

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПОТОКАМИ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ДАЛЬНІМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧАМИ

Запропоновано вдосконалена математичну модель неоднорідності електричної системи (ЕС) з дальніми електропередачами змінного струму. Представлено метод формування керувальних впливів для регулювальних пристроїв такої системи, реалізація яких дозволяє забезпечити максимальну ефективність транспортування електроенергії. Наведено особливості апаратно-програмної реалізації локального керування регулювальними пристроями ЕС, що забезпечує переваги централізованого керування.

Ключові слова: електричні мережі, довгі лінії електропередачі, хвильові властивості, нормальні режими, умови оптимальності, математична модель, система автоматичного керування.

V.V. KULIK, K.I. KRAVTSOV, S.Y. VYSHNEVSKY

Vinnitsia National Technical University

AUTOMATION OF THE OPTIMAL CONTROL OF POWER FLOW IN ELECTRICAL NETWORKS WITH DISTANT POWER SUPPLIES

Abstract – an improved mathematical model of the heterogeneity electrical system (ES) with a distant AC power is given. A method of formation of the controlling action is offered which is used for regulating devices of such system, implementation of which ensures highest efficiency of transmission of the electricity. The peculiarities of hardware and software implementation of local control devices regulating EC are shown, which provides the benefits of centralized management.

Keywords: electrical networks, long lines, wave properties, normal modes, optimality conditions, mathematical model, automatic control system

Вступ

Одним з основних показників ефективності використання електроенергії є технологічні витрати, пов'язані з її транспортуванням від джерел живлення до споживачів. Аналіз фактичних витрат електроенергії в Україні протягом останніх років [1] свідчить про перевищення відповідних показників, характерних для країн Західної Європи. Особливо це стосується розподільних електромереж, для яких крім конструктивної невідповідності сучасним умовам експлуатації, характерним є негативний вплив з боку магістральних електромереж, зумовлений їх неоднорідністю [2, 3].

Головною причиною підвищених витрат електроенергії, зокрема технічної складової витрат, є низька ефективність електроощадних заходів, що в свою чергу обумовлено недостатнім рівнем автоматизації контролю та керування режимам магістральних та розподільних електромереж. Враховуючи високий рівень розвитку сучасних мікропроцесорних систем та широкомасштабне впровадження автоматизованих систем моніторингу режимів, особливо магістральних електромереж, стає можливим, по-перше, використовувати інформацію з баз даних таких систем в задачах оптимізації керування потоками потужності [3] та взаємовпливом [4] електричних мереж (ЕМ) в електричній системі (ЕС) [4], а по-друге, інтегрувати підсистеми автоматизації оптимального керування до складу автоматизованої системи диспетчерського керування (АСДК).

Автоматизація оптимального керування потоками потужності в сучасних ЕС, розвиваючись на базі існуючих АСДК, передбачає розроблення й удосконалення технічного, інформаційного і програмного забезпечення. На сьогодні в практиці диспетчерського керування енергосистемами використовується програмно-технічні засоби оптимізації нормальних режимів ЕС, які мають ряд недоліків. Недосконалість математично-програмного забезпечення пов'язана, переважно, з використанням спрощених математичних моделей процесів транспортування електроенергії, які були актуальними 20–30 років назад, і не відповідають сучасному рівню апаратного забезпечення. У складі апаратного забезпечення, незважаючи на його всебічний розвиток, що спостерігається останнім часом, практично відсутні спеціалізовані інформаційні пристрої зв'язку між регулювальними пристроями ЕС (трансформаторів та автотрансформаторів з РПН тощо) і керувальними електронно-обчислювальними машинами (ЕОМ). А без таких пристроїв неможлива взаємодія програмних засобів оптимального керування режимами ЕМ та регулювальних пристроїв (РП). Крім того, автоматизовані системи, які забезпечують локалізацію окремих функцій централізованого керування, реалізуючи програмне керування за місцевими параметрами та оперативне коригування налагоджувальних параметрів локальних систем автоматичного керування (САК), здатні підвищити надійність функціонування системи в цілому та розширити її функціональність в особливих режимах роботи.

Отже, питання вдосконалення програмно-апаратного забезпечення АСДК ЕС у напрямку реалізації оптимального керування їх нормальними режимами за рахунок розвитку математичних моделей та методів оптимізації параметрів РП, а також засобів реалізації таких параметрів, виявляється актуальними.

