МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНИВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ГОВОРОВ ВЛАДЛЕН ПИЛИПОВИЧ

УДК 621.314.22

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ МІСТ В УМОВАХ СЛАБКОЇ КОРЕЛЯЦІЇ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕНЬ ТА НЕЛІНІЙНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі систем електропостачання та електроспоживання міст Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова Міністерства освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Терьошин Віктор Миколайович,
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова,
головний науковий співробітник

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лежнюк Петро Дем'янович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри електричних станцій та систем

кандидат технічних наук, доцент
Довгалюк Оксана Миколаївна,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
доцент кафедри передачі електричної енергії

Захист відбудеться «___»_____ 2016 р. о ____годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків,
вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «__» _____ 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради С.Ю. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасних умовах розвитку суспільства особливу роль набувають питання, пов'язані з економним витрачанням паливних та енергетичних ресурсів. Це вимагає, насамперед, застосування енергоефективних технологій передачі та розподілу енергії, чим забезпечується зниження її втрат в мережах та витрат у споживачів. Тому, питання енергоефективності складають на сьогодні основу більшості програм, як державного, так і регіонального рівня.

В означених умовах важливе значення має стан енергоефективності розподільчих електричних мереж міст, у яких споживається більше 40% виробленої електричної енергії і для яких найбільш важливим є висока якість ведення режимів. Натомість, керування режимами розподільчих електричних мереж міст, які є останньою ланкою в постачанні електричної енергії споживачам, здійснюється сьогодні переважно в ручному дискретному режимі без врахування розподілу обладнання на значній території, а процесів – у часі. Наслідками такого стану є низька ефективність роботи мереж та, підключених до них споживачів, що супроводжується високим рівнем втрат потужності в мережах і значними витратами електричної енергії споживачами. Втрати потужності в розподільчих електричних мережах міст України доходять сьогодні до 22%, а її витрати у споживачів у 4-6 разів більші, ніж це має місце в розвинених країнах світу. Тому, розвиток теорії, методів і технічних засобів керування режимами роботи розподільчих електричних мереж міст є актуальною науково – практичною задачею, яка визначила напрямок дисертаційних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі системи електропостачання та електроспоживання міст Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова в рамках державних бюджетних НДР МОН України: «Розробка наукових основ енергозбереження у системах електропостачання та освітлення міст» (ДР №0106U004602), «Розробка енерго- та ресурсозберігаючої технології електропостачання та освітлення міст» (ДР №0109 U000760), «Розробка методів та технічних засобів компенсації реактивної потужності в освітлювальних електричних мережах» (ДР №0111 U001364), «Розробка науково-технічних засад автоматизованого керування режимами міських електричних мереж» (ДР №0113 U000419), де здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень полягає у підвищенні ефективності використання електричної енергії в системах електропостачання міст на основі врахування слабкої кореляції графіків навантажень та нелінійності характеристик параметрів електроприймачів.

Для досягнення мети поставлені завдання:

- аналіз процесів в розподільчих електричних мережах міст і визначення причин їх низької ефективності та виявлення засобів її підвищення;

- оцінка природи реактивної потужності в розподільчих електричних мережах міст за наявності в них освітлювальних електроспоживачів;

- удосконалення методів та технічних засобів компенсації реактивної потужності в умовах нелінійності характеристик споживачів та низького рівня кореляції графіків їх навантажень;

- дослідження режимів роботи розподільчих електричних мереж міст та визначення вимог до технічних засобів керування ними, що забезпечують умови їх надійної та економічної роботи в цих режимах;

- визначення методів та технічних засобів, що забезпечують комплексне вирішення питань регулювання напруги та компенсації реактивної потужності в міських розподільчих електричних мережах;

- розробка методів розрахунку електричних мереж з негармонійними напругами та струмами, що забезпечують можливість роздільного розрахунку реактивних потужностей зсуву та спотворень.

Об'єктом дослідження є електромагнітні процесси в розподільчих електричних мережах міст.

Предметом дослідження є параметри режимів розподільчих електричних мереж міст в умовах слабкої кореляції графіків навантажень та нелінійності характеристик параметрів електроприймачів.

Методи дослідження. Розв'язання поставлених в дисертаційній роботі задач досягнуте на базі фундаментальних методів електротехніки, математичного аналізу, теорії імовірності та математичної статистики. При дослідженні процесів в електричних мережах з розрядними лампами використовувались методи гармонічного аналізу Перрі, а при оцінці ефективності режимів мереж – метод Аере. Достовірність проведених досліджень підтверджена коректним використанням чисельних методів розрахунку, високою сходимістю результатів розрахунку режимів електричних мереж, що працюють в умовах слабкої кореляції графіків навантажень та нелінійності характеристик електроприймачів, з результатами експериментальних досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше визначені особливості протікання реактивної потужності в розподільчих електричних мережах міст з освітлювальним навантаженням, які відрізняються наявністю реактивної потужності зсуву, що обумовлена інерційністю зарядів освітлювальних електроприймачів, а також потужності спотворень, яка обумовлена нелінійністю характеристик споживачів.

2. Отримала подальший розвиток теорія реактивної потужності, на основі визначення нового підвиду потужності, що має місце в електричних мережах з освітлювальним навантаженням і обумовлена інерційністю носіїв

зарядів в плазмі розрядних ламп, чим забезпечується більша точність розрахунку режимів розподільчих електричних мереж.

3. Знайшли подальший розвиток методи оптимізації режимів електричних мереж на основі врахування соціальних наслідків від завад, що спричинені дією вищих гармонік, які у поєднанні із застосуванням методу вагових коефіцієнтів та приведенням критеріїв оптимізації до нормованого вигляду, забезпечують можливість одночасного врахування чисельно неспіврозмірних критеріїв економічної та соціальної ефективності.

4. Отримали подальший розвиток методи розрахунку електричних мереж з негармонійними напругами та струмами на основі роздільного обчислення реактивних потужностей зсуву і спотворень та визначення їх долі в загальній реактивній потужності, чим забезпечується можливість їх роздільної компенсації і, на її основі, зменшення втрат напруги та потужності в мережах.

Практичне значення отриманих результатів для електроенергетичної галузі полягає в тому, що розроблене в дисертації програмне середовище моделювання параметрів режиму розподільчих електричних мереж зі світлодіодними джерелами світла, впроваджено для розрахунку електротехнічного обладнання, що виробляється на підприємстві ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» (м. Тернопіль).

Розроблені і захищені патентами України, спосіб та програма розрахунку електричних мереж з негармонійним струмом та напругою впроваджено в АК «Харківобленерго» (м. Харків).

Теоретичні та практичні результати дисертаційних досліджень впроваджено у навчальний процес Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова та Української інженерно педагогічної академії при викладанні курсів «Освітлювальні електричні мережі та системи» і «Теорія автоматичного керування», «Електропостачання промислових підприємств та міст», «Інноваційні технології в енергетиці».

Особистий внесок здобувача полягає у виконанні основного об’єму теоретичних і експериментальних досліджень, викладених в дисертаційній роботі, включаючи розробку теоретичних моделей, методик експериментальних досліджень, участь у проведені досліджень, аналізі і оформленні результатів у вигляді наукових публікацій та доповідей. Всі наукові положення і результати ,наведені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто. Серед них: дослідження сучасних методів та засобів керування режимами електричних мереж, розробка математичної моделі реактивної потужності у розподільчих електричних мережах міст з освітлювальним навантаженням, розробка методів та технічних засобів, що забезпечують оптимізацію режимів в умовах нелінійності характеристик споживачів та слабкої кореляції графіків навантажень.

