

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Досліджено функції і структуру сучасних систем автоматичного керування режимами електроенергетичних систем. Запропоновані шляхи вдосконалення структурної схеми системи автоматичного керування режимами електроенергетичних систем за рахунок використання програмного комплексу *SD Builder* і введення додаткових блоків, зокрема блоку розрахунку планового значення технічних втрат потужності і блоку визначення коефіцієнту якості функціонування регулюючих пристроїв.

Investigated functions and structure of power systems modern automatic control. Proposed ways to improve the structural scheme of the automatic control by modes of power systems through the use of software SD Builder and the introduction of additional units, including the calculation of technical power losses planned and functioning quality coefficient of regulating devices.

Ключові слова: система автоматичного керування, електроенергетична система.

Вступ. В наш час відомо багато систем автоматичного та автоматизованого керування параметрами нормальних режимів в ЕЕС [1–5]. Автоматизована система оперативного керування організується як ієрархічна система, на кожному рівні якої розв'язується обов'язковий базовий склад задач, який забезпечує виконання основних функцій керування цього рівня і реалізує інформаційне забезпечення вищих рівнів [2]. Система оперативного контролю і керування режимом повинна виконувати наступні функції:

- збирання, обробку, перевірку достовірності і передачу інформації про параметри поточного режиму, номер відпайки РПН трансформаторів і т.п.;
- формування архівів параметрів режиму;
- формування бази даних про параметри режиму в реальному часі;
- реалізацію інформаційних диспетчерських задач (контролю робочої потужності, контролю графіка, контролю частоти, контролю напруги, оперативного балансу потужності, розрахунку і розподілу резервів потужності, контролю стану обладнання та ін.);
- оцінку стану системи в темпі процесу за даними телевимірювань, стану мережі та інших даних, з реалізацією гнучких алгоритмів перевірки достовірності, у разі потреби відновлення даних при різних умовах і рівнях «спостережності» системи;
- відображення інформації на диспетчерському щиті і робочих місцях персоналу, наприклад на АРМ ЧП та ін.

До основних критеріїв якості функціонування автоматизованої системи керування в електроенергетиці належать [2]:

- інформативність, основним компонентами якої є: час реакції системи, ефективність технології представлення диспетчеру або черговому підстанції даних про поточний режим;
- інформаційна надійність системи.

Об'єднана електроенергетична система Україна є складною розподіленою системою, яка об'єднана загальним технологічним процесом одночасного вироблення перетворення, передавання та споживання електричної енергії. Керування такою системою побудовано за ієрархічним принципом і містить три загальні рівня:

- верхній – енергооб'єднання;
- середній – регіональні електроенергетичні системи;
- нижній – обласні електроенергетичні системи.

Верхній рівень керування АСДК – це національна енергетична компанія НЕК «Укренерго». В наш час верхній рівень містить оперативно-інформаційний комплекс (ОІК). Цей комплекс забезпечує рішення цілого ряду задач по отриманню та по попередній обробці, архівації та відображенні телеметричної інформації, яка надходить енергооб'єктів. Крім того вирішується ряд технологічних задач серед яких оптимізація режиму по напрузі і реактивному навантаженню, тренування диспетчерського персоналу, а також автоматичне керування генераторами ЕС (електричних станцій) для розв'язання задачі автоматичного регулювання частоти і активної потужності. З метою покращення керування режимами ЕЕС існують різні ієрархічні оперативно-керуючі комплекси, які мають характерні для них переваги і недоліки [3–5].

Розробка структурної схеми комплексу автоматичного керування параметрами нормального режиму. Пропонуємо використовувати двоконтурний трирівневий адаптивний комплекс автоматичного керування нормальним режимом ЕЕС з імітаційною моделлю, яка враховує коефіцієнт якості функціонування регулювальних пристроїв (РП), адекватність початкових даних і планового значення технічних втрат потужності. Структурна схема такого комплексу показана на рис. 1.

