

М. В. Базилевич, П. М. Баран, В. П. Кідиба, Г. М. Лисяк, І. О. Сабадаш  
 Національний університет "Львівська політехніка",  
 кафедра електричних систем та мереж

## ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ТЕЛЕМЕХАНІКИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ ПІДСТАНЦІЯМИ

© Базилевич М. В. , Баран П. М., Кідиба В. П. , Лисяк Г. М. , Сабадаш І. О., 2017

**Розроблено фізичну модель системи оперативно-диспетчерського управління підстанціями із застосуванням пристроїв "Альтра".**

**Ключові слова:** релейний захист, цифрограма, "Альтра", підстанція, телемеханіка, автоматизоване робоче місце технолога (АРМ), диспетчерський пункт.

**The physical model of the system of operative-dispatch control of substations with application of devices "Altra" is developed.**

**Keywords:** relay defence, oscillogram, "Altra", substation, teleautomatics, the workplace of technologist (APM), controller's point, is automated.

### Постановка проблеми

В електричних мережах (ЕМ) України без постійного обслуговувального персоналу оперативне управління їх функціонуванням здійснюють або з залученням оперативних виїзних бригад (ОВБ), або дистанційно через системи телемеханіки (ТМ). Перспективним є застосування сучасних систем ТМ, вдосконалення і впровадження яких потребує ґрунтовних досліджень їх властивостей та можливостей із застосуванням інформаційних технологій, сучасних способів і засобів перетворення інформації.

### Аналіз останніх досліджень

На новозбудованих, а також модернізованих підстанціях електричних мереж України оперативно-диспетчерське управління здійснюють із застосуванням різних систем телемеханіки [1-3]. Впродовж тривалого часу для селективного захисту приєднань підстанцій з ізольованою або компенсованою нейтраллями від однофазних замикань на землю (ОЗЗ) ефективно застосовується мікропроцесорний пристрій "Альтра" [4]. Принцип роботи пристрою за виникнення ОЗЗ на приєднанні оснований на відносному порівнянні струмів нульової послідовності приєднань до секції шин (СШ) підстанції [5]. Для захисту всіх приєднань до СШ використовують один пристрій, який виконує такі функції:

- § записує цифрограми миттєвих координат нормального режиму та аварійного процесу під час виникнення ОЗЗ – фазних напруг та потроєних значень напруг нульової послідовності секцій шин (СШ) підстанції, а також потроєних значень струмів нульової послідовності всіх приєднань СШ;
- § здійснює обчислення діючих значень фазних напруг та напруги нульової послідовності СШ, а також струмів нульової послідовності всіх приєднань СШ і виводить їх на екран пристрою;
- § здійснює двонапрямлений обмін інформацією локальною мережею з відповідними абонентами, зокрема з диспетчерськими пунктами (зчитування цифрограм, зміна конфігурації пристрою тощо);
- § забезпечує можливість візуального перегляду характеристик аварійних подій і процесів;
- § формує інформаційний сигнал про виникнення ОЗЗ та, за потреби, сигнал на вимкнення вимикача приєднання, на якому воно виникло.

Аналіз досвіду експлуатації пристроїв "Альтра" показав, що внесення певних змін дає змогу суттєво розширити їхні функціональні можливості щодо вдосконалення оперативно-диспетчерського управління підстанціями ЕМ.

Для перевірки алгоритмів диспетчерського управління підстанціями використовують імітаційні фізичні моделі систем телемеханіки [6,7].

### Постановка задачі

Розробити фізичну модель для відтворення та дослідження особливостей реалізації оперативно-диспетчерського управління підстанціями на основі модернізованих пристроїв "Альтра".