Метод формування законів оптимального керування потоками потужності в електричних системах на підставі аналізу їх неоднорідності

Як відомо [3], компенсувати додаткові втрати потужності та електроенергії в ЕС, які викликані її неоднорідністю [2, 3], можливо шляхом регулювання напруги у вузлах ЕС, або введення в контури зрівнювальних е.р.с. В такій постановці задачі керувальними змінними є е.р.с., які необхідно ввести у замкнені контури для реалізації оптимального струморозподілу [3] за рахунок зміни коефіцієнтів трансформації трансформаторів, які входять до цих контурів.

В [3] показано, що оптимальне значення втрат в ЕС досягається за відносних значень е.р.с., які розраховуються за формулами:

$$\mathbf{E}_{*зр.а}^E(t) = \mathbf{p}_a^E \mathbf{J}_{*р}^E(t), \quad \mathbf{E}_{*зр.р}^E(t) = \mathbf{p}_р^E \mathbf{J}_{*а}^E(t), \quad (1)$$

де $\mathbf{E}_{*зр.а}^E(t), \mathbf{E}_{*зр.р}^E(t)$ – вектори активних і реактивних складових відносних значень зрівнювальних е.р.с.;

$\mathbf{J}_{*а}^E(t), \mathbf{J}_{*р}^E(t)$ – вектори активних і реактивних складових відносних значень струмів у вузлах ЕС;

$\mathbf{J}(t) = \mathbf{U}_д^{-1}(t) \cdot \mathbf{S}(t)$ – вектор вузлових струмів ЕС (символ «^» тут і далі позначає комплексно-спряжені значення комплексних величин);

$\mathbf{U}_д(t), \mathbf{S}(t)$ – діагональна матриця вузлових напруг та вектор вузлових потужностей;

$\mathbf{p}_a^E, \mathbf{p}_р^E$ – матриці критеріїв подібності.

В (1) всі параметри подаються у відносних одиницях. За базисні приймаються параметри ідеального режиму, розрахованого за заступною r -схемою ЕС.

Матриці критеріїв подібності визначаються за формулами [3]:

$$\mathbf{p}_a^E = - \left[\mathbf{E}_{зр.а}^{(б)} \right]_д^{-1} \mathbf{n}_r \mathbf{r}_в \mathbf{M}_\alpha^{-1} \left[\mathbf{J}_р^{(б)} \right]_д; \quad \mathbf{p}_р^E = \left[\mathbf{E}_{зр.р}^{(б)} \right]_д^{-1} \mathbf{n}_r \mathbf{r}_в \mathbf{M}_\alpha^{-1} \left[\mathbf{J}_а^{(б)} \right]_д \quad (2)$$

де $\mathbf{n} = \mathbf{N}_\alpha \mathbf{x}_в \mathbf{r}_в^{-1} - \mathbf{x}_к \mathbf{r}_к^{-1} \mathbf{N}_\alpha$ – матриця системних показників неоднорідності ЕЕС;

$\mathbf{r}_к, \mathbf{x}_к$ – активна та реактивна складові матриці контурних опорів для системи базисних контурів;

$\mathbf{M}_\alpha, \mathbf{N}_\alpha$ – матриці з'єднань віток дерева заступної схеми ЕС, відповідно, у вузлах і контурах.

Співвідношення (1) є законами оптимального керування, в яких коефіцієнти зворотного зв'язку за фізичним змістом є критеріями подібності. Для реалізації (1) розроблено САК нормальними режимами ЕС [3, 4], основна функція якої полягає в тому, щоб підтримувати значення комплексного критерію оптимальності F^* , в якому враховано фактори надійності та економічності транспортування електроенергії, а також її якості [3, 4], у межах встановленої зони нечутливості δF^* (керувальні впливи регулюючими пристроями здійснюються після виходу критерію за її межі). Результатом дії системи є наближення поточної траєкторії зміни втрат потужності в ЕС до оптимальної за заданих експлуатаційних умов [3]. Крім того, як показано в [4], реалізація керувальних впливів, отриманих на підставі (1), забезпечує оптимізацію взаємовпливу магістральних та розподільних електромереж за втратами та рівнями напруг.