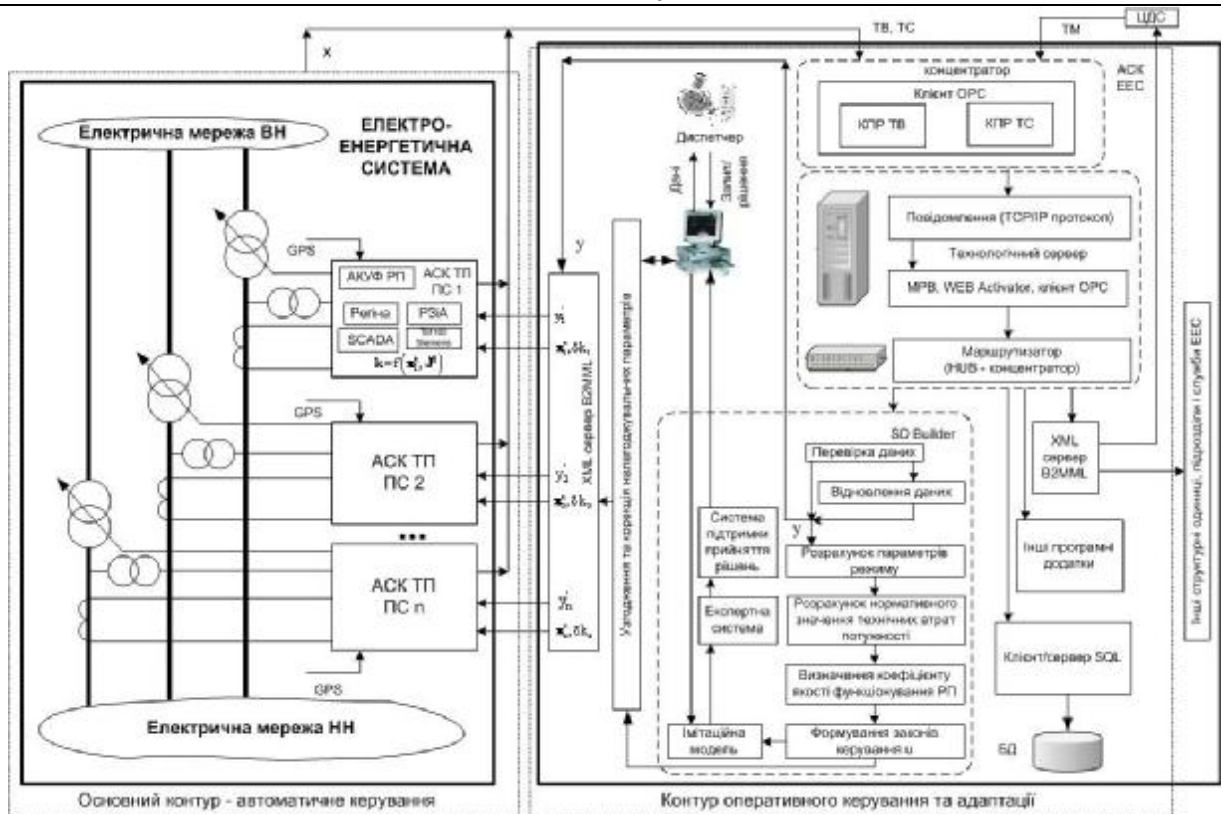


Рис. 1. Розроблена структурна схема адаптивного програмно-апаратного комплексу ЕЕС

Запропонований тривірневий, двоконтурний адаптивний програмно-апаратний комплекс вирішує задачу оптимального автоматичного (автоматизованого) керування регульовальними пристроями РПН трансформаторів підстанцій ЕЕС на нижньому рівні за законом керування, який розроблений на верхньому рівні з врахуванням взаємного впливу регульовальних пристроїв нижнього рівня та за критерієм загальносистемного показника нормативного значення технічних втрат потужності, задачу керування в умовах неадекватності початкових даних режиму, неповноти даних про стан обладнання, в умовах експлуатації силових трансформаторів з РПН, термін експлуатації яких наближається або перевищує 25 років.

Ця схема складається з першого – основного контуру автоматичного керування на нижньому рівні і другого контуру – оперативного керування та адаптації законів керування до параметрів поточного режиму (на верхніх рівнях (центральне диспетчерське управління і регіональне диспетчерське управління) тривірневої АСК).