### Виклад основного матеріалу

Для дослідження характеристик сучасних цифрових систем телемеханіки створено фізичну модель. Фізична модель системи ТМ складається з таких підсистем:

- § мікропроцесорний пристрій захисту приєднань за ОЗЗ "Альтра";
- § імітаційна фізична модель управління та сигналізації вимикачів;
- § технічні засоби пересилання і перетворення інформації;
- § концентратор для організації інформаційної мережі;
- § програмне забезпечення для реалізації інформаційних технологій в оперативно-диспетчерському управлінні підстанціями.

Схему приєднання пристрою "Альтра" до вторинних кіл підстанції, яку застосовують в електричних мережах 6 – 35 кВ, наведено на рис.1.

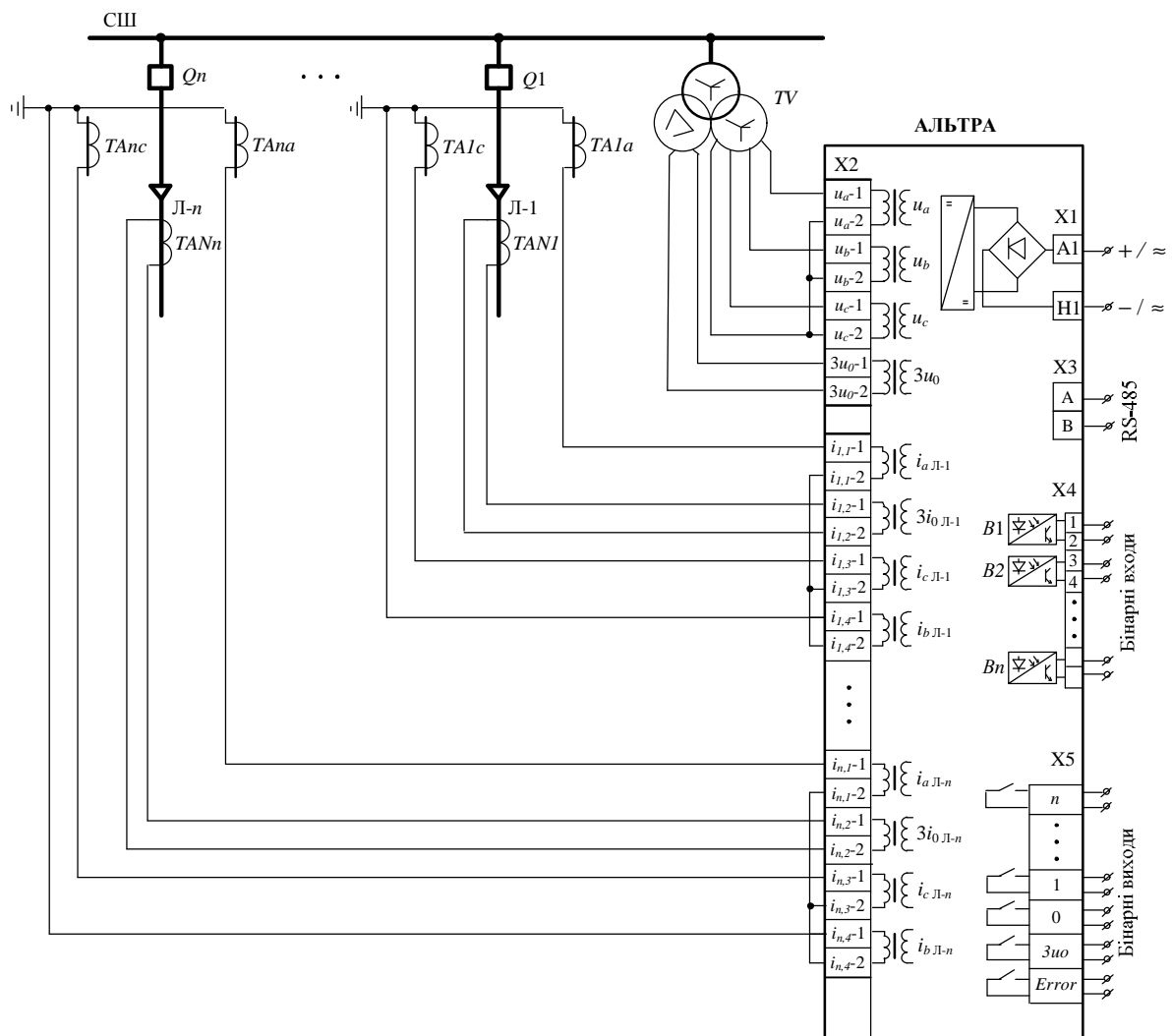


Рис. 1. Схему приєднання пристрою "Альтра" до вторинних кіл підстанції

До пристрою "Альтра" підводять аналогові сигнали від первинних давачів інформації ( $X2$ ) – трансформатора напруги  $TV$  і трансформаторів струмів фаз  $TA$  та нульової послідовності  $TAN$ : фазні напруги та потроєну напругу нульової послідовності СШ, а також струми фаз і потроєні значення струмів нульової послідовності приєднань до СШ підстанції. Бінарні виходи ( $X5$ ) пристрою реалізовані на основі електромеханічних реле, контакти яких приєднують до кіл сигналізації та, за потреби, до кіл вимкнення вимикачів приєднань СШ підстанції. У випадку виникнення ОЗЗ на приєднанні до СШ підстанції замикаються контакти в колах відповідних бінарних виходів пристрою. Бінарний вихід "0" замикається одночасно з замиканням будь-якого контакту з групи контактів "1" – "n". Бінарний вихід "Error" замикатиметься у випадку виникнення несправності пристрою.