Однак, для отримання (1) та (2) було використано ряд припущень. Приведення параметрів електромереж з трансформаторними зв'язками до одного класу напруги і, відповідно, неможливість врахування незбалансованих коефіцієнтів трансформації у контурах ЕС, розрахунок емнісного генерування та втрат на корону для ліній електропередачі (ЛЕП) за номінальними напругами, моделювання режимів довгих ЛЕП без урахування їх хвильових властивостей, можуть негативно впливати на адекватність відтворення оптимальних станів ЕС та спричиняти прийняття та реалізацію неефективних рішень.

Вдосконалення методу формування законів оптимального керування нормальними режимами електричних систем з дальніми електропередачами

Для компенсації негативного впливу неоднорідності параметрів електромереж ЕС за рахунок керування РП у контури необхідно ввести е.р.с. небалансу $\mathcal{L}_{нб} \rightarrow -\mathcal{L}_{зр}$, за рахунок чого струми небалансу $\mathcal{L}_{нб}$ частково або цілком компенсують фіктивні зрівнювальні струми $\mathcal{L}_{зр}$ [3]. В загальному випадку для j -го контуру, що належить системі базисних контурів [2], е.р.с. небалансу визначається:

$$\mathcal{L}_{нбj} = \left(1 - \prod_{i \in TP_j} \mathcal{K}_i \right) \mathcal{U}_0^E, \quad (3)$$

де \mathcal{K}_i – коефіцієнт трансформації i -го трансформатора, що належить множині трансформаторів j -го контуру TP_j ; \mathcal{U}_0^E – напруга базисного вузла ЕС.

Фіктивні зрівнювальні е.р.с. у неоднорідних електромережах, що містять трансформаторні зв'язки та довгі електропередачі можна визначити за виразом [3, 6]:

$$\mathbf{E}_{зр} = \mathbf{N}_{Ak} \mathbf{Z}_B (\mathbf{I} - \mathbf{E}_{ек}) , \quad (4)$$

де \mathbf{N}_{Ak} – матриця зв'язків віток ЕС у її контурах, побудована з урахуванням трансформаторних зв'язків та довгих електропередач [6];

\mathbf{Z}_B – діагональна матриця опорів віток заступної схеми, в якій вітки довгих передач подані постійними чотириполюсника B [6];

$\mathbf{E}_{ек}$ – вектор економічних струмів у вітках заступної схеми електромереж, визначений на підставі заступної r -схеми ЕС з урахуванням додаткових умов [6];

\mathbf{I} – вектор струмів у вітках, що відповідає реальному струморозподілу з врахуванням взаємовпливу електромереж різних класів напруги, які працюють паралельно.

Вирази для визначення векторів \mathbf{I} та $\mathbf{E}_{ек}$, як функцій задаючих струмів \mathbf{J} у вузлах заступної схеми ЕМ з урахуванням комплексних коефіцієнтів трансформації трансформаторів зв'язку та хвильових властивостей довгих ЛЕП, можуть бути подані так [6]:

$$\mathbf{I} = \mathbf{Z}_B^{-1} \mathbf{M}_{Ak}^T (\mathbf{M}_D \mathbf{Z}_B^{-1} \mathbf{M}_{Ak}^T)^{-1} (\mathbf{J} - \mathbf{Y}_0 \mathbf{U}_0) + \mathbf{Z}_B^{-1} \mathbf{M}_0^T \mathbf{U}_0 ; \quad (5)$$

$$\mathbf{E}_{ек} = \mathbf{R}_B^{-1} \mathbf{M}_{Ak}^T (\mathbf{M}_D \mathbf{R}_B^{-1} \mathbf{M}_{Ak}^T)^{-1} (\mathbf{J} - \mathbf{Y}_{R0} \mathbf{U}_0) + \mathbf{R}_B^{-1} \mathbf{M}_0^T \mathbf{U}_0 , \quad (6)$$

де $\mathbf{M}_{Ak}^T = \mathbf{M}^{T+} \mathbf{K} + \mathbf{A}_d \mathbf{M}^{T-}$ – транспонована матриця зв'язків віток ЕМ у її вузлах з урахуванням ідеальних трансформаторів та довгих електропередач [6] (символ « T » тут і далі позначає операцію транспонування матриць);

\mathbf{M}^{T+} , \mathbf{M}^{T-} – матриці, які формуються заміною, відповідно, від'ємних або додатних елементів транспонованої матриці з'єднань \mathbf{M}^T [4] нулями;