Апробація дисертаційної роботи Результати роботи докладені і обговорені на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Проблеми

сучасної електротехніки ПСЕ» (м. Київ, 2002-2015 р.р.); «Силова електроніка і енергоефективність» (м. Алушта, 2002-2015 р.р.); "Енергозбереження. Електропостачання, Автоматизація" (м. Гомель, 2002-2015 р.р.) «Проблеми економії енергії» (м. Львів, 2001 р.); «Фізичні і технічні проблеми світлотехніки й енергетики» (м. Харків, 2002-2006 р.р.); "Керування режимами роботи об'єктів електричних систем КРЕС" (м. Донецьк, 2002 – 2014 р.р.); «Моделювання в електротехніці і електроніці та світлотехніці» (м. Київ, 2005 р.); "Прогресивні інформаційні та комп'ютерні технології для підвищення ефективності функціонування енергопостачальних компаній та електроенергетичних систем" (м Яремче, 2006 р.); «Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств» (м. Маріуполь, 2008 – 2010 р.р); «Енергоефективна техніка та технології в житлово-комунальному господарстві ЕЕТ-2014» (м. Харків, 2014 р.).

Публікації - за матеріалами дисертації опубліковано 25 наукових праці, з яких 14 статей у наукових фахових виданнях України, (2 – у виданнях включених до міжнародних наукометричних баз), 4 – у закордонних фахових періодичних виданнях, 1 патент України, 6 – у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел і 3 додатків. Повний обсяг дисертації становить 207 стор., з них 15 рисунків по тексту і 43 рисунків на 43 окремих сторінках, 3 таблиці по тексту і 24 таблиці на 24 окремих сторінках, списку використаних джерел з 124 найменувань на 10 сторінках і 3 додатків на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано її мету і задачі досліджень, визначено об’єкт, предмет і методи досліджень, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено відомості про публікації, впровадження, апробацію та структуру роботи.

В першому розділі проаналізовані шляхи підвищення ефективності роботи розподільчих електричних мереж міст.

На основі систематизації структури, параметрів та критеріїв керування режимами електричних мереж визначено доцільність підвищення якості управління режимами розподільчих електричних мереж і застосування більш ефективних методів та технічних засобів, критеріїв та параметрів керування ними. Аналізом рівня технічного забезпечення засобами автоматичного керування режимами розподільчих електричних мереж міст встановлено, що засоби автоматизації зосереджені в основному на елементах 4-5 рівнів (мережі 110 кВ і більше). Управління режимами електричних мереж середньої і низької напруги (1 – 3 рівень) здійснюється, практично, на рівні дискретного ручного керування без урахування зміни параметрів електричних мереж на добовому, тижневому, сезонному та ін. інтервалах.

Встановлено, що для технологічних процесів передачі і розподілу електроенергії в розподільчих електричних мережах міст найбільш слабкою ланкою є розподільчі мережі 6-10/0,38 кВ., де втрати потужності складають 20 - 25%, при тому, що в мережах вищої напруги вони знаходяться на рівні 10 - 15%.

Визначено, що найбільший вплив на ефективність роботи розподільчих електричних мереж міст здійснюють режими напруги та реактивної потужності. Показано, що існуючі методи розрахунку та технічні засоби корекції режимів напруги і реактивної потужності не враховують наявність високого рівня спотворень, а також низьку кореляцію графіків напруги та реактивної потужності. Зроблено висновок щодо необхідності вдосконалення науково-технічних засад керування режимами розподільчих електричних мереж міст.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячений експериментальному дослідженню реактивної потужності в розподільчих електричних мережах міст з розрядними лампами. Здійснене уточнення природи та характеру протікання реактивної потужності в розподільчих електричних мережах міст на основі врахування параметрів та режимів їх споживачів.

Для уточнення характеру протікання реактивної потужності в розподільчих електричних мережах міст проведені експериментальні дослідження по визначенню характеру електричного споживання розрядними лампами, які є одним з основних джерел реактивної потужності розподільчих електричних мереж міст. Для цього методом контрольних вимірювальних обмоток (рис. 1) здійснено дослідження картини магнітного поля розрядних ламп.

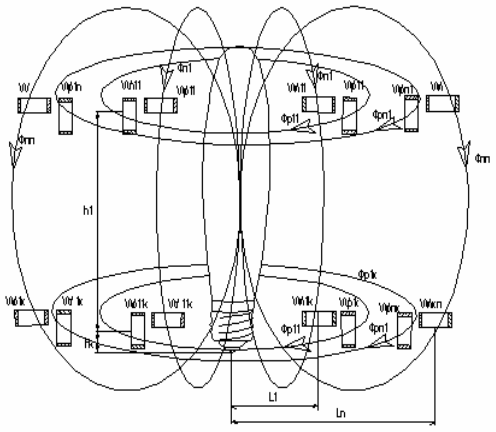


Рисунок 1 – Картина магнітного поля розрядних ламп

Отримані результати вказали на те, що природа реактивної потужності в освітлювальних електричних мережах з розрядними лампами носить непольовий характер. Величина і характер зміни електрорушійної сили (ЕРС) контрольних котушок, що розташовані в полі лампи, засвідчили про мале значення індуктивності і відсутність в них, як осьової, так і тангенціальної складової магнітного поля.

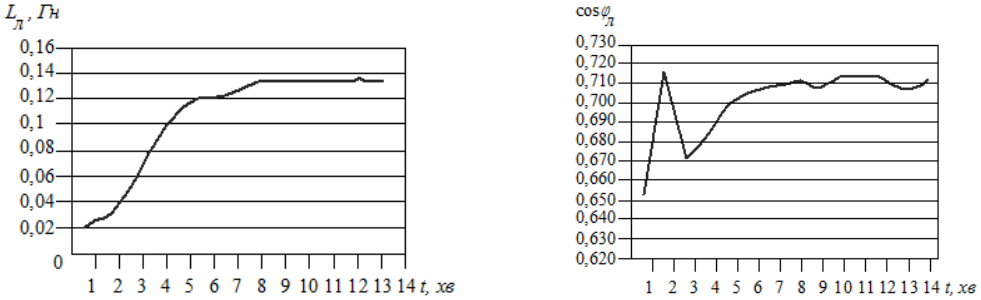
У той же час, експериментальні вимірювання електричних параметрів ламп (потужність ламп $P_л$, напруга ламп $U_л$, струм ламп $I_л$) та розрахунок за ними значень індуктивності ламп вказало на наявність індуктивності порядка 0,14 - 0,16 Гн, що свідчить про те, що джерело їх реактивної потужності не магнитне поле. Аналіз характеру змін індуктивності розрядних ламп (рис 2а), отриманих в результаті експериментальних вимірювань, засвідчив наявність в розрядних лампах

складової індуктивності іншої фізичної природи.

Аналізом балансу потужностей розрядних ламп встановлено, що частина енергії, отриманої носіями струму від поля й пов'язаної з їх спрямованим рухом в електричному полі, є не витраченою. Ця частина енергії і є джерелом, так званої, динамічної (інерційної) індуктивності ламп. За цих умов, індуктивність ламп $L_{лі}$, як інерційність руху носіїв заряду, іонів і електронів визначається залежністю:

$$L_{лі} = \frac{3N \cdot k \cdot T}{I_л^2}, \qquad (1)$$

де N – число носіїв струму; k – постійна Больцмана; T – температура газу; $I_л$ – струм лампи.



а) б)

Рисунок 2 – Характер зміни індуктивності $L_л$ (а) та коефіцієнта потужності cosφ$_л$ (б)розрядних ламп у часі

Таким чином, можна вважати, що в розподільчих електричних мережах міст саме ця індуктивність і обумовлює протікання нового виду реактивної потужності, що обумовлена інерційністю носіїв зарядів в плазмі розрядних ламп $Q_{лі}$, значення якої може бути визначено у вигляді

$$Q_{лі} = \omega L_\omega I_л^2 = 3\omega NkT. \qquad (2)$$

Інерційна реактивна потужність розподільчих електричних мереж з розрядними лампами здійснює таку ж дію, як і потужність зсуву і може додаватись до реактивної потужності зсуву мережі та компенсуватись тими ж засобами.

Застосування (2) дозволяє уточнити значення реактивної потужності зсуву, по якій обирається потужність компенсуючих пристроїв.

Третій розділ дисертації присвячений компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах міст в умовах нелінійності споживачів. Запропонована математична модель розподільчих електричних мереж міст, що враховує особливості виникнення і характеру протікання реактивної потужності в мережах на основі урахування особливостей процесів в освітлювальних мережах з розрядними лампами, які характеризуються низьким рівнем компенсації реактивної потужності в мережах та високим рівнем спотворень, що вносяться споживачами.

