of electrical networks that supply consumers with voltage 6 (10) kV.

**Keywords:** mathematical modeling in electric power, mathematical model of the power system, electromagnetic field, formal mathematical model, the quasi-mathematical model, real-mathematical model, the quantization of dielectric media

## КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ХОЛОСТОГО ХОДА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРО СО ВТОРИЧНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 КВ

А. И. Дорошенко<sup>1</sup>, Т. О. Дручина<sup>1</sup>, Ю. Г. Сарахман<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одесский национальный политехнический университет

<sup>2</sup>ООО «Проминь»

**Аннотация.** Предлагается оригинальная методика определения мощности постоянно включенной ступени конденсаторной установки с номинальным напряжением 0,4 кВ, которая «глухо» присоединена к зажимам вторичного напряжения трансформаторов 6(10)/0,4 кВ, с целью уменьше-

ния потерь активной электроэнергии в упомянутых трансформаторах систем электроснабжения конкретных потребителей электроэнергии. Ссылаясь на незначительный экономический эффект, показано, что в режиме холостого хода таких трансформаторов их целесообразно отключать. Показано, что при соответствующем подборе мощности конденсаторов можно получить пассивные фильтры для снижения перенапряжений при однофазных замыканиях в электрических сетях 6(10) кВ, питающих потребителей.

**Ключевые слова:** математическое моделирование в электроэнергетике, математическая модель системы электроснабжения, электромагнитное поле, активные потери от реактивной нагрузки, резонанс напряжений, пассивные резонансные фильтры.

Отримано 13.03.2018 г.



**Дорошенко Олександр Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: ad5373477@gmail.com, tel. +38-067-762-95-89.

**Doroshenko Alexander**, candidate of technical Sciences, associate Professor, Professor of Department of electrical and energy management Odessa national Polytechnic University. Prosp. Shevchenko, 1, Odessa, Ukraine, E-mail: dai1938@yandex.ua, тел. +38-067-762-95-89.

**ORCID:** 0000-0001-5540-7025



**Дручина Тетяна Оскамбаївна**, старший викладач кафедри електропостачання та енергоменеджменту Одеського національного політехнічного університету. Телефон 098-530-87-91.

e-mail: t.druchina@ukr.net

**Druchina Tatiana Oskambaevna**, Senior Lecturer, Department of Power Supply and Energy Management, Odessa National Polytechnic University. Phone 098-530-87-91. e-mail: t.druchina@ukr.net

**ORCID:** 0000-0002-3770-9721



**Сарахман Юрій Георгійович**, головний електрик приватного підприємства «Промінь».

Телефон 068-818-01-55. e-mail: yura.sarakhman2011@yandex.ua

**Sarakhman Yuri Georgievich**, master electrician private enterprise "Luch"..

Phone 068-818-01-55. e-mail: yura.sarakhman2011@yandex.ua

**ORCID:** 0000-0001-7920-6797