

СТАТИЧНА ВЕКТОРНО-КВАНТОВА МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ ПРОМИСЛОВИМ І ДОРІВНЕНИМ ДО НИХ СПОЖИВАЧАМ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ НАПРУЗІ 0,4 КВ

О. І. Дорошенко¹, С. О. Борисенко²

¹Одеський національний політехнічний університет

²ООО «Оделеко»

Анотація. Спираючись на сучасну квантову фізику, пропонується оригінальний підхід до принципу моделювання електропередавання електричної енергії промисловим і дорівненим до них споживачам з розрахунковою потужністю до 1000 кВА, яке здійснюється за допомогою трансформаторів типу ТМ – 6(10)/0,4 кВ, за умови того, що їх вторинна напруга є потенційною формою електромагнітної енергії СЕП таким споживачам. Розроблено статичну векторно-квантову модель такого електропередавання, вважаючи головним критерієм її ефективності коефіцієнт реактивного навантаження СЕП.

Ключові слова: реально-математичне моделювання в електроенергетиці, квантування електрично пружного діелектричного середовища електропередавання, електромагнітне поле, електромагнітна сумісність, головний критерій електромагнітної сумісності електроенергетичних систем

Вступ

Як відомо з [1], система електропостачання (СЕР) конкретному споживачу електроенергії являє собою сукупність джерела електричної енергії, яке розташоване в межах загальної електроенергетичної системи (ЕЕС), як технологічної

підсистеми електроенергетики, і електричної мережі (повітряної або кабельної), яка приєднує до такого джерела приймальний її пункт в межах згаданої системи. Принципову схему електропередавання за таким визначенням можна представити у вигляді рис.1.



Рис. 1. Принципова схема електропередавання конкретному споживачу електроенергії

Як можна бачити, точка 0 є джерелом електроенергії, до якої кабельна лінія L приєднує приймальний пункт електроенергії (ПП) – точка 1, яка є затискачами первинної обмотки знижувального трансформатора напруги типу ТМ – 6(10)/0,4 кВ. Таким чином, в межах 0 – 1 діє СЕР1, як система зовнішнього електропостачання.

Очевидно, що точку 2 цієї схеми можна вважати джерелом живлення системи внутрішнього електропостачання (СЕР2), яка діє в межах трансформатора ТМ і затискачами конкретних електроприймачів конкретної СЕР, як перетворювачів електричної енергії у таку, що

виконує корисну роботу – крутить, світить або нагріває. У відповідності до визначення в [1], такі електроприймачі вважаються фізичними споживачами електроенергії, а їх сукупність, розташовану на загальній території і охоплену загальною технологічною виробничою задачею – юридичною особою (підприємством – промисловим або дорівненим до нього).

Перший виготовляє промисловим способом конкретну продукцію, а другий – виробляє таким же способом послугу. У відповідності до визначення в [2], у великих обсягах і продає на ринку за цінами, які встановлено за нормативними документами на державному рівні і контролюються спеціальними державними організаціями.

© Дорошенко О. І., Борисенко С. О., 2020

Зважаючи на те, що технологічний процес вироблення електричної енергії (електроенергії) промисловим способом в електроенергетиці полягає у тому, що така енергія, фізично, є різницею електричних потенціалів на затискачах реально діючих електроустановок – напругою та спираючись на [3], в [4] було рекомендовано вважати таку напругу потенційною формою енергії, яку реальні електроприймачі за допомогою власних електромагнітних полів перетворюють в електромагнітну енергію, для виконання відповідної корисної роботи.

Така концепція реально підтверджується діючим в Україні і за її рубежами, нормативним документом [5], де всі показники якості напруги, як товарної продукції електроенергетики, вважаються показниками якості електромагнітної енергії.

Таким чином, робочим інструментом будь-якої електроустановки являється її електромагнітне поле, яке створюється одночасною дією напруги і струму провідності її струмоведучих частин в діелектричному середовищі, яке оточує згадані частини, під впливом магнітного поля Землі, як невід'ємної частини її поля гравітації.

Об'єктом дослідження даної роботи є електромагнітне поле трансформатора схеми рис.1, як діючої електроустановки, яка передає напругу (потенційну форму електромагнітної енергії) з СЕП1 до СЕП2 конкретному споживачу електроенергії.

Мета дослідження – спираючись на роботи [6] та [7], розробити методику визначення оптимального співвідношення між реактивним і активним навантаженням трансформатора СЕП конкретному споживачу електроенергії при номінальній напрузі 0,4 кВ

Результати дослідження

Як відомо, напруга джерела живлення СЕП2 конкретному споживачу електроенергії має регулюватись в межах

$$U_2 \pm 0,05 \cdot U_{НОМ}, \text{ кВ} \quad (1)$$

де $U_{НОМ} = 0,4$ – номінальна вторинна напруга електропередавання (трансформатора), як діючої електроустановки, кВ.