Загальний вигляд моделі миттєвої потужності у трифазних мережах для розглянутих умов представлено у вигляді:

$$P_T = \sum_{k=1}^{3}\sum_{\nu=1} U_{k\nu} I_{k\nu} = \sum_{k=1}^{3} Re\left\{\sum_{\nu=1}^{\infty}\left(\dot{U}_{k\nu}\overset{*}{I}_{k\nu}\, e^{j2\pi\nu\omega t}\right) + \right.$$

$$\left. + \sum_{\substack{\nu,\gamma=1\\ \nu\neq 1}} U_{\nu k}\left[\overset{*}{I}_{k\nu}\, e^{j(\gamma-\nu)\omega t} - \dot{I}_{k\nu}\, e^{j(\gamma-\nu)\omega t}\right] - \sum_{\substack{\nu,\gamma=1\\ \nu\neq\gamma}} U_{\nu k}^{\phi k y}\left[\overset{\bullet}{I}_{k\nu}^{\phi k y}\, e^{j(\gamma-\nu)\omega t} - I_{k\nu}^{\phi k y} e^{j(\gamma-\nu\omega t)}\right]\right\}, \quad (3)$$

де $U_{k\nu}, I_{k\nu}, U_{k\nu}^{\phi k y}, I_{k\nu}^{\phi k y}$ - діючі значення напруги та струму в мережах та фільтро-компенсуючих пристроях k –ї фази, ν – ї гармоніки; γ – кут зсуву додаткової ЕРС.

Баланс потужностей в освітлювальних мережах з розрядними лампами має вигляд:

$$P = \sqrt{S^2 - T^2 - Q_c^2}, \quad (4)$$

де P – активна потужність; Q_c, T – реактивні потужності зсуву та спотворень.

Дослідженням спектральних характеристик ламп встановлена висока ступінь спотворення струму, що споживається лампами з розподільчої мережі та сягає 30-40%. Це робить необхідним врахування рівня спотворень при оцінці режимів роботи розподільчих електричних мереж з освітлювальним навантаженням.

Для уточнення методів і технічних засобів компенсації реактивної потужності в розподільчих електричних мережах з розрядними або світлодіодними лампами на основі застосування методу Перрі розроблено спосіб розрахунку параметрів і режимів електричних мереж з урахуванням гармонійного складу кривих напруги і струму.

При цьому, опис параметрів режиму представлено у вигляді:

$$i = \sum_{\substack{\nu=1\\ p=1}}^{\infty} I_m \sin\left(\nu\omega t + \varphi_\nu + \varphi_{\phi k y}\right),\ P = \sum_{\substack{\nu=1\\ p=1}}^{\infty} U_\nu\, I_\nu \cos\varphi_\nu,$$

$$Q = \sqrt{Q_{c\Sigma}^2 + T^2},\ Q_{c\Sigma} = Q_c + Q_i,\ T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_c^2},\ \cos\varphi = \frac{P}{S}, \quad (5)$$

де i, P, Q, $\cos\varphi$ - значення параметрів режиму мережі; I_m амплітудне значення ν-ої гармоніки струму; φ_ν - фазовий зсув ν-ої гармоніки струму; $\varphi_{\phi k n \nu}$- фазовий зсув ν-ої гармоніки фільтрокомпенсуючого пристрою; U_ν, I_ν - діючі значення ν-ої гармоніки напруги та струму; $Q_{c\Sigma} = Q_c + Q_i$ результуюча реактивна потужність зсуву; Q_c - реактивна потужність зсуву мережі; Q_i - інерційна реактивна потужність освітлювальних споживачів; T – реактивна потужність спотворень.

На основі (5) здійснено розрахунок значення активної та реактивної потужностей і їх складових - потужності спотворення і потужності зсуву та побудована векторна діаграма реактивних потужностей в розподільчих мережах з освітлювальним навантаженням (рис. 3), яка враховує розподіл

реактивної потужності мереж Q на реактивну потужність зсуву $Q_{c\Sigma} = Q_c + Q_i$ і спотворень T.

Для оцінки доцільності застосування фільтрокомпенсуючих пристроїв введено поняття коефіцієнта потужності спотворення $K_T = T^2/Q^2$ і коефіцієнта потужності зсуву $K_Q = Q_{c\Sigma}{}^2 /Q^2$ а також запропоновано критерій доцільності застосування фільтрокомпенсуючих пристроїв у вигляді $K_T \geq 5\%$.

Чисельні розрахунки параметрів розрядних ламп типу ДНаТ – 150 дозволили отримати наступні данні: $I_л$ = 2,302 А, $S_л$=250,888 ВА, $P_л$=203,843 Вт, cos$\varphi_л$ =0,8125, $Q_л$=145,23 Вар, $T_л$=125,1267 Вар, $Qлс$=75,739 Вар, $Q_{лі}$=46,6238 Вар., $K_{Tл}$=0,7319, $K_{Qл}$=0,2682. Результати розрахунку узгоджуються з експериментальними даними, згідно з якими отримано $I_л$ = 2,35 А, $S_л$=251,45 ВА, $P_л$=200 Вт, cos$\varphi_л$=0,8, $Q_л$=146 Вар.

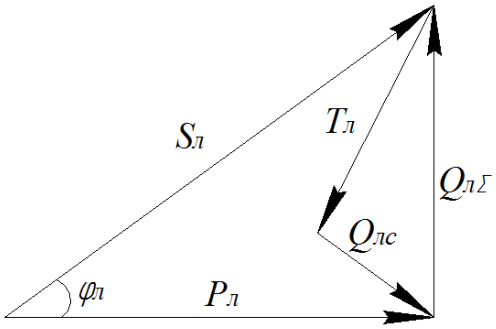


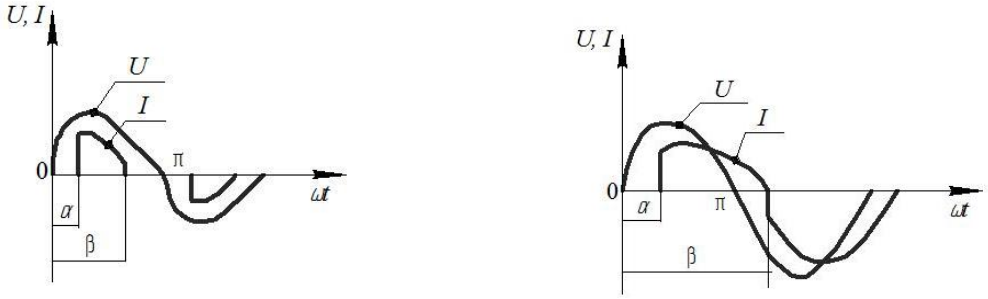
Рисунок 3 - Векторна діаграма потужностей розрядної лампи

Аналіз результатів розрахунку свідчить про необхідність відокремленої компенсації реактивних потужностей спотворення T та зсуву Q_c в електричних мережах з розрядними джерелами світла. Останнє вимагає застосування для компенсації реактивної потужності в розподільчих електричних мережах з освітлювальним навантаженням, окрім статичних конденсаторів, що здійснюють компенсацію реактивної потужності зсуву Q_c, додатково фільтрокомпенсуючих пристроїв, призначення яких компенсація реактивної потужності спотворень. За цих умов, лише незначна величина реактивної потужності зсуву Qc, компенсується статичними конденсаторами. Більша ж її частина, мусить бути зкомпенсована фільтрокомпенсуючими пристроями.

У розділі 4 досліджено можливість використання фазоперимикаємих вольтододавальних трансформаторів (ВДТ) з електронним керуванням для корекції режимамів розподільчих електричних мереж міст. Досліджено роботу ВДТ в різних режимах, і визначено умови їх надійної роботи в складі розподільчих електричних мереж міст. На основі аналізу схем та процесів в ВДТ виявлено можливість насичення магнітної системи трансформатора та зсуву ЕРС і струмів в обмотках і визначено умови його надійної роботи в цих режимах.