У модернізованому виконанні пристрій "Альтра" доповнюється блоком бінарних входів, до яких за допомогою кабелів під'єднують контакти реле-повторювачів пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА), що дасть змогу реєструвати спрацювання пристроїв РЗА, окремих їх підсистем та записувати цю інформацію в пам'яті пристрою з подальшим передаванням її на диспетчерський пункт (ДП). Бінарні входи ( $X4$ ) реалізовані на основі оптронів. Блок бінарних входів можна використати і для реєстрації бінарних сигналів про стан вимикачів на підстанції. Для цього бінарні входи пристрою "Альтра" на підстанції необхідно з'єднати з блок-контактами відповідних вимикачів.

Для мереж з ізолюваними (компенсованими) нейтраллями достатньо контролювати струми двох фаз, як правило, фаз  $A$  та  $C$ , де встановлено трансформатори струму. За значеннями цих струмів та фазних напруг СШ розраховують та відображають на мнемосхемі ДП чинні значення фазних (лінійних) напруг СШ, фазних струмів приєднань, активної та реактивної потужностей і коефіцієнтів потужності приєднань.

Для забезпечення дистанційного управління вимикачами підстанції з диспетчерського пункту через пристрій "Альтра" необхідно встановити на підстанції для кожного вимикача додатково реле команди "увімкнути" та реле команди "вимкнути". Це можуть бути звичайні проміжні реле, якими керуватимуть вихідні реле пристрою "Альтра". Контакти реле команд необхідно задіяти в колах управління відповідних вимикачів підстанції – в колах увімкнення та вимкнення вимикачів.

На кафедрі електричних систем та мереж (ЕСМ) Львівської політехніки розроблено імітаційну фізичну модель вторинних кіл (кіл управління та сигналізації) підстанції ЕМ, яка дає змогу відтворювати оперативно-диспетчерське управління нею на основі пристрою "Альтра". Частина елементів імітаційної фізичної моделі розміщено на її фасаді (рис. 2).