На рис.1 можна бачити, що до точки 1 це напруга зовнішнього електропостачання 6(10) кВ, а за точкою 2 починається система внутрішнього електропередавання, де діє номінальна напруга $U_{НОМ2} = 0,4$ кВ. При цьому, у якості ПП такої СЕП слугують затискачі первинної обмотки знижувального трансформатора типу ТМ- 6(10)/0,4 кВ, рис.2.

Такий трансформатор у змозі регулювати свою вторинну напругу перемиканням числа витків первинної обмотки в межах $\pm 2 \times 2,5\% U_{НОМ}$ без його збудження (ПБЗ) – у відімкненому стані,

При цьому, залежно від положення перемикача П, трансформатор змінює коефіцієнт трансформації у залежності від номінальних значень таблиці 1

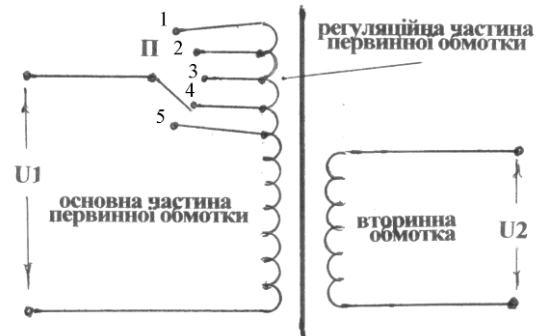


Рис. 2. Принципова схема обмоток трансформатора типу ТМ з ПБЗ

Таблиця 1

Коефіцієнти трансформації ПБЗ

$P_{№}$, од.	K_{TP} , в.о.
1	15,750
2	15,375
3	15,000
4	14,625
5	14,250

Тобто, мінімальне значення напруги U_1 точки 1 (рис.1) в режимі максимального навантаження споживача не може бути меншим ніж $U_1 = 0,95 \cdot U_{НОМ}$, кВ, а відхилення напруги точки 1 СЕП будь-якого рівня електропостачання від його номінального значення має бути в межах

$$1,05 \cdot U_{НОМ} \geq U_1 \geq 0,95 \cdot U_{НОМ} \quad (2)$$

Таким чином, відхилення напруги можна вважати головним фізичним критерієм електромагнітної сумісності системи, за якого така система може виконувати згадану раніше, триєдину задачу електроенергетики. При цьому ліву частину співвідношення (2) мають додержувати електричні мережі постачальників напруги, а праву – її споживачі.

Енергопостачальні організації мають здійснювати контроль за електричним навантаженням споживачів за допомогою нормативного значення напруги ПП в їх СЕП і застосовувати

штрафні санкції у разі не дотримання такого нормативу.

Визначення розрахункового (максимального) навантаження конкретного споживача електроенергії проводиться за нормативним документом [8], який спирається на Закон України «Про електроенергетику», Правила користування електричною енергією та Положення про державний енергетичний нагляд за режимами споживання електричної і теплової енергії.

Виміри проводяться в години ранкового (з 10⁰⁰ до 13⁰⁰) та вечірнього (за його наявності, з 18⁰⁰ до 21⁰⁰) за допомогою послідовної фіксації показань засобів витоку активної і реактивної енергії, табл.2.

Таблиця 2

Години виміру	
10 ⁰⁰ - 10 ³⁰	18 ⁰⁰ - 18 ³⁰
10 ³⁰ - 11 ⁰⁰	18 ³⁰ - 19 ⁰⁰
11 ⁰⁰ - 11 ³⁰	19 ⁰⁰ - 19 ³⁰
11 ³⁰ - 12 ⁰⁰	19 ³⁰ - 20 ⁰⁰
12 ⁰⁰ - 12 ³⁰	20 ⁰⁰ - 20 ³⁰
12 ³⁰ - 13 ⁰⁰	22 ³⁰ - 21 ⁰⁰

З шести таких значень вибирають максимальне значення електроенергії:

Активної – $W_{P_{MAX}}$, кВт·г.

Реактивної – $W_{Q_{MAX}}$, квар·г.

Розрахункову потужність визначають за формулами:

Активної, кВт

$$P_p = \frac{W_{P_{MAX}}}{0,5} \quad (3)$$

Реактивної, квар

$$Q_d = \frac{W_{Q_{MAX}}}{0,5} \quad (4)$$

На відміну від формули (3), формула (4) визначає діюче значення потужності реактивного навантаження споживача.

За рекомендацією [9], при математичному моделюванні буд-якого фізичного процесу необхідно пам'ятати: «...Математическая постановка технической задачи является самой сложной и важной частью работы. Важны не столько выбираемые математические методы расчета, сколько выбранные упрощения первоначальной, подлежащей решению физической задачи...».