Встановлено, що робота ВДТ з тиристорним ключем у поєднанні з найбільш поширеним часо-імпульсним способом управління і природним гасінням тиристорів, характеризується наявністю ряду особливостей, пов'язаних із зміною величини і тривалості протікання струмів в обмотках, в залежності від режимів роботи і параметрів ланцюга первинної і вторинної обмоток трансформатора. В таких умовах, очевидним є той факт, що якщо тривалість протікання струму I_1 в обмотці перевищує кут π (рис.4), то при кутах регулювання вентилів $\alpha < \pi - \beta$, де β - кут включеного стану

тиристорів, подання керуючої напруги, по який включається тиристор, відбудеться в момент, коли напруга на тиристорі дорівнює нулю, або має зворотну полярність.



а) б)

Рисунок 4 – Характер кривих *U(ωt), I (ωt)* при $\beta < \pi$ (а) і $\beta > \pi$ (б)

Умови надійної роботи ВДТ з тиристорами в ланцюзі первинної обмотки записан у вигляді: $\alpha > \pi - \beta + \gamma$, де γ - кут утримання вентилів. При цьому, кут включення вентилів $\alpha = \pi - \beta + \gamma$ визначено, як критичний ($\alpha_{кр}$). При зменшенні кута включення вентилів до величини $\alpha < \alpha_{кр}$ або збільшенні тривалості протікання струму β в ланцюзі первинної обмотки до величини $\beta > \pi + \alpha - \gamma$ трансформатор переходить в один з аварійних режимів: дросельний або одностороннього підмагнічування.

Для дослідження процесів в електричних мережах з ВДТ розроблена схема заміщення (рис.5).

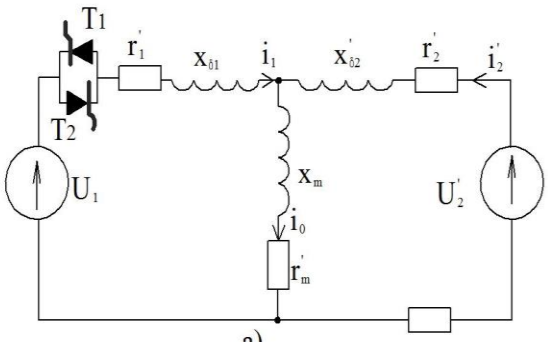


Рисунок 5 - Схема заміщення ВДТ

Процеси в ВДТ описуються системою рівнянь:

$$\begin{aligned} U_1 &= i_1 r_{1П} + L_{\sigma 1П}\frac{di_1}{dt} + L_м\frac{di_0}{dt}, \\ U'_2 &= i'_2 r'_{2П} + L_м\frac{di_0}{dt} + L_{\sigma 2П}\frac{di_2}{dt}, \\ i_0 &= i_1 + i'_2, \end{aligned} \qquad (6)$$

де $R_н = \left(r'_{2T} + r_н\right)\left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2$; $U_Э = \frac{U'_2 x_m^2}{R_н'^2 + x_m^2}$; $Z_Э = \frac{R'_н x_m}{R'_н + x_m} = \frac{R'_н x_m^2 + R_н'^2 x_m}{R_н'^2 + x_m^2}$; $r_{1П} = r_{1T} + r_T$; $r_{1П} = r_{2П} + r_н$; $L\sigma_{1П}$, $L_{\sigma 2П}$ – індуктивність розсіювання обмоток ВДТ;

r_{1T}, r_{2T}, r_T, $r_н$ – активні опори обмоток трансформатору, тиристорів та навантаження; $x_m = \omega L_м$ - індуктивний опір намагнічування; w_1, w_2 – число витків обмоток; $x_\sigma = \omega L_{\sigma 1П}$, $x_{\sigma 2} = \omega L_{\sigma 2П}$, $x_н = \omega L_н$ - індуктивності розсіювання обмоток та навантаження ВДТ, $Z_н = \sqrt{r_н^2 + x_н^2}$ - повний опір навантаження ВДТ.

Для оцінки впливу режимів роботи та параметрів ВДТ на значення кута включення вентилів α в квазівстановившихся режимах достатнім є часткове рішення (6) у вигляді

$$I_1 = \frac{\left[\pm U_1\left(R_н^{'2} + x_m^2\right) + U_2^{'} x_m^2 + U_2^{'} R_н^{'} x_m\right]}{\left(R_н^{'} x_m^2 - x_m^2 r_{1П} + R_н^{'2} r_{1П}^{'2}\right) + \left(R_н^{'2} x_m + x_{\sigma 1} x_m^2 + R_н^{'2} x_{\sigma 1}\right)}. \quad (7)$$

Значення критичного кута, при якому можлива надійна та економічна робота ВДТ і живлячої його мережі, визначити співвідношенням

$$\alpha_{кр} = \text{arctg} \frac{\left(R_н^{'} x_m^2 - x_m^2 r_{1П} + R_н^{'2} r_{1П}\right) - \left[\pm U_1\left(R_н^{'2} + x_m^2\right) + U_2^{'} x_m^2\right] \times \left(R_н^{'2} x_m + x_{\sigma 1} x_m^2 + R_н^{'2} x\sigma 1\right)}{\left[\pm U_1\left(R_н^{'2} + x_m^2\right) + U_2^{'} x_m^2\right] \times \left(R_н^{'} x_m^2 - x_m^2 r_{1П} + R_н^{'2} r_{1П}\right) + U_2^{'} R_н^{'} x_m \left(R_н^{'2} x_m + x_{\sigma 1} x_m^2 + R_н^{'2} x_{\sigma 1}\right)}. \quad (8)$$

Графічні залежності $\alpha_{кр} = f(R_н, x_m, r_{1П}, x_{\sigma 1})$, отримані в результаті розрахунку по (8), наведено на рис. 6.

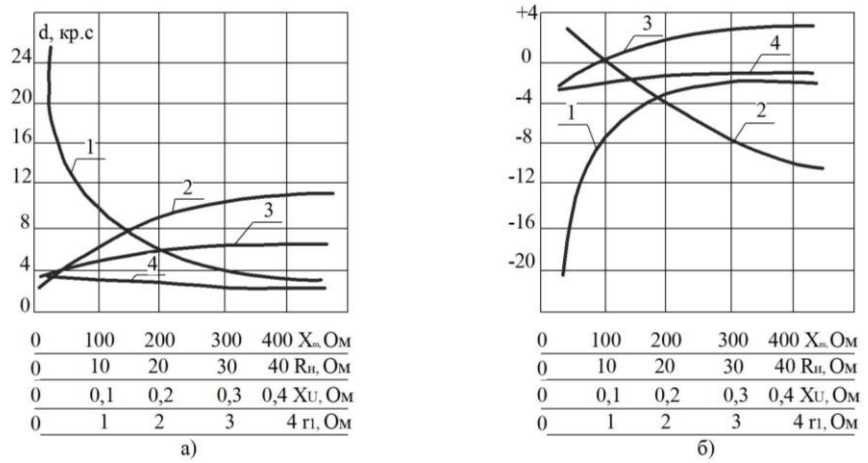


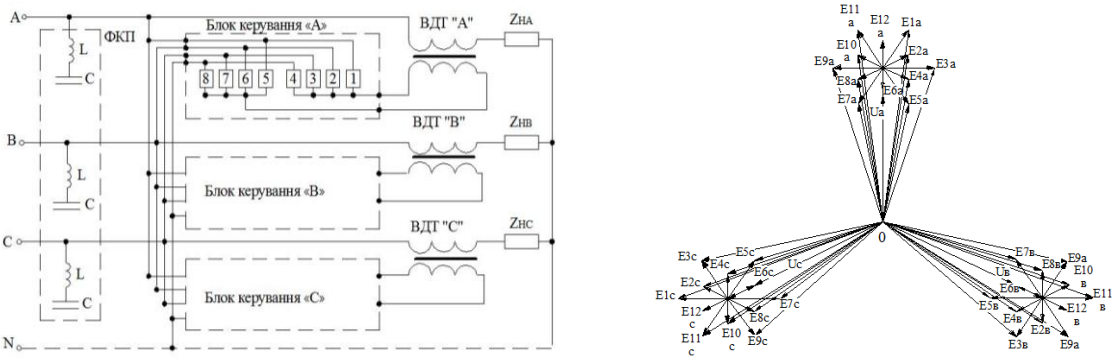
Рисунок 6 – Графічні залежності критичного кута включення тиристорів $\alpha_{кр}$ від опору намагнічуючого контуру x_m (1), опору навантаження $R_н$ (2), опору розсіювання (3), активного опору первинної обмотки r_1 (4) для режиму узгодженого (а) і зустрічного (б)включення ВДТ

Результати досліджень свідчать про те, що для забезпечення умов надійної економної роботи ВДТ в квазіусталених та перехідних режимах необхідним є керування тиристорами одночасно по струму та напрузі тиристорів.