Враховуючи розроблені в роботах [6, 7] алгоритми розрахунку керуючих впливів, з врахуванням коефіцієнту якості функціонування і нормативного значення технічних втрат, структурна схема системи автоматичного керування (САК) нормальними режимам ЕЕС показана на рис. 1. Основний контур є елементом автоматизованої системи керування технологічним процесом підстанції (АСК ТП). АСК ТП складаються з первинних вимірювальних каналів, які розташовані безпосередньо на об'єкті керування, а також з вторинних пристроїв, які показують, реєструють, регулюють, розраховують різні параметри, захищають окремі вузли або обладнання. Тому в АСК ТП підстанції входить людино-машинний програмно-апаратний комплекс, виконавчі пристрої – РПН трансформаторів, мікропроцесорні пристрої автоматичного управління РПН трансформаторів, вимірювальне високовольтне і низьковольтне обладнання, силові трансформатори або автотрансформатори з РПН та ін.

В наш час відомо чимало пристроїв і систем, які здійснюють автоматичне керування пристроями РПН трансформаторів. Вони працюють в режимі стабілізації напруги, в режимі зустрічного регулювання (АРТ 1-Н (БАР), SPAU341С, АКУФ РП, УЗА-10В.4) або за дистанційно змінюваним законом керування [8 -10].

Метою керування на верхньому рівні є забезпечення оптимального за сумарними втратами потужності та оптимального за напругами на шинах підстанцій режимів процесу передачі електроенергії. Об'єктом керування при цьому є процес передачі електроенергії та устаткування ЕЕС.

Метою керування на нижньому рівні є забезпечення мінімальних відхилень напруг на шинах підстанцій від їх оптимальних значень. Тому замість терміну керування застосовується термін регулювання. На цьому рівні (в основному контурі) процес передачі електроенергії розглядається як сукупність процесів, які разом з трансформаторами з РПН являють собою об'єкти керування даної ступені.

Основний контур (нижній рівень) складається з локальних систем автоматичного (автоматизованого) керування функції яких зводяться до, наприклад, стабілізації оптимальних значень напруг на шинах підстанції. Такі задачі можуть розв'язуватись автоматичними пристроями без участі людини.

Об'єктами керування на верхньому рівні є процеси передачі електроенергії в усій ЕЕС за допомогою локальних систем автоматичного регулювання. На цьому рівні розв'язуються задачі оптимізації загальносистемного показника сумарних втрат електроенергії. Розраховані на цьому рівні закони оптимального керування складні і не завжди можуть бути цілком реалізовані, особливо в післяаварійних режимах. Тому в системах керування як верхнього, так і нижнього рівня застосовують ПЕОМ, а в процесах керування бере участь оператор (диспетчер, черговий підстанції та ін.).

В контур оперативного керування та адаптації (АСК ТП ЕЕС, яка є частиною АСК П ЕЕС) надходить інформація про струми в ЛЕП, напруги на шинах підстанцій, вузлові навантаження, стан обладнання і т.п., яка формує вектор поточних параметрів стану (x) ЕЕС.

Автоматизована система керування підприємством ЕЕС (АСК П ЕЕС) є комплексом програмних, технічних, інформаційних, лінгвістичних, організаційно-технологічних засобів і дій кваліфікованого персоналу. Цей комплекс призначений для розв'язання задач планування і керування різними видами діяльності ЕЕС (виробництвом, транспортуванням, розподілом електричної енергії [ПУЕ]). В свою чергу, автоматична (автоматизована) система керування технологічним процесом підстанції або ЕЕС є комплексом програмних і технічних засобів, який призначений для автоматизації керування технологічним обладнанням підприємств, наприклад, РПН трансформаторів. В автоматизованих САК ТП зберігається можливість людини (диспетчера, чергового підстанції, оператора ОІК і т.п.) в окремих операціях, як з метою збереження контролю людини над технологічним процесом, так і в зв'язку зі складністю або недоцільністю автоматизації окремих операцій (наприклад, огляд обладнання).