Очевидно, що у якості фізичного спрощення трансформаторного електропередавання має бути вибраною заступна схема трансформатора,

яка є своєрідним містком для переходу від фізики роботи електропередавання до його математики і навпаки – від математики до фізики, рис.3.

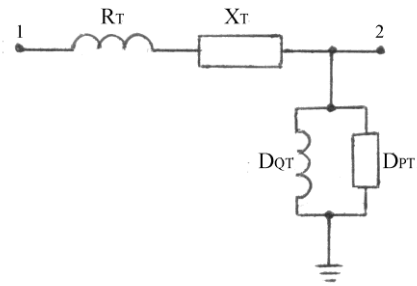


Рис.3. Заступна схема силового трансформатора

Як відомо, її параметрами є активний і реактивний опори та втрати активної і реактивної потужності трансформатора, які визначаються приведеними до вторинної напруги з урахуванням його паспортних параметрів, за відомими формулами:

Активний опір трансформатора, Ом

$$R_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_2^2}{S_{НОМ}^2} \cdot 10^3, \quad (5)$$

де ΔP_K - активні втрати короткого замикання,

кВт; U_2 - вторинна номінальна напруга

$U_{НОМ} = 0,4$ кВ; $S_{НОМ}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА.

Реактивний опір трансформатора, Ом

$$X_T = \frac{U_K \cdot U_2^2}{S_{НОМ}} \cdot 10, \quad (6)$$

де U_K - напруга короткого замикання, %.

Активні втрати трансформатора, кВт

$$D_{PT} = dp_x + \Delta P_K \cdot \beta_T^2, \quad (7)$$

де dp_x - активні втрати неробочого ходу трансформатора, кВт; β_T - коефіцієнт навантаження трансформатора, який визначається відомою формулою, в.о.

$$\beta_T = \frac{S_p}{S_{НОМ}}; \quad (8)$$

S_p - розрахункове повне навантаження трансформатора, кВА.

Реактивні втрати трансформатора (діюче значення), квар

$$D_{QT} = dq_x + \Delta Q_K \cdot \beta_T^2, \quad (9)$$

де dqx - реактивні втрати неробочого ходу трансформатора, які можна визначити за формулою, квар

$$dqx = \frac{\sqrt{\left(\frac{Ix \cdot S_{НОМ}}{100}\right)^2 - dp_x^2}}{\sqrt{2}}; \quad (10)$$

ΔO_K - реактивні втрати короткого замикання трансформатора, які можна визначити за формулою, квар

$$\Delta O_K = \Delta P_K \cdot \frac{X_T}{R_T \cdot \sqrt{2}} = \frac{a \cdot \Delta P_K}{\sqrt{2}}, \quad (11)$$

де a - характеристичний коефіцієнт трансформатора, як частини електропередавання, в.о.

$$a = \frac{X_T}{R_T}. \quad (12)$$

Втрати напруги в трансформаторі його робочого режиму можна визначити формулою, В

$$\Delta U_T = ((P_P + D_{PT}) \cdot R_T + (Q_D + D_{QT}) \cdot X_T) / U_2, \quad (13)$$

де $U_2 = U_{НОМ} = 0,4$ кВ.

Таким чином, втрати напруги в трансформаторі при електропередаванні залежить від коефіцієнта його навантаження і від співвідношення між його реактивною і активною потужністю такого навантаження, яке в [6] і [7] було визнано у якості головного критерія електромагнітної сумісності СЕП, що живиться напругою від такого трансформатора.

Спираючись на класичну фізику і на теорему Пойтинга, в роботі [4] було запропоновано реально-математичну модель електропередавання, сутність якої пояснює рис.4.

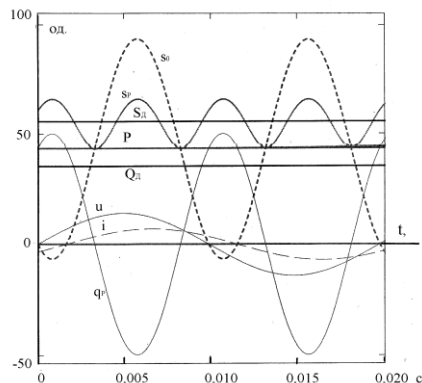


Рис.4. Реально-математична модель трансформатора

При цьому, спираючись на фізику квантування ([6] та [7]) електрично пружного діелектричного середовища струмоведучих частин обмоток трансформатора можна рекомендувати до практичного застосування його статичну векторну модель, яка поєднує фізику рис.3 та математику рис.4 і представлена на рис. 5.