Пя'тий розділ дисертації присвячено вирішенню питань керування режимами напруги та реактивної потужності в розподільних електричних мережах міст за допомогою ВДТ. Дослідженням роботи ВДТ з різними схемами живлення визначено принципову можливість вирішення питання керування режимами напруги та реактивної потужності за допомогою фазоперемикаємих ВДТ та можливість використання їх в складі

розподільних електричних мереж міст у якості активного елементу інтелектуальних систем, що працюють на основі концепції Smart-Grid.

Дослідженням роботи ВДТ в квазіусталених режимах виявлено методи і способи комплексного вирішення питання регулювання напруги і компенсації реактивної потужності та фільтрації вищих гармонік в мережах, визначено схему та конструкцію ВДТ, що адаптовані до режимів міських електричних мереж.



а) б)

Рисунок 7 - Регулювання напруги на основі фазоперемикаємого вольтододавального трансформатора: а) – принципова схема пристрою; б) – векторна діаграма

Для виявлення загальних закономірностей функціонування ВДТ в складі розподільчих електричних мереж припущено, що до вузла мережі підключена група з трьох однофазних ВДТ (рис. 7).

Вважаючи, що живлення ВДТ по первинній обмотці здійснюється від джерела напруги, записано

$$\begin{aligned} U_A &= U_{Am}\sin\omega t, \\ U_B &= U_{Bm}\sin(\omega t - 2\pi/3), \\ U_C &= U_{Cm}\sin(\omega t - 4\pi/4). \end{aligned} \tag{9}$$

У розглянутих умовах розподільча електрична мережа з ВДТ представлена у вигляді трифазної системи напруг і струмів різних частот і, в загальному вигляді, послідовностей. З урахуванням живлення вторинної обмотки ВДТ від джерела струму, підключення до нього фільтрокомпенсуючих пристроїв ФКП та підключення до нього освітлювального навантаження, значення струму споживаного к-ю фазою мережі, має вигляд:

$$i_{ск} = \left\{ \begin{aligned} & U_{кт}\sin\left[\omega t - (K-1)2\pi/3\right] + \\ & + \sum_{\nu=1}^{\infty}\sum_{p=0}^{2} E_{2кνm}\sin\left[\nu\omega t + \psi_{E2кν} - \psi_{ФКПкν} - \pi n_T/6 - (K-1)2\pi\nu/3\right] S_{крν} \\ & \times \left(1 + \frac{W_{2к}}{W_{1к}}\right) e^{j\pi n_T/6} + \sum_{\nu=0}^{\infty} I_{0кνm}\sin\left(\nu\omega t + \psi_{I0кν} - \pi n_T/6\right) \end{aligned} \right\} \times \frac{W_{2к}}{Z_{nkν}} \times \frac{W_{2к}}{W_{lк}} e^{j\pi n_T/6} \tag{10}$$

де $i_{ск}$ – струм к-ої фази первинної обмотки ВДТ; $\psi_{E2кv}$, $\psi_{ФКПкv}$, $\psi_{I0кv}$ – фазові зрушення v-ої гармоніки ЕРС E_2 та фільтрокомпенсуючих пристроїв ФПК і струму I_0 к-ої фази ВДТ; $I_{ст}$ – максимальне значення струму мережі; $W_{1к}$, $W_{2к}$ – кількість вітків первинної та вторинної обмоток ВДТ к-ї фази.

Для врахування соціальних наслідків протікання вищих гармонік в розподільчих мережах міст розроблено математичну модель ефективності мереж, що базується на багатокритеріальній оцінці їх режимів з урахуванням критеріїв економічної, екологічної та соціальної ефективності у вигляді

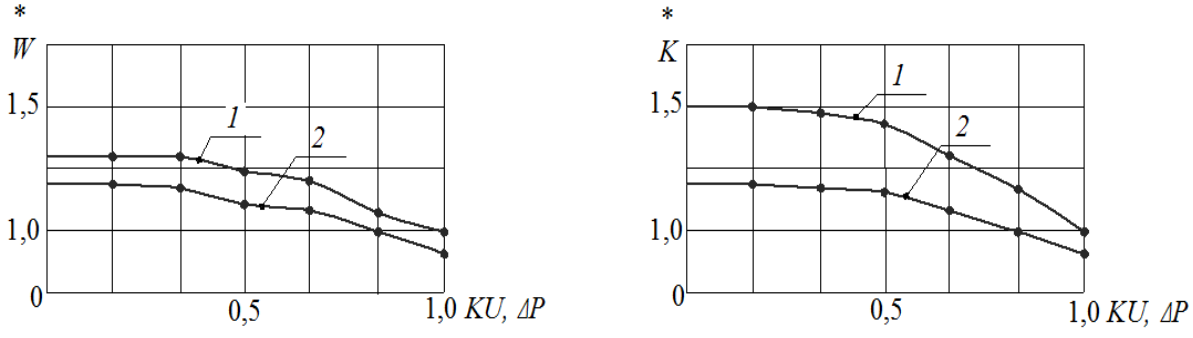
$$F(\bar{Z}) = \sum_{i=1}^{n} f_i(\bar{Z})\gamma_i, \qquad (11)$$

де $F\left(\bar{Z}\right)$ - узагальнений критерій ефективності; γ_i – ваговий коефіцієнт ефективності по і-му критерію; f_i – і-та критеріальна функція ефективності; $\bar{Z} = \{Z_1, Z_2 ..... Z_n\} \in D \subseteq R^n$ - вектор параметрів, що заданий на множині D, яка належить простору параметрів R^n.

Оптимізаційна задача max $F\left(\bar{Z}\right)$ при наявності обмежень на параметри вирішена методом Аере й дозволила визначити параметри електричних пристроїв, що виготовлені на підприємстві ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» (м. Тернопіль).

Відмінною особливістю розробленої моделі є врахування рівня вищих гармонік у складі вектору параметрів $\bar{Z}$ та значення втрат напруги та потужності в мережах і їх впливу на економічні та соціальні наслідки роботи мереж, у вигляді зміни, рівня електроспоживання та комфорта споживачів.

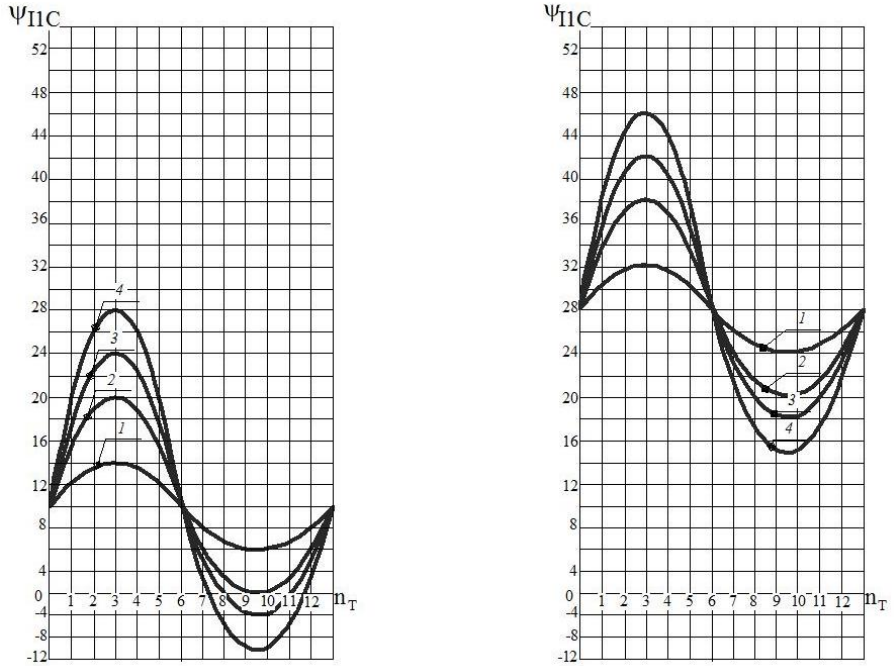
На рис. 8 наведено графічні залежності відносного електроспоживання, а також рівня комфорту населення міст від коефіцієнта гармонічної складової напруги K_U та рівня втрат потужності в мережах ΔP.