Ця інформація по каналах телеметрії (ТМ) або радіо (GSM) зв'язку від підстанцій, від ЕС (електричних станцій), від центральної диспетчерської служби (НЕК Укренерго), від Обленерго надходить на пристрої конверторів протоколів даних телевимірів (КПР ТВ) та телесигналізації (КПР ТС) АСК верхнього рівня. З КПР по стандарту (по протоколу) синхронної і асинхронної передачі двійкових даних RS-232, інформація передається на технологічний сервер. Ця інформація обробляється програмою OPC-клієнт, яка працює на цьому сервері. Використання технології OLE/DCOM в розробці програмних стандартів обміну інформацією між КПР ТС і технологічним сервером дозволило створити специфікацію OPC, яка описує об'єкти OPC-COM та їх інтерфейси, які реалізовані в OPC-серверах. OPC-клієнт може зв'язуватись з одним або з декількома серверами, які розроблені і виготовлені різними виробниками. OPC дозволяє використовувати на рівні об'єктів різні системи керування та контролю, визначає механізм доступу до даних з будь-якого пристрою, а саме забезпечує сумісну роботу і можливість заміни промислових пристроїв від різних постачальників. На технологічному сервері працює програма монітору реального часу (МРЧ), яка є основним виконавчим модулем SCADA-системи TRACE MODE і використовується в АСК ТП ЕЕС та системах телемеханіки. До МРЧ під'єднується багато інших пристроїв: введення-виведення, промислових програмованих контролерів, інтелектуальних серверів і т.п. На технологічному сервері також працює програма WEB Activator, яка забезпечує доступ до інформації ОІК через Internet. З програми OPC-сервера, яка також працює на технологічному сервері, дані (по протоколу TCP/IP) потрапляють на маршрутизатор (HUB-концентратор) мережевий пристрій, який на базі інформації про топологію мереж і певних правил, приймає рішення про пересилання пакетів мереженого рівня між різними сегментами мережі, для розподілу інформаційних потоків даних між споживачами цих даних. Маршрутизатор допомагає зменшити завантаженість комп'ютерної мережі завдяки розподілу її на домени, а також завдяки фільтрації пакетів. Також завдяки маршрутизатору вдається об'єднати комп'ютерні мережі різних, часто не сумісних по протоколах і архітектурі типів, наприклад, для об'єднання локальних мереж Ethernet і WAN з'єднань, а також для забезпечення доступу із локальної мережі в глобальну мережу Internet. Маршрутизатор об'єднує адміністративну локальну мережу і локальну мережу ОІК АСДК, дозволяє передавати інформацію на АРМ оператора диспетчерської служби, АРМ чергового ОІК, АРМ диспетчера 1, АРМ диспетчера 2, АРМ оператора ОІК, АРМ інженера служби збуту електроенергії, АРМ інженера по режимах, АРМ головного диспетчера, АРМ директора, АРМ головного інженера і т.п.

З маршрутизатора інформація передається на XML (eXtensible Markup Language)-сервер B2MML. XML-сервер є набором функцій високошвидкісної обробки, зберігання і запитів XML-документів, які потрібні для керування операційними даними, обробляючи XML-повідомлення, XML-сервер працює дуже швидко і не накладає обмежень на схему XML-повідомлень [11].

B2MML (Business-to-Manufacturing Markup Language) є мовою розмітки зв'язку комп'ютерних програм АСК ТП ЕЕС з програмами АСК П, технічно-експлуатаційних підрозділів (підстанцій і управління ЕЕС) з програмами планово-економічних підрозділів управління ЕЕС. Вона визначає стандартні протоколи взаємодії систем планування MRP (Material Requirement Planning) АСК ТП ЕЕС з ERP-системою (Enterprise Resource Planning System) АСК П ЕЕС [11].

ERP-система використовується для узгодження поточних перетоків потужностей по ЛЕП з їх оптимальними (за критерієм нормативних втрат) значеннями, які передаються по ЛЕП, і залежать від навантажень в вузлах. Вона сприяє потокам інформації між різними підрозділами ЕЕС та інформаційній підтримці зв'язків з підстанціями, НЕК Укренерго, іншими підприємствами. Побудована, на централізованій базі даних, ERP-система формує стандартний єдиний інформаційний простір ЕЕС.

Також з маршрутизатора інформація передається на клієнт-сервер SQL (Structured Query Language). SQL-сервер є системою керування реляційними базами даних. За допомогою SQL-сервера дані надходять в

базу даних (БД) і, у разі потреби, можуть бути отримані з БД.