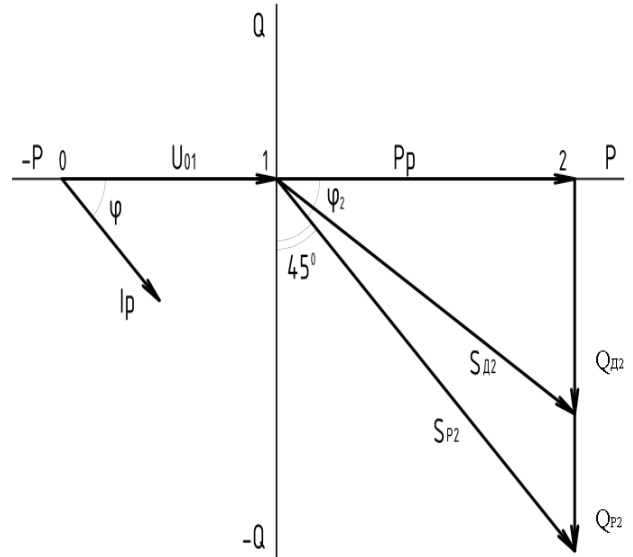


Рис.5. Статична векторно-квантова модель силового трансформатора

За рекомендацією [8], економічність реактивного навантаження СЕП можна визначити за співвідношенням, в.о.

$$K_{\Delta PQ} = \frac{tg\varphi_{D1}^2 - tg\varphi_H^2}{!+tg\varphi_{D1}^2}, \quad (14)$$

де $tg\varphi_{D1}$ - діюче значення коефіцієнта реактивного навантаження СЕП в режимі її максимального навантаження, в.о.; $tg\varphi_H$ - нормативне значення згаданого коефіцієнта, яке має бути залежним від номінальної потужності трансформатора, в.о.

Числові значення такого нормативного коефіцієнта наведено в табл.3. Їх можна вважати економічним еквівалентом реактивного навантаження конкретного трансформатора.

Практичне використання концепції, моделювання режиму трансформаторного електропередавання розглядається на такому прикладі.

Нормативні значення Q_{KH} і коефіцієнта реактивного навантаження трансформатора $tg\varphi_H$, в.о.

$S_{НОМ}$, кВА	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
Q_{KH} , квар	13,0	19,0	27,5	41,5	55,0	71,5	110,5	219,0	313,0
$tg\varphi_H$, в.о.	0,2358	0,2788	0,3155	0,3353	0,4050	0,4631	0,4715	0,4148	0,4337

Трансформатор споживача $TM-400/6$ живиться від електричної мережі ЕЕС з номінальною напругою $U_{НОМ} = 6$ кВ, від її точки де відсутнє її регулювання, за принциповою схемою рис. 1.

Вимірювання навантаження СЕП за методикою [8] дали наступні результати:

В режимі максимального навантаження:

$$W_{P_{MAX}} = 135 \text{ кВт} \cdot \text{год.}; \quad W_{Q_{MAX}} = 88 \text{ квар} \cdot \text{год.}$$

$$U_{21} = 378 \text{ В.}$$

В режимі мінімального навантаження:

$$W_{P_{MIN}} = 13,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}; \quad W_{Q_{MIN}} = 9 \text{ квар} \cdot \text{год.}$$

$$U_{21} = 400 \text{ В.}$$

При цьому розрахункова потужність споживача становить:

Максимальна активна, за (3)

$$P_{P1} = \frac{135,0}{0,5} = 270,0 \text{ кВт.}$$

Максимальна реактивна (діюча), за (4)

$$Q_{D1} = \frac{88,0}{0,5} = 176,0 \text{ квар.}$$

Мінімальна активна, за (3)

$$P_{P2} = \frac{13,5}{0,5} = 27,0 \text{ кВт.}$$

Мінімальна реактивна (діюча), за (4)

$$Q_{D2} = \frac{9,0}{0,5} = 18,0 \text{ квар.}$$

При цьому, перемикач пристрою ПБЗ трансформатора займає положення № 5, за якого коефіцієнт його трансформації (табл. 1) становить величину $K_T = 14,250$ од.

Розрахунок режиму максимального навантаження СЕП.

Розрахункова повна потужність СЕП (діюче значення)

$$S_{P1} = \sqrt{P_{P1}^2 + Q_{D1}^2} = \sqrt{270,0^2 + 176,0^2} = 322,298 \text{ кВА.}$$

Коефіцієнт навантаження трансформатора

$$\beta_{T1} = \frac{S_{P1}}{S_{НОМ}} = \frac{322,298}{400} = 0,806 \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт активного навантаження СЕП

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_P}{S_{P1}} = \frac{270,0}{322,298} = 0,8377 \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт реактивного навантаження СЕП (діюче значення)

$$tg\varphi_{D1} = \frac{Q_{D1}}{P_P} = \frac{176,0}{270,0} = 0,6518 \text{ в.о.}$$