\mathbf{K} , \mathbf{A}_d – діагональні матриці, відповідно, коефіцієнтів трансформації трансформаторних віток та постійних чотириполюсника A для інших віток заступної схеми ЕМ;

$$\mathbf{M}_{Ak} = \mathbf{M}^+ \mathbf{A}_d + \mathbf{K} \mathbf{M}^-$$
 – матриця зв'язків віток ЕМ у її вузлах;

\mathbf{U}_0 – вектор напруг базисного та балансувальних вузлів ЕМ;

\mathbf{Y}_0 , \mathbf{Y}_{R0} – фрагменти матриці вузлових провідностей, які відповідають балансувальним вузлам ЕС, визначені, за повною заступною схемою та за r -схемою;

\mathbf{M}_0^T – фрагмент матриці з'єднань \mathbf{M}_{Ak}^T , який відповідає балансувальним вузлам ЕМ;

\mathbf{R}_B – діагональна матриця опорів віток, яка містить лише активні складові опорів віток \mathbf{Z}_B .

Підставивши у вираз зрівнювальних е.р.с. (4) вирази для \mathbf{I} і $\mathbf{E}_{ек}$, після перетворень та спрощень було отримано:

$$\mathbf{E}_{зр} = \mathbf{N}_{Ak} \left(1 - j \mathbf{X}_B \mathbf{R}_B^{-1} \right) \mathbf{M}_0^T \mathbf{U}_0 - j \mathbf{N}_{Ak} \mathbf{X}_B \mathbf{R}_B^{-1} \mathbf{M}_{Ak}^T (\mathbf{M}_{Ak} \mathbf{R}_B^{-1} \mathbf{M}_{Ak}^T)^{-1} (\mathbf{J} - \mathbf{Y}_{R0} \mathbf{U}_0), \quad (7)$$

або після перетворень

$$\mathbf{E}_{зр} = \mathbf{E}_{*нб.к} \mathbf{U}_0 - j \left(\mathbf{E}_{*нб.γ} \mathbf{U}_0 + \mathbf{Z}_{ф.зр} \mathbf{J} \right), \quad (8)$$

де $\mathbf{E}_{*нб.к} = \mathbf{N}_{Ak} \mathbf{M}_0^T$ – матриця відносних контурних е.р.с., які визначаються незбалансованими коефіцієнтами трансформації та коефіцієнтами розповсюдження хвилі довгих ЛЕП (j -ий елемент $\mathbf{E}_{*нб.к}$ відповідає виразу (3));

$$\mathbf{E}_{*нб.γ} = \mathbf{N}_{Ak} \mathbf{X}_B \mathbf{R}_B^{-1} \left(\mathbf{M}_0^T - \mathbf{M}_{Ak}^T (\mathbf{M}_{Ak} \mathbf{R}_B^{-1} \mathbf{M}_{Ak}^T)^{-1} \mathbf{Y}_{R0} \right)$$
 – матриця відносних контурних е.р.с.,

яка визначається перетіканнями потужності між балансувальними джерелами електроенергії ЕС та залежить від неоднорідності системи;

$\mathbf{Z}_{ф.зр} = \mathbf{N}_{Ak} \mathbf{X}_B \mathbf{R}_B^{-1} \mathbf{M}_{Ak}^T (\mathbf{M}_{Ak} \mathbf{R}_B^{-1} \mathbf{M}_{Ak}^T)^{-1}$ – матриця фіктивних контурних опорів, що визначає зрівнювальні е.р.с., як функцію неоднорідності поздовжніх та поперечних параметрів ЕС;

\mathbf{X}_B – діагональна матриця опорів віток, що містить лише реактивні складові опорів віток \mathbf{Z}_B .