а) б)

Рисунок 8 - Графічні залежності відносного рівня електроспоживання $\overset{*}{W} = W/W_{ном}$ (а) та комфорта $\overset{*}{K} = K/K_{ном}$ (б) населення міст в залежності від значення коефіцієнту спотворень напруги $\overset{*}{K} = K_u/K_{и\,ном}$ та рівня втрат потужності $\Delta P = \Delta P/\Delta P_{ном}$.

Дослідженням роботи ВДТ у складі розподільчих електричних мереж по (11) встановлено можливість фазового зсуву ψ_{I1C} струму $i_{ск}$ в залежності від параметрів ВДТ n_T, К та мереж і cosφ



а) б)

Рисунок 9 – Графічні залежності: $\psi_{I1C}=f(n_T, K)$ для $\cos\varphi_н=0{,}98$ (а) і $\cos\varphi_н=0{,}86$ (б):1– К=10; 2– К=5; 3– К=4; 4 – К=3

На рис.9 наведені графічні залежності $\psi_{i1k} = f\ (n_T,\ K = W_1 / W_2)$, отримані розрахунком по (10), що ілюструють принципову можливість керування потоками реактивних і активних потужностей, а також впливу на них параметрів і схеми з'єднання ВДТ.

Результати аналізу свідчать, що при n_T= 1-5 має місце відстаюче зрушення струму I_{CK}, а при n_T = 7-11 - випереджаюче, причому, при n_T = 10-12 і n_T = 1-3 відбувається збільшення модуля споживаного з мережі струму, а при n_T = 4-5 і n_T = 7-8 - його зменшення.

Для оцінки впливу параметрів ВДТ на режими електричних мереж здійснено розрахунок втрат потужності на ділянці реальної мережі АК «Харківобленерго» (рис. 10) для різного сполучення значень коефіцієнта потужності cosφ, коефіцієнта трансформації K_T та групи з'єднання ВДТ n_T.

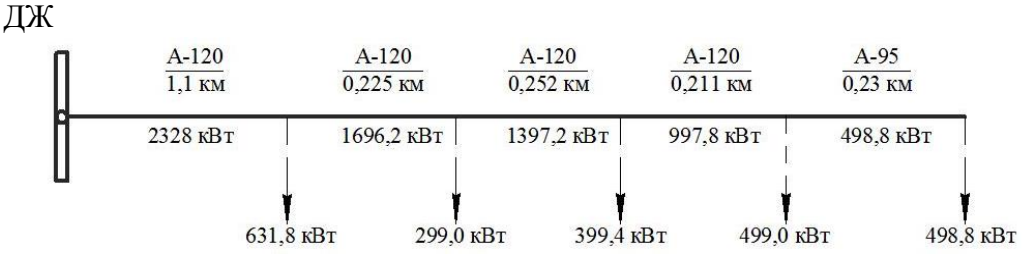
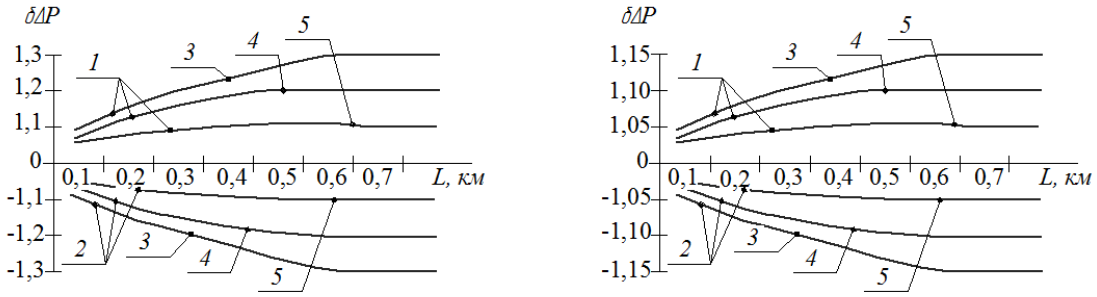


Рисунок 10–Розрахункова схема мережі

Результати розрахунку відносної зміни втрат потужності в мережах $\delta\Delta P$ до ($\Delta P'$) та після ($\Delta P''$) встановки ВДТ наведені на рис. 11.



а) б)

Рисунок 11 - Графічні залежності $\delta\Delta P = \Delta P'/\Delta P''$ від довжини лінії L та $\cos\varphi_н$ для груп з'єднання обмоток вольтододавального трансформатора:

а) 1 – n_T=9; 2 – n_T=3; 3 – $\cos\varphi_н$=0,86; 4 - $\cos\varphi_н$=0,94; 5 - $\cos\varphi_н$=0,98;

б) 1 – n_T=7; 2 – n_T=5; 3 – $\cos\varphi_н$=0,86; 4 - $\cos\varphi_н$=0,94; 5 - $\cos\varphi_н$=0,98;

Аналіз отриманих данних свідчить про можливість використання фазоперимикаєміх ВДТ для керування потоками активної і реактивної потужностей та їх складових в умовах нелінійності характеристик їх споживачів та низької кореляції графіків напруги та реактивної потужності, а також значного зменшення, за рахунок цього, втрат потужності в мережах.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково – практичне завдання підвищення ефективності роботи розподільчих електричних мереж міст на основі врахування низького рівня кореляції графіків активних і реактивних навантажень та високого рівня спотворень.

Основні наукові та практичні результати дисертації полягають у наступному:

1. На основі дослідження процесів в розподільчих електричних мережах міст визначено, що основними причинами їх низької ефективності є недостатній рівень технічного забезпечення засобами автоматичного керування режимами мереж у поєднанні з застосуванням необґрунтованих критеріїв та параметрів. Встановлено, що прилади автоматизації зосереджені в основному на елементах 5 рівня (мережі 110 і більше кВ), а керування ними здійснюється лише по одному, економічному критерію без врахування розподілу процесів у часі, а параметрів у просторі, чим обумовлюються значної величини втрати електричної енергії в мережах та її витрати у споживачів та визначається необхідність вдосконалення методів та технічних засобів керування режимами мереж.

2. На основі дослідження процесів в розрядних лампах визначено особливості протікання реактивної потужності в розподільчих електричних мережах міст з освітлювальним навантаженням і встановлено протікання в них реактивної потужності нового типу – інерційної реактивної потужності. Експериментально встановлено, що природа реактивної потужності в розподільчих електричних мережах міст з освітлювальним навантаженням полягає в особливостях електромагнітних процесів в плазмі розрядних ламп і обумовлена інерційністю носіїв зарядів в розрядному каналі.

3. На основі дослідження методів та технічних засобів компенсації реактивної потужності в умовах нелінійності характеристик електроприймачів встановлено високий рівень гармонічних складових в кривих напруги і струму розподільчих електричних мереж міст і протікання в них, крім реактивної потужності зсуву, реактивної потужності спотворень і її суттєвий вплив на значення загальної реактивної потужності в мережах. Це вимагає роздільної компенсації реактивної потужності спотворення T, застосуванням фільтрокомпенсуючих пристроїв, і потужності зсуву $Q_{сп}$, застосуванням косінусних конденсаторів. Тим самим забезпечується більш повна компенсація реактивної потужності і зменшення втрат потужності в мережах.