Активні втрати трансформатора, за (7)

$$D_{PT1} = 0,820 + 5,5 \cdot 0,806^2 = 4,393 \text{ кВт.}$$

Реактивні втрати трансформатора (діюче значення), за (9)

$$D_{QT1} = 5,911 + 12,728 \cdot 0,806^2 = 14,180 \text{ квар.}$$

Втрати напруги у трансформаторі, за (13)

$$\Delta U_{T1} = ((270,0 + 4,393) \cdot 0,0055 + (176,0 + 14,180) \cdot 0,0180) / 400 = 26,4 \text{ В.}$$

Напруга точки 2, рис.3, за формулою

$$U_{21} = U_{НОМ} - \Delta U_{T1} = 400,0 - 26,4 = 373,6 \text{ В}$$

Як можна бачити, необхідна компенсація реактивного навантаження СЕП за допомогою конденсаторної установки з конденсаторами $U_{НОМ} = 0,4$ кВ. За рекомендацією нормативного документа [10] її потужність визначається за формулою

$$Q_{KH} = \sqrt{2} \cdot P_{P1} \cdot (tg\varphi_{D1} - tg\varphi_H) = \sqrt{2} \cdot 270,0 \cdot (0,6518 - 0,4715) = 68,845 \text{ квар.}$$

Приймається стандартна конденсаторна установка $Q_{KH} = 70$ квар.

При цьому, навантаження трансформатора мають складати величину:

$$P_{PKH} = 270,0 + 0,0003 \cdot 70,0 = 270,021 \text{ кВт.}$$

Реактивне

$$Q_{DKH} = Q_{D1} - \frac{Q_{KH}}{\sqrt{2}} = 176,0 - \frac{70,0}{\sqrt{2}} = 126,502 \text{ квар.}$$

Таким чином, з компенсацією:

$$S_{P1KH} = \sqrt{270,021^2 + 126,502^2} = 298,185 \text{ кВА.}$$

$$\beta_{T1KH} = \frac{298,185}{400} = 0,745 \text{ в.о.}$$

$$\cos \varphi_{1KH} = \frac{270,021}{298,185} = 0,9055 \text{ в.о.}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{1KH} = \frac{126,502}{270,021} = 0,4685 \text{ в.о.}$$

$$\Delta P_{T1KH} = 0,820 + 5,5 \cdot 0,745^2 = 3,873 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{T1KH} = 5,911 + 12,728 \cdot 0,745^2 = 12,975 \text{ квар.}$$

$$\Delta U_{TKH} = ((270,021 + 3,873) \cdot 0,0055 + (126,502 +$$

$$+ 12,975) \cdot 0,0180) / 0,4 = 10,0 \text{ В.}$$

$$U_{2KH} = 400,0 - 10,0 = 390,0 \text{ В.}$$

Розрахунок режиму мінімального навантаження СЕП.

Розрахункова повна потужність СЕП (діюче значення)

$$S_{P2} = \sqrt{P_{P2}^2 + Q_{D2}^2} = \sqrt{27,0^2 + 18,0^2} = 32,450 \text{ кВА.}$$

Коефіцієнт навантаження трансформатора

$$\beta_{T2} = \frac{S_{P2}}{S_{НОМ}} = \frac{32,450}{400} = 0,081 \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт активного навантаження СЕП

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_{P2}}{S_{P2}} = \frac{27,0}{32,450} = 0,8320 \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт реактивного навантаження СЕП (діюче значення)

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q_{D2}}{P_{P2}} = \frac{18,0}{27,0} = 0,6667 \text{ в.о.}$$

Активні втрати трансформатора, за (7)

$$D_{PT2} = 0,820 + 5,5 \cdot 0,081^2 = 0,856 \text{ кВт.}$$

Реактивні втрати трансформатора (діюче значення), за (9)

$$D_{QT2} = 5,911 + 12,728 \cdot 0,081^2 = 5,994 \text{ квар.}$$

Втрати напруги у трансформаторі, за (13)

$$\Delta U_{T2} = ((27,0 + 0,856) \cdot 0,0055 + (18,0 + 5,994) \cdot 0,0180) / 0,4 = 1,5 \text{ В.}$$

Напруга точки 2, рис.3, за формулою

$$U_{22} = U_{НОМ} - \Delta U_{T2} = 400,0 - 1,5 = 398,5 \text{ В}$$

Таким чином, конденсаторна установка СЕП має бути регульованою за величиною напруги точки 2 або за величиною коефіцієнта її реактивного навантаження і в режимі мінімального навантаження споживача повинна бути відімкненою.