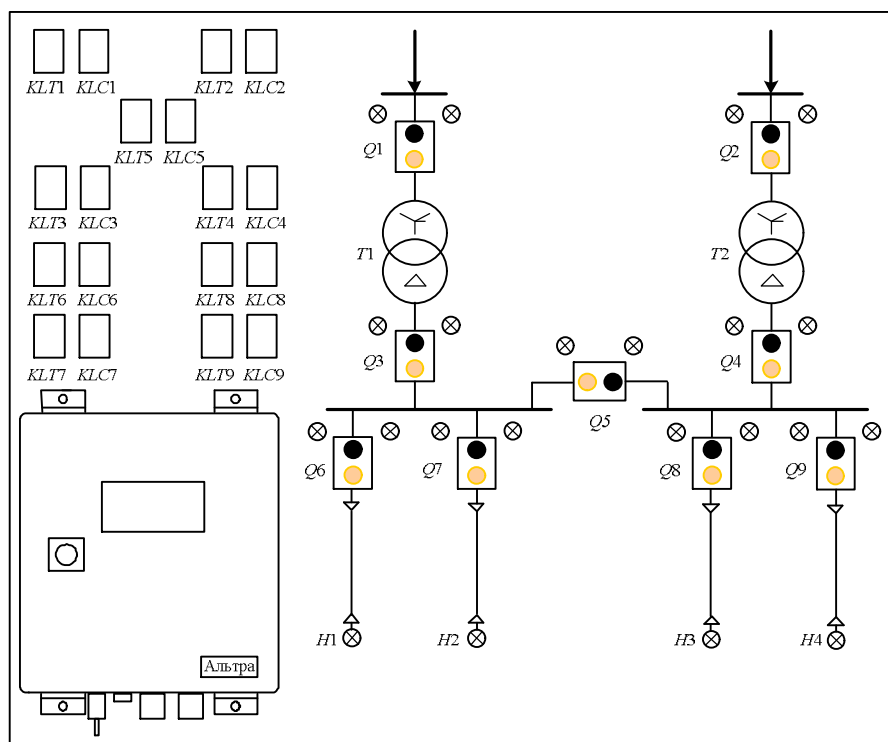


Рис. 2. Загальний вигляд фасаду імітаційної фізичної моделі управління підстанцією

У нижньому лівому куті знаходиться пристрій "Альтра". Над ним розміщено реле команд "увімкнути" та "вимкнути" вимикачів. Ці реле команд реалізовані на проміжних реле типу РП-23. Праворуч розміщено мнемосхему підстанції з кнопками управління моделями вимикачів та лінками ламп сигналізації стану вимикачів підстанції. У фізичній моделі високовольтні вимикачі підстанції реалізовані за допомогою контакторів, а сигналізація їх стану – за допомогою ламп сигналізації, що застосовують на підстанціях. Їх розміщення, монтаж схеми і з'єднання з пристроєм "Альтра" виконано на зворотньому боці панелі фізичної моделі.

Автоматизоване робоче місце диспетчера (АРМ) на ДП реалізовано на основі персонального комп'ютера (ПК). Зв'язок ДП з фізичною моделлю вторинних кіл підстанції здійснено провідним зв'язком через пристрій "Альтра" з використанням Ethernet інтерфейсу. У випадку, коли немає можливості організувати провідний зв'язок, можливий безпроводний зв'язок з використанням GSM-мережі [8, 9].

Доступ до пристрою "Альтра" організований на основі концентратора. Концентратор містить вбудований комп'ютер, GPS-модуль та GSM-модем. Він забезпечує збирання інформації від пристрою, часову синхронізацію, передавання інформації на вищий рівень ієрархії управління. Зв'язок пристрою "Альтра" з концентратором реалізовано за допомогою двопровідної лінії зв'язку типу "вита пара" з використанням інтерфейсу RS-485 (X3).

Схему організації зв'язку АРМ диспетчера з пристроєм "Альтра" на підстанції наведено на рис. 3.