Дані з маршрутизатора також надходять в програмний комплекс SD Builder (System Dynamics Builder). SD Builder – це програмний продукт, який використовується для побудови та дослідження комп'ютерних моделей складних динамічних систем, якими є ЕЕС. За допомогою SD Builder аналізується динаміка зміни параметрів цих систем, а також він використовується для імітаційного моделювання в реальному часі з використанням вихідних розрахункових параметрів досліджуваного поточного режиму, для автоматичного аналізу результатів моделювання та формування правил систем підтримки прийняття рішень оперативним персоналом, а також для формування законів керування автоматичних та автоматизованих систем АСК ТП електричних підстанцій. SD Builder призначений для розрахунку опису поведінки ЕЕС та процесів в системах імітація та оперативного управління ними. ЕЕС на концептуальному рівні представлена в SD Builder, як множина об'єктів електричних підстанцій, ЛЕП і т.п. Об'єктом є елементи ЕЕС внутрішня структура яких не враховується в той час як його наявність, як єдиного цілого важлива з точки зору дослідження поведінки ЕЕС або керування параметрами нормального режиму ЕЕС з метою зменшення загальносистемного показника сумарних втрат активної потужності. Опис об'єкта містить його параметри (опір трансформатора, опір ЛЕП, навантаження вузлів і т.п.), методи зміни параметрів стану об'єкту (зміни струмів навантажень, дискретна зміна коефіцієнтів трансформації трансформаторів і т.п.), які об'єднують логічно зв'язані зміни значень параметрів нормального режиму ЕЕС, локальні продукційні правила типу «ЯКЦО-ТО», які можуть модифікувати лише значення параметрів об'єкта ЕЕС (модифікувати закони керування трансформаторами з РПН, змінювати коефіцієнт трансформації трансформаторів), показники функціонування, дозволяють збирати статистичну інформацію про еволюцію параметрів стану об'єкта і т.п. Модель SD Builder є динамічною моделлю в базі даних цієї системи є множина підстанцій, ЛЕП, а множина знань є множиною модифікованих продукційних правил, які описують спочатку можливу поведінку ЕЕС в залежності від параметрів режиму, а також можливі дії диспетчера ЕЕС з метою покращення параметрів режиму. Основним компонентом ЕЕС – елементом, процесом, правилом функціонування – відповідають в SD Builder об'єкти, підстанції, ЛЕП, дії (зміни законів керування) і нерегулярні події (зміни коефіцієнтів трансформації) не модифікованого продукційного правила. Процес функціонування ЕЕС є послідовністю дій і нерегулярних подій. При керуванні ЕЕС в реальному часі блок керування (логічного висновку) ініціалізує подію початку дій (зміни закону керування) на основі моделі і поточного стану ЕЕС, в той час, як моменти закінчення дій (перемикання пристроїв РПН) і нерегулярні події зміни напруг на шинах підстанціях, струмів в ЛЕП є відгуком ЕЕС на перемикання РПН. З метою побудови імітаційної моделі до математичної моделі нормального режиму додається апарат дискретних подій. Модель процесу оптимального керування будується системою логічного висновку і блоком імітації нерегулярних подій для спостереження за режимом ЕЕС для спостереження використовується блок збирання показників функціонування. Тому в SD Builder з маршрутизатора дані надходять на блок перевірки даних і в разі, якщо ці дані задовольняють вимогам до адекватності даних реальним параметрам поточного режиму, вони передаються в програму розрахунку параметрів режиму. Якщо ж дані не відповідають цим вимогам, то вони передаються на програмний модуль відновлення даних. Після цього модуля, дані у вигляді вектора спостереження у надходять в програму розрахунку параметрів поточного режиму (поточного значення загальносистемного показника сумарних втрат потужності). Параметри цього ж вектору спостереження у вигляді вибіркового потоку інформації y'_1, y'_2, \dots, y'_n передаються через XML сервер АСК ТП (АСК П) ЕЕС в програмне забезпечення АСК ТП підстанцій для відображення цих параметрів на моніторах SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) системи підстанцій з метою інформаційної підтримки оперативного персоналу [8-10].