Минулий розрахунковий період (календарний місяць) СЕП характеризується такими даними:

Активне електроспоживання
 $WP = 21333 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$

Вартість активного електроспоживання
 $CeP = 3812327 \text{ грн.}$

Виток реактивної електроенергії
 $WQ = 11826 \text{ квар} \cdot \text{год.}$

Число годин максимального навантаження
 $T_M = 25 \text{ год./міс.}$

При цьому,

$$\operatorname{tg} \varphi_D = \frac{WQ}{WP} = \frac{11826}{21333} = 0,5543 \text{ в.о.}$$

Економічність застосування компенсації можна визначити за формулою (14)

$$K_{\Delta PQ} = \frac{0,5543^2 - 0,4715^2}{+0,5543^2} = 0,0650 \text{ в.о.}$$

Вартість реактивного навантаження

$$CeQ = K_{\Delta PQ} \cdot CeP = 0,0650 \cdot 3812327 = 247801 \text{ грн./міс.}$$

За даними [11], ціна регульованої конденсаторної установки з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ знаходиться на рівні

$$C_{KH} = 2872200 \text{ грн.}$$

При цьому строк її окупності може скласти величину

$$T_{OK} = \frac{C_{KH}}{CeQ} = \frac{2872200}{247801} = 11,6 \text{ міс.}$$

Як можна бачити, строк зкуплення такої регульованої конденсаторної установки не перебільшує одного року, що підтверджує доцільність її застосування у даному конкретному прикладі СЕП конкретному споживачу електроенергії.

Висновки

1. Силовий знижувальний трансформатор з вторинною напругою $U_{НОМ} = 0,4 \text{ кВ}$ можна вважати джерелом електроенергії (напруги), як потенційної форми електромагнітної енергії СЕП конкретному промислового, і дорівненому до нього, споживачу електроенергії.

2. Заступна схема силового трансформатора є своєрідним містком для переходу від фізики дії такого трансформатора до математики режимів його дії і навпаки.

3. Спираючись на принцип суперпозиції, електромагнітне поле будь-якого електропередавання, у тому числі і трансформаторного, можна представляти у вигляді загального квантона його поляризованого діелектричного середовища.

4. У поздовжньому напрямку електромагнітного поля трансформатора незмінно діють сили Кулона, створюючи активну складову потужності (енергії) такого поля.

5. У поперечному напрямку електромагнітного поля трансформатора діють сили Каріоліса, які періодично, створюючи синусоїдально змінну реактивну складову потужності (енергії) такого поля, величина якої чотириразово змінюється протягом періоду зміни струму провідності струмоведучих частин (обмоток) трансформатора від нуля до амплітуди кожних 45 градусів.

6. У розрахунку нормального режиму роботи трансформатора необхідно використовувати діюче значення реактивної потужності навантаження СЕП, яке у $\sqrt{2}$ разів менше від його амплітудного значення.

7. Номінальну потужність конденсаторної установки при її застосуванні для компенсації реактивного навантаження трансформатора необхідно вважати її амплітудним значенням.

8. Коефіцієнт реактивного навантаження СЕП необхідно вважати головним критерієм її електромагнітної сумісності, який необхідно нормувати для кожного трансформатора, залежно від його номінальної потужності.

9. При нормативному значенні коефіцієнта реактивного навантаження СЕП втрати напруги в її трансформаторі не повинні перебільшувати величину 10 В, за яких його вторинна напруга, як напруга джерела живлення електроприймачів становить величину $U_2 \geq 1,025 \cdot U_{НОМ}$.

10. Знижувальний трансформатор СЕП конкретному споживачу електроенергії можна вважати джерелом потенційної форми (напруги) електромагнітної енергії системи його внутрішнього електропостачання.

11. Нормативне значення коефіцієнта реактивного навантаження трансформатора є базою для визначення економічного еквівалента реактивного навантаження СЕП конкретному споживачу електроенергії.

12. Розроблення методики визначення нормативного значення економічного еквівалента реактивної потужності навантаження СЕП конкретному споживачу електроенергії є важливою проблемою електроенергетики, яка потребує невідкладного вирішення.

Список використаної літератури

1. Правила устрою електроустановок [Текст] / -Х.: Изд-во "Форт", 2017. -704 с.

2. Сергеев, И. В. Экономика предприятия [Текст]: учебн. пос. / И. В. Сергеев. - М. Финансы и статистика, 2001. - 304 с.

3. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Изд. 6-е. Учебник для студ. энергетич. и электротехнич. вузов. [Текст] / Л. А. Бессонов // - М.: Высш. школа, 1973. - 752 с

4. Дорошенко, О. І. Розроблення фізичної бази для математичного моделювання процесу електропередавання [Текст] / О. І. Дорошенко, О. В. Романюк, С. О. Борисенко // Технологический аудит и резервы производства - № 4/1(24). Харьков, 2015. - С. 51-55. DOI: 10/15587/2312-8372.2015.47770.

5. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст] / - Минск: Издательство стандартов, 1998. - 31 с.

6. Леонов, В. С. Теория упругой квантованной среды [Текст] / В. С. Леонов // Мн.: Бис-принт, 1996. - 156 с.