З (8) видно, що складові $\mathbf{E}_{*нб.γ}$ та $\mathbf{Z}_{ф.зр}$ визначаються співвідношенням реактивних та активних опорів віток заступної схеми ЕС, коефіцієнтами трансформації трансформаторів та коефіцієнтами розповсюдження хвилі довгих передач (у вигляді постійних чотириполюсника A). Таким чином, відсутність зрівнювальних е.р.с. у замкнених контурах характерна лише для електромереж, в яких коефіцієнти трансформації в контурах збалансовані, всі вітки відповідають класичній умові однорідності [2] $x_i / r_i = idem$, а для довгих ЛЕП забезпечується умова узгодженості коефіцієнтів розповсюдження хвилі

$\gamma_i = \sqrt{(r_i + jx_i)(g_i + jb_i)} = idem$. Виходячи з останнього забезпечити однорідність електромереж з довгими ЛЕП є практично неможливо, а для забезпечення режимів їх роботи, близьких до економічних необхідне оптимальне керування трансформаторами зв'язку з поздовжньо-поперечним регулюванням.

Для випадку ЕС з єдиним базисним вузлом $\mathbf{E}_{\text{нб},\gamma}^* = 0$, а е.р.с. небалансу визначаються лише незбалансованими коефіцієнтами трансформації. Оптимальне коригування зазначених параметрів РП забезпечує виконання умови економічності струморозподілу в ЕС і, відповідно, перетоків потужності та взаємовпливу електромереж різних класів напруги ($\mathbf{E}_{\text{зр}}^* \rightarrow 0$).

Якщо ставиться задача оптимізації потокорозподілу ЕС з кількома балансувальними джерелами електроенергії, то до е.р.с. небалансу додається складова, що визначається перетіканням потужності між джерелами $\mathbf{E}_{\text{нб},\gamma}^* \mathbf{E}_0$. Отже, компенсувати зрівнювальні е.р.с. у такому випадку можна, крім зазначеного вище, регулюванням напруги в центрах живлення (змінюючи генерування реактивної та активної потужності в ЕС).

Умова забезпечення економічного струморозподілу $\mathbf{E}_{\text{зр}}^* = 0$, виходячи з (8) може бути подана так:

$$\mathbf{E}_{\text{нб},k}^{\text{opt}} = j \left(\mathbf{E}_{\text{нб},\gamma}^* \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_{\text{ф},\text{зр}}^* \right), \quad (9)$$

де $\mathbf{E}_{\text{нб},k}^{\text{opt}} = \mathbf{E}_{\text{нб},k}^{\text{opt}} \mathbf{E}_0$ – вектор оптимальних контурних е.р.с. небалансу, які за фізичною природою можуть бути реалізовані зміною параметрів РП. Оптимальне значення коефіцієнта трансформації регулювального трансформатора $\mathbf{K}_0^{\text{opt}}$ для j -го базисного контуру, що починається з i -го базисного вузла, виходячи з (3), враховуючи вплив коефіцієнтів розповсюдження хвилі довгих ЛЕП [6], може бути розраховане за виразом:

$$\mathbf{K}_0^{\text{opt}} = \left(1 - \mathbf{L}_{\text{нб},k,j}^{\text{opt}} \right) / \left(\prod_{s \in \text{TP}_j; s \neq 0} \mathbf{K}_s \cdot \prod_{s \in \text{DL}_j} \mathbf{A}_s \right), \quad (10)$$

де \mathbf{A}_s – постійна чотириполюсника для s -ї ЛЕП [6], що входить до множини довгих ліній j -го контуру DL_j .

Отже, використовуючи вирази (9), (10) можна визначити оптимальні коефіцієнти трансформації регулювальних трансформаторів з урахуванням зміни навантаження споживачів, планового генерування джерел електроенергії, а також наслідків первинного регулювання напруги. На відміну від (1), у (9), (10) враховується також вплив особливостей процесу транспортування електроенергії довгими ЛЕП, що підвищує адекватність рішень з оптимального керування нормальними режимами ЕС.

Особливості реалізації системи автоматичного керування потоками потужності в ЕС з децентралізацією функцій реального часу

Для реалізації системи автоматизованого керування потоками потужності й напругою в електричних системах, яка б забезпечувала можливості оперативного керування відповідно до (9), (10), доцільно використовувати класичну двоконтурну схему [3, 4] з децентралізацією функцій реального часу. На першому етапі (у контурі централізованого керування) визначаються причини неоптимального функціонування ЕС та перелік доступних регулювальних пристроїв. Для цього виконується ретроспективний аналіз результатів керування режимами на підставі короткострокового планування, а також оцінюються показники неоднорідності ЕС. Далі, використовуючи повну інформацію про параметри ЕС, визначаються та коригуються матриці умовно постійних параметрів, що входять до (9). З використанням розроблених [3, 4, 7] математичних моделей здійснюється адаптація законів керування до реальних умов функціонування регулювальних пристроїв, виконується ранжування регулювальних пристроїв за пріоритетом керування з врахуванням надійності та ресурсу пристроїв РПН. Визначаються зони нечутливості локальних систем керування регулювальними пристроями, що дозволяє встановити раціональну інтенсивність перемикачів для кожного трансформатора і скоординувати їх роботу під час оперативного керування таким чином, щоб зниження втрат потужності досягалося за мінімальної кількості перемикачів.