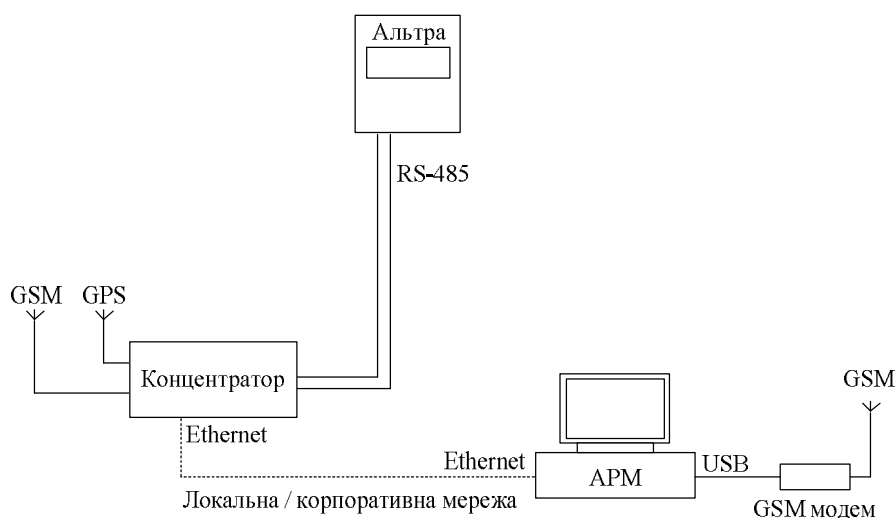


Рис. 3. Організація зв'язку АРМ диспетчера з пристроєм «Альтра» на підстанції

На дисплеї ПК зображено мнемосхему фізичної моделі підстанції ЕМ (рис. 4), яку виконано з використанням загальноживаних редакторів векторної графіки, наприклад, Microsoft Visio, AutoCAD тощо.

Інформація про стан бінарних входів пристрою "Альтра" передаватиметься на диспетчерський пункт. На основі цієї інформації на мнемосхемі диспетчерського пункту відобразиться фактичний стан вимикачів підстанції. На мнемосхемі також відображаються координати режиму: значення фазних (лінійних) напруг, струмів, активної потужності, реактивної потужності, коефіцієнта потужності кожного приєднання, а також за бажанням диспетчера кожної фази приєднання. Розраховують координати режиму на ПК АРМ на основі миттєвих значень фазних напруг шин та фазних струмів приєднань. Зліва від мнемосхеми відображається список файлів цифrogram аварійних процесів, зафіксованих пристроєм "Альтра", а знизу – журнал подій, у якому фіксуються дії диспетчера, спрацювання пристрою "Альтра" тощо.

Значення координат режиму  $Y$  обчислюються наближено за відомим виразом:

$$Y = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T y^2(t) \cdot dt} \approx \sqrt{\frac{h}{2 \cdot T} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (y_k^2 + y_{k+1}^2)}, \quad (1)$$

де  $T$  – період промислової частоти ( $f=50$  Гц);  $y_k, y_{k+1}$  – миттєві значення координат режиму (напруг, струмів) для  $k$  та  $k+1$  точок дискретизації;  $N$  – кількість інтервалів дискретизації на період;

$h = \frac{T}{N}$  – крок дискретизації за часом.