Також, з модулю розрахунку параметрів режиму дані передаються в модуль розрахунку нормативного значення технічних втрат потужності, а звідти в модуль визначення коефіцієнту якості функціонування. З врахуванням попередньо отриманих результатів в наступному модулі формуються закони оптимального керування та визначаються параметри зон нечутливості регульованих пристроїв.

Розраховані закони керування передаються на блок узгодження та корекції налагоджуваних параметрів та на блок імітаційної моделі, робота з якою, активізується по команді диспетчера. Імітаційна модель використовує в якості початкових даних поточні значення параметрів нормального режиму дозволяє розрахувати параметри режиму, які будуть в результаті реалізації отриманих розрахунковим шляхом законів керування. Інформація із імітаційної моделі передається в експертну систему, де обробляється і аналізується. Звідти результати аналізу передаються в блок підтримки прийняття рішень, який у відповідності до бази знань надає рекомендації черговому персоналу у вигляді продукцій – логічних правил на АРМ диспетчера, чергового підстанції. Диспетчер ЕЕС здійснює контроль за роботою імітаційної моделі і аналізує розроблений в SD Builder закон оптимального керування. В разі необхідності він приймає рішення про доцільність або недоцільність перепрограмування пристроїв АКУФ РП підстанцій у відповідності до змінного закону керування. Для зміни закону керування в локальних АСК ТП (підстанцій) дані у вигляді зміненого закону оптимального керування з блоку узгодження та корекції налагоджуваних параметрів передаються на XML-сервер ЕЕС, а звідти по ВОЛЗ, каналах телемеханіки передаються в АСК ТП підстанцій (рис. 1 та рис. 2).

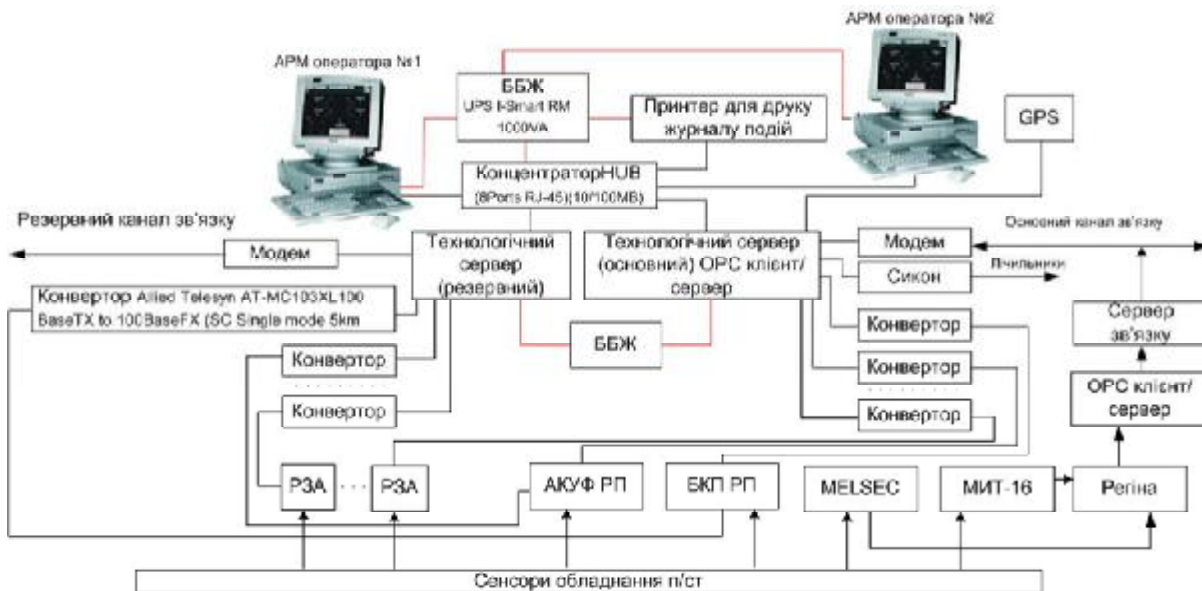


Рис. 2. Спрощена структурна схема адаптивного програмно-апаратного комплексу АСК ЕЕС