На другому етапі (у контурі локального керування) отримані математичні моделі (9) використовуються для визначення розрахункового значення керувальних впливів (10) і прийняття рішення щодо доцільності їх реалізації. Керування в темпі процесу здійснюється тільки в контурі оперативного керування. В зовнішньому контурі, за необхідності, може здійснюватися коригування пасивних параметрів ЕС для (10). Однак, така зміна частіше здійснюється на стадії короткострокового планування режимів, після значних змін навантажень, або за істотних відхилень параметрів регулювальних пристроїв від планових [7].

Подібна схема реалізації системи керування дозволяє забезпечити децентралізацію частини інформаційних функцій без втрати принципів централізованого керування, оскільки протягом основного

часу (режими нормальної експлуатації ЕС) регулювання параметрів трансформаторів здійснюється на підставі локальних параметрів, забезпечуючи умовний оптимум загальносистемного критерію оптимальності [3, 7]. Відхилення пасивних параметрів ЕС або параметрів режиму централізовано контролюється й у разі необхідності коригуються окремі параметри моделей (9) та (10). Отже, по суті реалізується централізоване оперативне керування режимами ЕС за допомогою “децентралізованих” підсистем – локальних регулювальних пристроїв на окремих трансформаторних підстанціях (електричних станціях).

Автоматичне керування РП ЕС та узгодження керувальних впливів з оперативним керуванням виконується з використанням мікропроцесорного пристрою автоматичного контролю та керування функціонуванням (АККФ) РП [7]. Структурна схема пристрою АКУФ РП приведена на рис. 1. Пристрій може працювати в трьох основних режимах:

1) Отримання закону з керуючої ЕОМ і керування за ним (за наявності в достатній кількості достовірної інформації про стан електричної мережі);

2) Введення з центральної системи керування номера відпайки і встановлення її на регуляторі РПН трансформатора (за відсутності належного інформаційного забезпечення, або за дистанційного керування диспетчером енергосистеми);

3) Автономна робота пристрою в режимі стабілізації вторинної напруги трансформатора, або автотрансформатора на заданому рівні з урахуванням введеної зони нечутливості, або автономна реалізація зустрічного регулювання напруги.