7. Леонов, В. С. Теория упругой квантованной среды. Часть 2. Новые источники энергии. [Текст] / В. С. Леонов // Минск: «ПолиБиг», 1997. - 122 с

8. Дорошенко, О. І. Про нормування реактивного навантаження промисловим і дорівненим до них споживачам електроенергії [Текст] / О. І. Дорошенко, С. О. Борисенко, П. П. Ненов, А. С. Пасько // Електротехнічні та комп'ютерні системи. - Астропринт, 2019. - № 30(106). - С. 54-62.

9. Дорошенко, О. І. Методика нормування головного критерію електромагнітної сумісності систем електропостачання промисловим і дорівненим до них споживачам електроенергії [Текст] / О. І. Дорошенко, А. С. Пасько // Електротехнічні та комп'ютерні системи. 2019. - № 31(107). - С. 51-62.

10. Методика проведення контрольних вимірів фактичної електричної потужності в споживачів у години максимуму навантаження об'єднаної енергетичної системи України [Текст] / Видавництво «Форт». Харків, 2004. - 11 с.

11. Бучковский, И. Р. Физические явления внутреннего резонанса в электрооборудовании с обмотками высокого напряжения [Текст] / И. Р. Бучковский, М. М. Молнар, А. Л. Никонец, Л. А. Никонец, М. Б. Сабо / Под ред. Никонца А. Л. // Львов: НВФ «Українські технології», 2012. - 167 с.

12. Нормативний документ. Методика визначення економічно доцільних обсягів компенсації реактивної енергії, яка перетікає між

електричними мережами електропередавальної організації та споживача (основного та субспоживача) [Текст] // – К.: Об'єднання енергетичних підприємств “Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики”, 2006. – 70 с.

13. Сайт Voitenergo@com.ua.

References

1. Rules for the installation of electrical installations [Pravila ustroystva elektroustanovok] (2017) Publishing house “Fort”, –704 p.

2. Sergeev, I. V. (2001) Enterprise Economics textbook. pos. [Ekonomika predpriyatiya] - M. Finances and Statistics,. – 304 p.

3. Bessonov, L. A. (1973) Theoretical foundations of electrical engineering. Ed. 6th Textbook for students Energetic and electrical engineering universities. [Teoreticheskiye osnovy elektrotekhniki] M. Higher. School – 752 p.

4. Doroshenko, O. I., Romanyuk, O. I., Borisenko, S. O. (2015) Development of the physical basis for mathematical modeling of the transmission process [Rozroblennya fizychnoyi bazy dlya matematychnoho modelyuvannya protsesu elektroperedavannya] Technological audit and production reserves - № 4/1 (24). Kharkov,. - P. 51–55. DOI: 10/15587 / 2312-8372.2015.47770.

5. GOST 13109–97. Interstate standard. Electric Energy. Electromagnetic compatibility. Quality standards for electric energy in general power supply systems [Mezhgosudarstvennyy standart. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya] Minsk: Publishing house of standards, 1998. – 31 p.

6. Leonov, V. C. (1996) Theory of an elastic quantized medium. [Teoriya uprugoy kvantovannoy sredy] Mn. Bisprint. – 156 p.

7. Leonov, V. C. (1997) Theory of an elastic quantized medium/ Part 2. Nev enegy sources. [Teoriya uprugoy kvantovannoy sredy. Chast 2/ Novyye istochniki tntrgii.] Minsk: Polybig.. – 122 p.

8. Doroshenko, O. I., Borisenko, S. O., Nenov, P. P., Pasko, A. S. (2019) On the normalization

of reactive load for industrial and related consumers of electricity [Pro normuvannya reaktyvnoho navantazhennya promyslovym i dorivnenym do nykh spozhyvacham elektroenerhiyi] Electrical and computer systems. Astroprint,. No. 30 (106). p. 54–62.

9. Doroshenko, O. I., Pasko, A. S. (2019) Methods of rationing the main criterion of electromagnetic compatibility of power supply systems for industrial and electricity consumers equal to them. [Metodyka normuvannya holovnoho kryteriyu elektromahnitnoyi sumisnosti system elektropostachannya promyslovym i dorivnenym do nykh spozhyvacham elektroenerhiyi] Electrical and computer systems. Astroprint, № 31 (107). P. 51–62.

10. Technique of performing control measurements of actual electric power in consumers at hours of maximum load of the unified energy system of Ukraine [Metodyka provedennya kontrol'nykh vymiriv faktychnoyi elektrychnoyi potuzhnosti v spozhyvachiv u hodyny maksimumu navantazhennya ob'yednanoyi enerhetychnoyi systemy Ukrayiny] (2004) Fort Publishing House. Kharkiv, – 11 p.