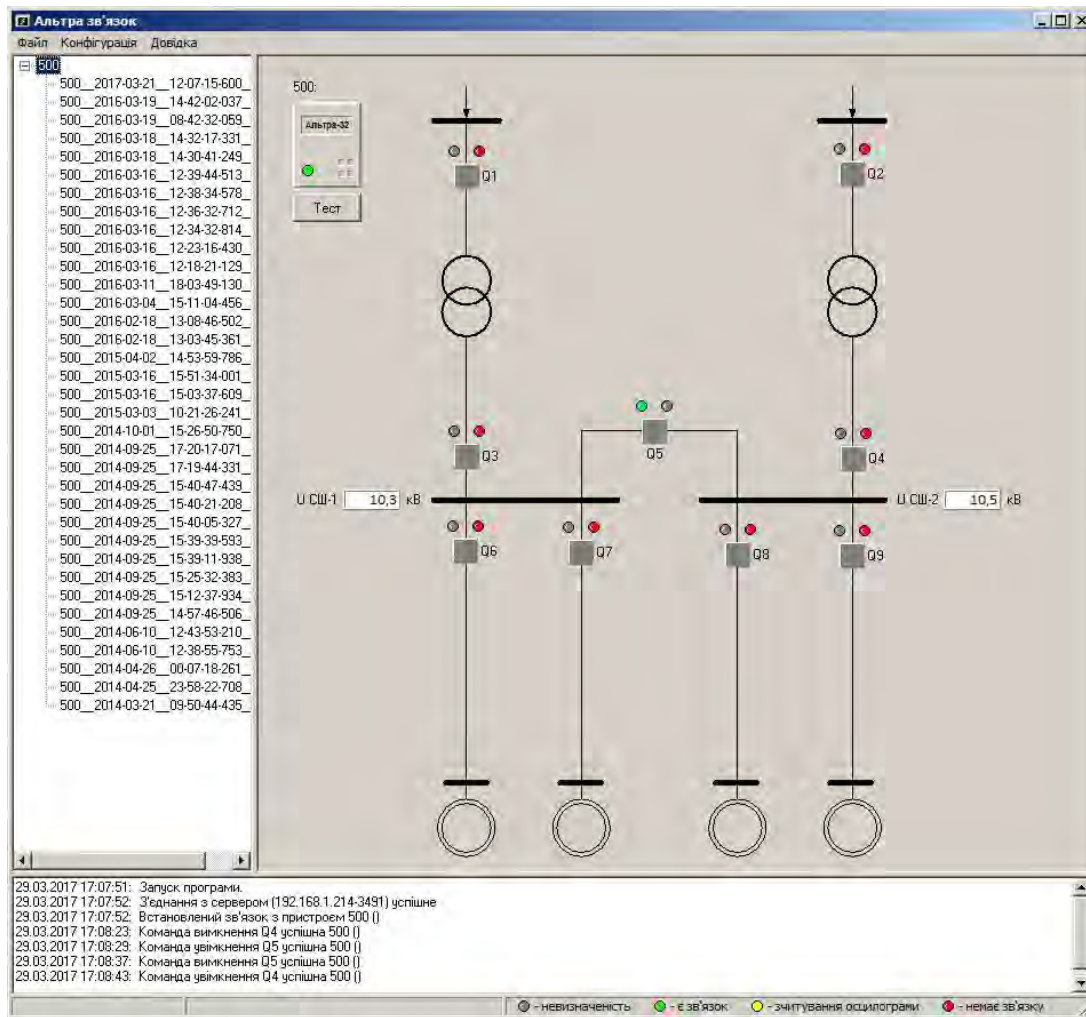


Рис. 4. Відображення мнемосхеми фізичної моделі на ПК АРМ диспетчера

Розраховують активні та реактивні потужності за виразами синусних і косинусних (для  $i$ -ї гармоніки) та постійних складових фазних напруг і струмів, отриманих на основі перетворення Фур'є [10]. Нижче наведено робочі формули розрахунку цих складових:

$$Y_{Si} = \frac{h}{T} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (y_k \cdot \sin(i \cdot \frac{2 \cdot p \cdot k \cdot h}{T}) + y_{k+1} \cdot \sin(i \cdot \frac{2 \cdot p \cdot (k+1) \cdot h}{T}));$$

$$Y_{Ci} = \frac{h}{T} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (y_k \cdot \cos(i \cdot \frac{2 \cdot p \cdot k \cdot h}{T}) + y_{k+1} \cdot \cos(i \cdot \frac{2 \cdot p \cdot (k+1) \cdot h}{T})); \quad (2)$$

$$Y_0 = \frac{h}{2 \cdot T} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (y_k + y_{k+1}),$$

де  $i=1, \dots, M$  та  $M$  – номер найвищої гармоніки.