4. Для електричних мереж з неоднорідним навантаженням, які характеризуються наявністю низького рівня кореляції графіків напруги та реактивної потужності, встановлено низьку ефективність існуючих методів і технічних засобів кореляції режимів, що побудовані на застосуванні класичних L – C накопичувачів енергії і запропоновано розв’язане керування режимами напруги та реактивної потужності, яке дає можливість більш точного ведення режимів по напрузі та реактивній потужності з урахуванням визначених особливостей.

5. На основі дослідження методів та технічних засобів регулювання напруги та компенсації реактивної потужності в розподільчих електричних мережах міст визначено необхідність комплексного вирішення питань регулювання напруги та компенсації реактивної потужності в умовах високого рівня спотворень та низького рівня кореляції її графіків активної та реактивної потужностей. Проаналізовано існуючі методи та технічні засоби регулювання напруги та компенсації реактивної потужності і запропоновано нові методи і способи комплексного вирішення питання регулювання напруги та компенсації реактивної потужності в мережах, що побудовані на основі використання фазоперимикаємих ВДТ з електронним керуванням.

У результаті дослідження параметрів та режимів вольтододавальних трансформаторів встановлено умови їх надійної та економічної їх роботи в складі розподільчих електричних мереж.

6. Застосуванням методу Перрі розроблено метод і спосіб розрахунку електричних мереж з негармонійним струмом та напругою, що забезпечує роздільний розрахунок реактивних потужностей зсуву і спотворень та

визначення їх долі в загальній реактивний потужності мереж і на їх основі роздільну компенсацію реактивних потужностей зсуву і спотворень.

Для оцінки доцільності роздільної компенсації реактивних потужностей зсуву і спотворень введено поняття коефіцієнта реактивної потужності зсуву $K_Q = Q_{c\Sigma}^2 / Q^2$ та коефіцієнта реактивної потужності спотворення $K_T = T / Q^2$.

7. Результати роботи впроваджені в виробничі процеси на підприємствах ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» (м. Тернопіль). та АК «Харківобленерго» (м. Харків), а також у навчальний процес факультету електропостачання і освітлення міст Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова та Української інженерно педагогічної академії при викладанні курсів «Освітлювальні електричні мережі та системи» і «Теорія автоматичного керування», «Електропостачання промислових підприємств та міст», «Інноваційні технології в енергетиці».

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Говоров В.Ф. О применении регулирующих устройств в осветительных сетях городов и промышленных предприятий. / Лесной С. А., Говоров Ф.П., Говоров В.Ф.// Комунальное хазяйство городов: Научно-технический сборник, – Киев, Техника, 2001. - №27.-С. 24 – 32.

Здобувачем здійснено розрахунок режимів напруги в мережах

2. Говоров В. Ф. Оптимизация схем и параметров распределительных электрических сетей / Ф.П. Говоров, В.Ф. Говоров, В.А Перепеченый. // Збірник наукових праць Донецького технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика».– Донецьк: ДонНТУ, 2002. - Вип.50. – С. 113-116.

Здобувачем запропонована модель та здійснено розрахунок економічного ефекту.

3. Говоров В.Ф. К вопросу об индуктивности разрядных ламп / Ф.П. Говоров, В.Н. Терьошин, В.И. Денисенко, В. Ф. Говоров // Технічна електродинаміка, 2006. – тем. вип. Ч.6. – С.98-103.

Здобувачем здійснені експериментальні дослідження та обробка їх результатів.

4. Говоров В.Ф. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях с разрядными лампами / Ф.П. Говоров, В.Ф. Говоров // Технічна електродинаміка, 2008. – тем. вип. Ч.3. – С.47-52.

Здобувачем визначені шляхи компенсації реактивної потужності в електричних мережах з розрядними лампами

5. Говоров В.Ф. К вопросу о реактивной мощности в осветительных установках с разрядными лампами / Говоров Ф.П., Четверикова И.М.,

Терьошин В.Н., Денисенко В.И. Говоров В.Ф // Технічна електродинаміка.- К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2008. – тем. вип. Ч.5. - С. 13-17.

Здобувачем здійснено розрахунок параметрів режимів електричних мереж.

6. Говоров В.Ф. Комплексное решение вопросов регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в осветительных электрических сетях / Ф.П. Говоров, В.Ф. Говоров, О.В. Терьошин, И.М. Четверикова И.М. // Технічна електродинаміка, 2009. – тем. вип. Ч.1. – С.47-50.

Здобувачем запропонована технічна реалізація задачі на основі використання ВДТ.

7. Говоров В.Ф. Социально-экономические основы повышения эффективности и качества освещения / Ф.П. Говоров, И.М. Четверикова, В.Ф. Говоров // СвітлоLux. – 2009. - №2. – С. 57-59.

Здобувачем визначено параметри автоматичного керування режимами електричних мереж.

8. Говоров В.П. Моделювання режимів освітлювальних електричних мереж з розрядними лампами / П.П. Говоров, В.П. Говоров // СвітлоLux. – 2009. - №5. – С. 58-62.

Здобувачем запропонована модель трифазної електричної мережі, що враховує гармонічні складові напруг та струмів.

9. Говоров В.Ф. Баланс мощности в разрядной лампе / Ф.П. Говоров, В.Ф. Говоров, В.Н. Терьошин // СвітлоLux. – 2010. - №5. – С. 52-57.

Здобувачем здійснено розрахунок складових потужності ламп.

10. Говоров В.Ф. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях с разрядными лампами / Ф.П. Говоров, О.В. Терьошин, А.И. Ганус, В.Ф. Говоров // Технічна електродинаміка, 2010. – тем. вип. Ч.2. – С.37-42.

Здобувачем здійснено розрахунок параметрів режимів електричних мереж з врахування реактивної потужності спотворень.

11. Говоров В.Ф. Компенсация реактивной мощности в осветительных электрических сетях с учетом нелинейности параметров осветительных электроприемников / Ф.П. Говоров, В.Ф. Говоров, А.И. Ганус // Технічна електродинаміка, 2010. – тем. вип. Ч.2. – С.179-184.

Здобувачем запропоновано модель реактивної потужності, що враховує рівень спотворень.

12. Govorov V.P. Electromagnetic compatibility of light-emitting diode light sources with a network / F. Govorov, V. Govorov, T. Romanova //Proceeding International Scientific Conference. [UNITECH`11], (Gabrovo, 18-19th of November 2011). – Gabrovo: Technical University of Gabrovo, 2011. – Vol. 1. p. 64-68.

Здобувачем здійснено експериментальні дослідження гармонічного складу кривих струму ламп.

13. Говоров В.Ф. Моделирование режимов осветительных электрических сетей с учетом нелинейности комплекта «Разрядная лампа - ПРА» / Ф.П. Говоров, В.Н. Терьошин, В.Ф. Говоров, О.В. Терьошин, А.И. Ганус // Технічна електродинаміка, 2011. – тем. вип. Ч.1. – С.264-269.

Здобувачем запропонована математична модель електричних мереж, що враховує рівень спотворень.

14. Говоров В.Ф. Комплексная оптимизация режимов систем электроснабжения и освещения городов /Ф.П. Говоров, В.Н. Воропай, А.И. Ганус, В.Ф. Говоров // Технічна електродинаміка, 2012. – тем. вип. Ч.2. – С.117-121.

Здобувачем запропонований загальний вигляд критеріальної функції оптимізації.

15. Говоров В.Ф. Особенности управления тиристорами вольтодобавочного трансформатора / В.Ф. Говоров // Технічна електродинаміка, 2012. – тем. вип. Ч.3. – С.79-84

16. Govorov V.P. Integrated optimization of city power & lighting systems modes / P.P. Govorov, V.P. Govorov, O.V. Korol, R.V. Pylypchuk // Proceeding International Scientific Conference. [UNITECH`13], (Gabrovo, 22-23th of November 2013). – Gabrovo: Technical University of Gabrovo, 2013. – Vol. 1. p. 77-80.

Здобувачем здійснено розрахунок та порівняльну оцінку спотворень струму.

17. Govorov V.P. Reactive power compensation in electrical circuits whit discharge lamps / P.P. Govorov, V.P. Govorov, O.V. Korol // Proceeding International Scientific Conference. [UNITECH`14], (Gabrovo, 21-22th of November 2014). – Gabrovo: Technical University of Gabrovo, 2014. – Vol. 1. p. 59-65.