АСК ТП підстанцій, яка побудована за принципом побудови SCADA систем, здійснює оперативне керування обладнанням підстанцій, збирання, обробку, приймання та передачу даних на верхній рівень, індикацію даних про параметри режиму і стан обладнання (увімкнено/вимкнено), контроль і управління з використанням ЕОМ. SCADA система передбачає участь людини в процесі керування, однак вона є складовою частиною АСК ТП підстанції і забезпечує автоматичні пристрої керування (АКУФ РП, SPAU 341С, УЗА-10В.4 і т.п.) обладнанням (РПН трансформаторів) підстанції законами керування та необхідною вхідною інформацією. По каналах зв'язку інформація з АСК П ЕЕС потрапляє на модеми АСК ТП підстанції, а з них на робочу станцію (сервер зв'язку), а з нього через модеми по мережі Ethernet підстанції надходить на основний та резервний технологічні сервери. На технологічному сервері працюють програми OPC клієнт-сервер, клієнт-сервер SQL, клієнт-сервер В2ММL, які приймають участь у надходженні, упорядкуванні та зберіганні даних з контрольно-вимірювальних пристроїв і в передачі цих даних на верхній рівень АСК. Технологічні сервери, через концентратори, передають інформацію на АРМ оперативного персоналу підстанцій.

Технологічні сервери через конвертори, наприклад Allied Telesyn AT-MC103 XL 100, отримують дані:

від мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики, наприклад від МІСОМ Р143, Р141 і т.п.,

від програмованих логічних контролерів, наприклад, MELSEC FX,

від перетворювачів фізичних величин, наприклад, МІД-16, МІД-24,

від блока контролю параметрів РПН, наприклад, LTC-MAP (General Electric Energy, Канада).

Сервер зв'язку, з програмою OPC – сервер передає дані від ІДК (інформаційно-діагностичного комплексу) «Регіна» на АРМ оперативного персоналу підстанції та в ОІК ЕЕС.

Мережа, яка працює з протоколом передачі даних Modbus, з'єднує пристрої релейного захисту з мікропроцесорними перетворювачами фізичних величин МІД-16, МІД-24. Мережа Ethernet використовується для зв'язку технологічних серверів між собою, з концентратором, контролерів MELSEC FX 2N, АРМ оперативного персоналу з концентратором і технологічними серверами, технологічних серверів з робочою станцією, технологічних серверів з принтерами. В якості мережі передачі даних була вибрана мережа CC-Link завдяки її надійності при передачі інформації між програмованими логічними контролерами MELSEC FX 2N на великі відстані. Тобто CC-Link поєднує всі контролери між собою. Контролери MELSEC FX 2N використовуються для організації збирання дискретних і аналогових сигналів і формування керувальних впливів. Їх вибір зумовлений блочною, легко збільшуваною структурою та високою надійністю. Контролери виробляються в Японії концерном Mitsubishi Electric.

Клієнтська частина АСК працює під керуванням OS Microsoft Windows XP. Вона базується на SCADA системі Iconics Genesis 32 (TRACE MODE 6). Зв'язок сервер-сервер і сервер-клієнт побудовані по технології Ethernet. До переваги SCADA системи можна віднести велику степінь інтеграції з продуктами Microsoft, підтримку сучасного загальноприйнятого стандарту OLE for Process Control (OPC) і можливість інтеграції багатьох мікропроцесорних пристроїв автоматизації (використовуючи технологію OPC). В якості баз даних використовується Microsoft SQL-сервер.

Фізично середовище передачі даних по комп'ютерним мережам – вита пара. Всі процеси в системі автоматично синхронізовані так, щоб всі технологічні події, яким би контролером вони не були б зафіксовані, були прив'язані до єдиної шкали часу.

Локальний час синхронізується з астрономічним часом за допомогою пристрою GPS (Global

Positioning System). Точність прив'язки єдиного часу пристроїв АСК ТП не гірше 10 мс. Максимальне розходження таймерів низових пристроїв не більше 10±15 мс. При цьому враховуються переходи на зимній та літній час.