Активні та реактивні потужності фаз обчислюють за виразами:

$$P = U_0 \cdot I_0 + \sum_{i=1}^M \frac{U_{Si} \cdot I_{Si} + U_{Ci} \cdot I_{Ci}}{2}, \quad (3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^M \frac{U_{Si} \cdot I_{Ci} - U_{Ci} \cdot I_{Si}}{2},$$

де  $U_{Si}, I_{Si}, U_{Ci}, I_{Ci}$  – синусні та косинусні складові напруг та струмів  $i$ -ї гармоніки, обчислені за (2).

Фізична модель тривалий час експлуатується в лабораторних умовах як для проведення досліджень, так і для практичної підготовки студентів та слухачів підвищення кваліфікації.

### Висновки

Аналіз результатів експлуатації фізичної моделі підтвердив ефективність використання пристроїв "Альтра" для реалізації оперативно-диспетчерського управління підстанціями електричних мереж, оскільки це:

1. Забезпечує запис цифrogram миттєвих значень координат режимів і процесів, розрахунок і відображення на АРМ диспетчерського пункту діючих значень фазних напруг і струмів, значень активних і реактивних потужностей та коефіцієнтів потужності приєднань секцій шин.
2. Забезпечує реєстрацію на підстанціях електричних мереж інформації про спрацювання пристроїв РЗА, окремих їх підсистем і стан вимикачів, а також передавання цієї інформації на АРМ диспетчера.
3. Дає змогу диспетчеру оперативно аналізувати інформацію про режими електричної мережі, приймати обґрунтовані управлінські рішення та дистанційно керувати з АРМ диспетчерського пункту вимикачами підстанцій.
4. Дає змогу досліджувати алгоритми функціонування систем телемеханіки в нормальних та аварійних режимах.
5. Створює передумови для вдосконалення АСУ ТП підстанцій електричних мереж.

1. Цифрова підстанція – складова системи "Smart Grid" / В. І. Васильченко, О. Г. Гриб, О. В. Лелека та ін. // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2014. – № 6. – С. 72–76.
2. Черемисин М. М. Автоматизация объектов управления электроснабжением / М. М. Черемисин, В. М. Зубко. – Харьков: Факт, 2005. – 192 с.
3. Гловацкий В. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей / В. Г. Гловацкий, И. В. Пономарев. Энергомашвин, 2003. – 535 с.
4. Мікропроцесорна інформаційно-діагностувальна система "Альтра" для селективного визначення приєднання з уземленою фазою / М. В. Базилевич, Р. С. Божик, В. П. Кідиба та ін. // *Енергетика и электрификация*. – 2003. – № 7. – С. 21–25.
5. Фізична модель мережі з ізольованою нейтраллю для перевірки захистів від однофазних замикань на землю / П. М. Баран, Р. С. Божик, В. П. Кідиба та ін. // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2011. – № 707: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 3–10.
6. Д. И. Зализный, К. М. Медведев, Н. В. Потапенко. Стенд для изучения диспетчерского управления в электрических системах // *Вестник Гомельского технического университета им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*. – 2011. – № 3 (46).
7. Селиверов Д. И. Тренажёрные комплексы для учреждений среднего профессионального образования по специальности 220415 "Автоматика и управление на транспорте" // *"Молодой учёный"*. – 2014. – № 11 (70) – С. 415–418.
8. Феер К. Беспроводная цифровая связь: пер. с англ. / под ред. В.И. Жиравлева – М.: Радио и связь, 2000 – 520 с.
9. Джордж Смит. Сопряжение компьютеров с внешними устройствами. – М.: Мир, 2000. – 266 с.
10. Перхач В. С. Теоретична електротехніка: Лінійні кола: підручник. / В. С. Перхач. – К.: Вища шк., 1992. – 439 с.