11. Buchkovsky, I. R., Molnar, M. M., Nikonets, A. L., Nikonets, L. A., Sabo, M. B. (2012) Physical phenomena of internal resonance in electrical equipment with high voltage windings [Fizicheskiye yavleniya vnutrennego rezonansa v elektrooborudovanii s obmotkami vysokogo napryazheniya] Lvov: Scientific-Industrial Fund “Ukrainian Technologies”, 167 p.

12. Regulatory document. Technique of value estimation of economically expedient volumes of reactive energy compensation that flows between the electric networks of the power transmission organization and the consumer (main and sub-consumer) [Normatyvnyy dokument. Metodyka vyznachennya ekonomichno dotsil'nykh obsyahiv kompensatsiyi reaktyvnoyi enerhiyi, yaka peretikaye mizh elektrychnymy merezhamy elektroperedaval'noyi orhanizatsiyi ta spozhyvacha (osnovnoho ta subspozhyvacha)] (2006). 70 p.

13. Website Voitenergo@com.ua.

STATIC VECTOR-QUANTUM TRANSFORMER MODEL ELECTRIC TRANSMISSIONS INDUSTRIAL AND SIMILAR TO THEM ELECTRICITY CONSUMERS UNDER 0.4 KV

O. I. Doroshenko¹, S. A. Borisenko²

¹Odessa National Polytechnic University

²OOO “Odeleko”

Abstract. Based on modern quantum physics, an original approach is proposed to the principle of modeling the transmission of electrical energy to industrial and equated consumers with a design power of up to 1000 kVA, which is performed using transformers of the TM-6(10)/0,4 kV type, provided that their secondary voltage is a potential form of SES electromagnetic energy supplied to such consumers. At the same time, the

normal mode of the maximum load of the transformer is considered when its active and reactive loads are equal, at which the reactive load factor of the consumer's power supply system has the highest permissible value (the phase angle of the sinusoidal voltage current is zero). A static vector-quantum model of a transformer power transmission has been developed, which simplifies the understanding of the process of compensating for the reactive load of a transformer and makes it possible to refine the operating power of a capacitor bank with 0.4 kV capacitors. At the same time, the idea is confirmed that the value of the reactive load factor of a transformer is not only the main criterion for the electromagnetic compatibility of the SES of a particular electricity consumer, but also a criterion for its economic efficiency. Using the numerical value of such a coefficient, it is possible to determine the value of the economic equivalent of the reactive load of a particular SES. At the same time, such a coefficient should be normalized to each specific consumer at the point of division of the balance sheet belonging to the electrical network of such a consumer.

Keywords: real-mathematical modeling in the electric power industry, quantization of an electrically spring dielectric transmission medium, electromagnetic field, electromagnetic compatibility, the main criterion for electromagnetic compatibility of electric power systems.

СТАТИЧЕСКАЯ ВЕКТОРНО-КВАНТОВАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРОМЫШЛЕННЫМ И ПРИРАВНЕННЫМ К НИМ ПОТРЕБИТЕЛЯМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ НАПРЯЖЕНИИ 0,4 КВ

А. И. Дорошенко¹, С. А. Борисенко²

¹Одесский национальный политехнический университет

²ООО «Оделеко»

Аннотация. Опираясь на современную квантовую физику, предлагается оригинальный подход к принципу моделирования электропередачи электрической энергии промышленным и приравненным к ним потребителям с расчетной мощностью до 1000 кВА, которая совершается с помощью трансформаторов типа ТМ – 6(10)/0,4 кВ, при условии того, что их вторичное напряжение является потенциальной формой электромагнитной энергии СЭС поставляемой таким потребителям. При этом, рассматривается нормальный режим максимальной нагрузки трансформатора при равенстве его активной и реактивной нагрузок, при которых коэффициент реактивной нагрузки системы электроснабжения потребителя, имеет наибольшее допустимое значение.

Ключевые слова: реально-математическое моделирование в электроэнергетике, квантование электрически пружинной диэлектрической среды электропередачи, электромагнитное поле, электромагнитная совместимость, главный критерий электромагнитной совместимости электроэнергетических систем.

Отримано 17.03.2020



Дорошенко Александр Иванович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: dai010438@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: dai010438@gmail.com, тел. +38-067-762-95-89.

ORCID: 0000-0001-5540-7025



Борисенко Світлана Олександрівна, інженер-проектувальник ООО «Оделеко», вул. Люсдорська дорога, 140-б, Одеса, Україна.

E-mail: sborisenko1975@gmail.com, тел. +38-097-219-62-01.

Borisenko Svitlana, engineer-designer ООО "Odeleko", street of Lustdorf road, 140-b, Odesa, Ukraine.

E - mail: sborisenko1975@gmail.com, tel. 38-097-219-62-01

ORCID: 0000-0002-3298-8047