Здобувачем здійснено експериментальне дослідження параметрів ламп.

18. Govorov V.P. Simulation of processes in electric circuits with booster transformer / F.P. Govorov, O.V. Korol, V.F. Govorov // Proceeding International Scientific Conference. [UNITECH`15], (Gabrovo, 20-21th of November 2014). – Gabrovo: Technical University of Gabrovo, 2015. – Vol. 1. p. 109-112.

Здобувачем здійснено розрахунок параметрів режимів електричних мереж.

19. Патент № 106471 Україна, МПК G01R31/02(2006.01) Спосіб розрахунку електричних мереж з негармонійними струмом і напругою / Говоров П.П., Говоров В.П., Терьошин В.М., Терьошин О.В. № a 2010 14514; заявл. 06.12.2010 р.; опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17 – 4 с.

20. Говоров В.Ф. Управление режимами работы электрических сетей городов на основе вольто-добавочного трансформатора с электронным управлением / Говоров Ф.П., Лесной С.А. // Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Энергосбережение. Электроснабжение,

Автоматизация», 2001 р., Гомель, - Гомельський государственный технический Университет им. П.О. Сухого, 2001.

Здобувачем здійснено розрахунково-експериментальне дослідження роботи ВДТ у складі електричних мереж.

21. Говоров В.Ф. Автоматизация управления режимами распределительных электрических сетей / Говоров Ф.П., Лесной С.А. // Тезисы докладов 2-й международной научно-технической конференции «Управление режимами работы обьектов электрических систем», 2002 р., Донецк, - ДонНТУ, 2002.

Здобувачем визначено критерії та параметри автоматичного керування мережами.

22. Говоров В.Ф. Энерго- и ресурсосберегающие технологии в освещении городов Моделирование в электротехнике, электронике и светотехнике / Говоров Ф.П // Материалы Международной научно-технической конференции МЭЭС'05,2005 г., г. Киев.- К.: ОГМУСЭ ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины, 2005.

Здобувачем запропоновано наукові основи енерго- та ресурсозберігаючих технологій зовнішнього освітлення міст.

23. Говоров В.Ф. Регулирование напряжения в городских электрических сетях 6-10/0,38 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов с электронным управлением / Говоров Ф.П. // Тези докладів науково-практичної конференції «Прогресивні інформаційні та комп'ютерні технології для підвищення ефективності функціонування енергопостачальних компаній та електроенергетичних систем», 2006 р., м. Яремче, 2006.

Здобувачем здійснено розрахунково-теоретичні дослідження процесів у ВДТ.

24 Говоров В.Ф. Предпроектная оценка схем и параметров распределительных электрических сетей городов /Ф.П. Говоров, Перепеченый В.А // Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств, VIII міжнародна науково-технічна конференція, 2-5 червня 2008 р., Маріуполь, 2008.

Здобувачем запропонована модель предпроектної оцінки параметрів розподільчих електричних мереж.

25. Говоров В.Ф. Комплексное решение вопросов энерго- и ресурсосбережения в системах электроснабжения и освещения городов / Ф.П. Говоров, В.Н. Бабаев, О.В. Король // Проблемы, перспективи та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві: матеріали IV міжнар. науково-практична конференція, 2012 р., Алушта, ХНАМГ, 2012.

Здобувачем запропонована технічна реалізація проблеми.

АННОТАЦІЇ

Говоров В. П. Підвищення ефективності розподільчих електричних мереж міст в умовах слабкої кореляції графіків навантажень та нелінійності характеристик електроприймачів – на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – «Електричні станції, мережи і системи». Національний технічний університет «Харківський політехничний інститут», Харків 2016.

Дисертація присвячена підвищеню ефективності розподільчих електричних мереж міст в умовах нелінійності характеристик на проектному рівні.

У роботі визначено особливості режимів розподільчих електричних мереж міст, які полягають в наявності значної величини реактивної потужності та низької кореляції графіків її зміни з графіком активної потужності, а також значній величині завад та спотворень в мережах. За результатами досліджень енергетичних процесів в розподільчих електричних мережах міст доведено, що за умов великого рівня завад та спотворень реактивна потужність спотворень має переважний вплив на режими електричних мереж, і обґрунтовано необхідність роздільного обліку та компенсації реактивної потужності зсуву та реактивної потужності спотворень.

На основі дослідження параметрів та режимів вольтододавальних трансформаторів встановлена можливість комплексного розв’язаного вирішення на їх основі питань регулювання напруги та компенсації реактивної потужності в мережах.

Ключові слова: розподільчі мережі міст, реактивна потужність, спотворення, ефективність, вольтододавальний трансформатор.

Говоров В. Ф. Повышение эффективности распределительных электрических сетей городов в условиях слабой корреляции графиков нагрузок и нелинейности характеристик электроприемников – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - «Электрические станции, сети и системы». Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков 2016.

Диссертация посвящена повышенной эффективности распределительных электрических сетей городов в условиях нелинейности характеристик на проектном уровне.

В работе на основе исследования режимов распределительных электрических сетей городов которые работают совместно с осветительной нагрузкой с помощью методов физического и математического моделирования установлены особенности режимов распределительных

электрических сетей городов, которые заключаются в наличии значительной величины реактивной мощности и низкой корреляции графика ее изменения с графиком активной мощности, а также в значительной величине помех и искажений в сетях, вносимых разрядными или светодиодными источниками света. По результатам исследований энергетических процессов в распределительных электрических сетях городов доказано, что в условиях большого уровня помех и искажений реактивная мощность искажения имеет преобладающее влияние на режимы электрических сетей и обоснована необходимость раздельного учета и компенсации реактивной мощности сдвига и реактивной мощности искажений.

На основе иследования методов и технических средств управления режимами електрических сетей определена их малая эфективность, обусловленая неучетом наличия високого уровня искажений кривых токов и напряжения, которые имеют место в распределительных електрических сетях городов, а так же слабую кореляцию графиков напряжения и реактивной мощности в сетях. Наличие указаних особенностей распределительных електрическихсетей городов делает малоэфективним применение традиционых методов и технических средств, построенных на использовнии индуктивно - емкосных накопителей електрической енергии (СТАТКОМ, СТКРМ и т.д.), и делает необходимым применение принципиально новых методов и технических средств, базирующихся на розвязанном ведении режимов напряжения и реактивной мощности.

На основе исследования параметров и режимов вольтодобавочного трансформаторов установлена возможность комплексного развязанного решения и на их основе вопросов регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в сетях.

Исследованием параметров и режимов вольтодобавочного трансформаторов в квазивстановившихся режимах определены условия их надежной и экономичной работы в составе распределительных электрических сетей городов.

Приведены результаты расчетно - экспериментальных исследований работы вольтодобавочного трансформаторов в составе распределительных электрических сетей городов.

Ключевые слова: распределительные электрические сети городов, регулирование напряжения, компенсация реактивной мощности, искажения, эффективность, вольтодобавочный трансформатор.

V. Govorov. Improved electrical distribution networks of cities in terms of weak correlation graphs loads and nonlinearity characteristics of electro - Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.14.02 - "Electric stations, networks and systems." National Technical University “Kharkiv Politechnical Institute”, Kharkiv 2016.

The thesis is devoted to increased efficiency of electrical distribution networks of cities in terms of nonlinearity characteristics at the project level.

The paper based on the study of modes of electrical distribution networks by the methods of physical and mathematical modeling peculiarities modes of electrical distribution networks of cities that are in large size reactive power and low correlation graph of change to the schedule of active power and large size of noise and distortion in networks. According to the research of energy processes in electrical distribution networks of cities proved that with the huge level of noise and distortion reactive power distortion is the dominant influence on modes of electrical networks and the necessity of separate accounting shift reactive power and reactive power distortion.

Based on the study parameters and modes voltododavalnyh transformers installed the opportunity to integrated solutions and solved on the basis of voltage control and reactive power compensation in networks.

Keywords: electrical distribution network bridge, voltage control, reactive power compensation, distortion, efficiency, voltododavalnyy transformer.