Підсистема моніторингу режимів підстанцій є складовою частиною загальної системи моніторингу режимів в ОЕС (Об'єднаній електроенергетичній системі України) та міжсистемних зв'язків з енергосистемами інших країн. Вона прив'язана до системи астрономічного єдиного часу GPS. В якості програмного забезпечення для відображення інформації використовується програмне забезпечення SCADA в системі Iconics Genesis 32 (Trace Mode 6). АСК підстанцією стикується з ОІК по протоколу IEC 60870.5.101\104 або OPC. При надходженні змінених законів управління з АСК П ЕЕС на технологічний сервер АСК ТП підстанції, програма, розташована на технологічному сервері розраховує відповідні коефіцієнти трансформації і пересилає їх на пристрої АКУВ РП, які здійснюють переключення анцапф РПН трансформаторів і в подальшому автоматично підтримують постійну напругу на шинах підстанції, якщо в АКФ заданий режим стабілізації напруг, а не зустрічного регулювання.

Висновки

Запропоновані шляхи вдосконалення структурної схеми системи автоматичного керування режимами електроенергетичних систем за рахунок використання програмного комплексу SD Builder і введення додаткових блоків, зокрема блоку розрахунку планового значення технічних втрат потужності і блоку визначення коефіцієнту якості функціонування регулюючих пристроїв, які покликані підвищити ефективність роботи систем автоматичного керування режимами електроенергетичних систем, враховувати планове значення технологічних втрат потужності, поточний стан РПН трансформаторів та прогнозовану ефективність їх використання під час оперативного керування нормальними режимами ЕЕС.

Література

1. Бурикін О.Б. Автоматизація оптимального керування потоками потужності на основі критеріального методу / О.Б. Бурикін, К.І. Кравцов, В.В. Кулик // Вісник ВПІ – 2007. – № 2. – С. 66-71.
2. Юсифов Н.А. Автоматизированная система оперативно-технологического управления как распределенная иерархическая система [Електронний ресурс] / Н.А. Юсифов // Проблемы энергетики. – 2003. – № 6. – Режим доступу : www.elm.az/physics/PowerEng/2003/v4article/art02.pdf
3. Кириленко А.В. Разработка иерархического оперативно-управляющего комплекса и внедрение его в энергообъединении Украины / А.В. Кириленко, В.Л. Прихно, П.А. Черненко // Наука та інновації. – 2008. – № 6. – Т. 4. – С. 12-25.
4. Авраменко В.М. Програмні засоби для автоматизації оперативного диспетчерського керування енергосистем / В.М. Авраменко, В.Л. Прихно, П.О. Черненко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – Т.4. – № 3. – С. 21-26.
5. Прихно В.Л. Иерархические принципы формирования моделей установившихся режимов на основе телеметрической информации / В.Л. Прихно // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки», – 2006. – Ч. 1 – С. 22-27.
6. Пат. 61058 Україна, МПК8 Н02J3/24. Спосіб оптимального керування нормальними режимами електроенергетичної системи / П.Д. Лежнюк, О.О. Рубаненко ; заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет ; заявл. 29.11.10 ; опубл. 11.07.11., Бюл. № 13, 2011.
7. Лежнюк П. Оптимальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з урахуванням планового значення технічних втрат потужності / Петро Лежнюк, Олена Рубаненко // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – 2011. – № 1. – С. 192-193.
8. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : [учеб. пособие для студентов вузов] / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. – М. : Изд-во вузов МЭИ, 2000. – 199 с.
9. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем : [учебник для вузов] / Николай Иллич Овчаренко. – М. : НЦЭНАС, 2000. – 504 с.
10. Оболонский Д.И. Интегрированная SCADA/HMI система TRACE MODE на службе в юго-западном электроэнергетическом регионе Украины [Електронний ресурс] / Оболонский Д.И., Полуян С.А., Когут О.Е. □ Режим доступу : http://www.adastra.ru/reports/expo10/obolonsky-scada-hmi_system_tm_sw_energy_.htm
11. Ясиновский С.И. MES-система SDB: интеллектуальная гибридная система поддержки принятия решений в оперативном управлении процессами / С.И. Ясиновский // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – С. 17□21.

Надійшла 11.6.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Кутін В.М.