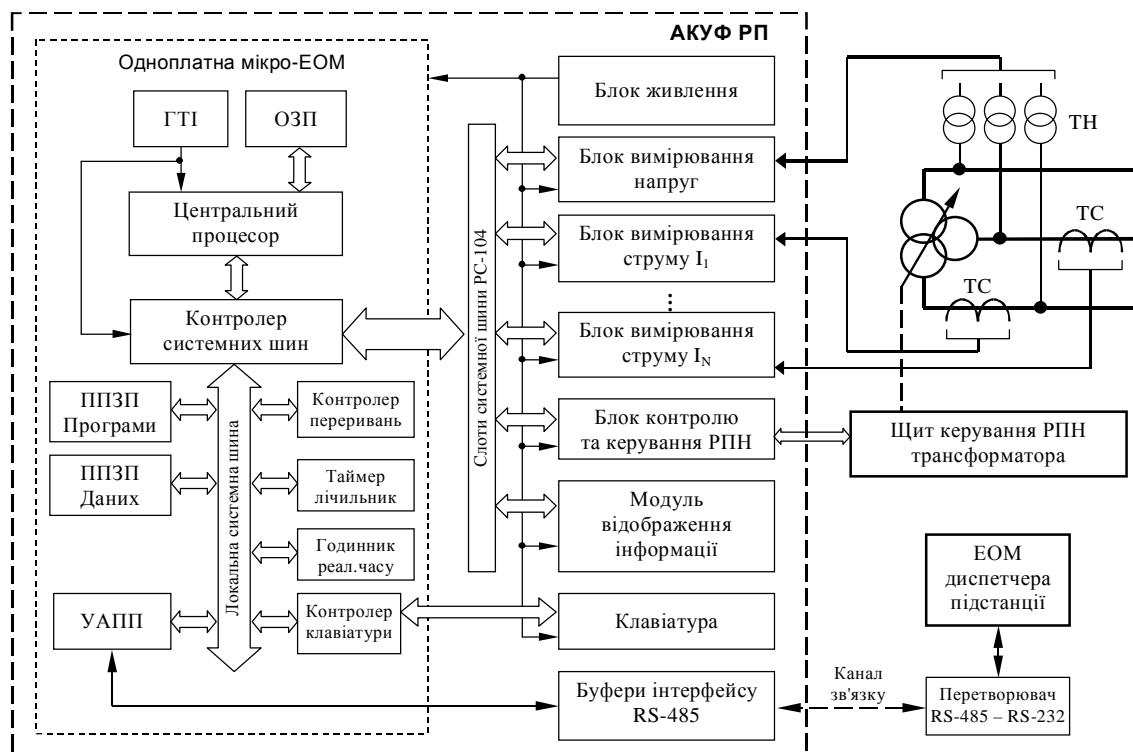


Рис. 1. Структурна схема пристрою АКУФ РП та підключення його до кіл вимірювання та керування

Для переведення АКУФ РП зі стану очікування в активний стан, засобами АСУ підстанції через блок зв'язку передається код операції. Після цього пристрій перевіряє параметри РПН для ідентифікації крайніх положень – отримана інформація записується до оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП). В залежності від коду операції пристрій переводиться у відповідний режим роботи.

За необхідності встановити певну відпайку регулятора РПН спочатку через блок зв'язку здійснюється введення її номеру від керуючої ЕОМ. У разі неспівпадіння номера нової відпайки з номером встановленої, визначається знак керувального сигналу (напрямок перемикання РПН). Далі керувальні імпульси надходять до регістрів блоку контролю та керування РПН; відповідні реле замикаються і починається перемикання. Пристрій переходить в режим очікування закінчення перемикання, контролюючи відповідні канали блоку контролю та керування РПН. Після закінчення перемикання керувальні імпульси знімаються, вимірюються параметри об'єкту керування, перевіряється відповідність їх заданим обмеженням і знову порівнюються номери відпайок. Процес повторюється, доки на регуляторі РПН не встановиться необхідна відпайка. Будь які порушення обмежень на параметри (струми, напруги), порушення у роботі пристрою, або регулювального пристрою у вигляді повідомлень надсилаються до керувальної ЕОМ.

Оперативне керування режимами ЕС виконується за допомогою комплексу програм “АЧП” [3, 4] і пристрою АККФ РП. З метою адаптації законів керування і врахування технічних обмежень щодо регульованого трансформатора за рівнями напруг та коефіцієнтами трансформації, вектор спостереження

уточнюється шляхом вимірювання параметрів режиму (струмів та напруг) безпосередньо на регульованому трансформаторі. Такий підхід дозволяє підвищити стійкість керування до зміни зовнішніх факторів і реалізувати його автоматичним чи автоматизованим способом в рамках існуючої АСДУ [7].

Отже, у разі автоматичного керування за законом (9), спочатку виконується перевірка щодо необхідності уточнення пасивних параметрів ЕС. Якщо зміни зафіксовано, то здійснюється їх поновлення від центральної ЕОМ. Далі програмою-драйвером генерується запит для АКУФ РП на вимірювання місцевих параметрів електричної мережі, які слугують для уточнення даних, що отримані з бази даних оперативно-інформаційного комплексу ЕС. Використовуючи вказану інформацію, відповідно до закону керування (9), визначаються оптимальні значення коефіцієнту трансформації (10) та номер відпайки РП, яку необхідно встановити.

На кожному кроці роботи пристрою основні параметри записуються до енергонезалежного запам'ятовуючого пристрою (ППЗП), що дає змогу, після тимчасового припинення живлення, продовжити операцію, яка не закінчилась, відновити параметричні обмеження, номер встановленої відпайки, відновити значення уставки за напругою, витримки часу і т.д.

Застосування АКУФ РП, дозволяє ввести в систему керування нормальними режимами ЕС зворотній зв'язок, контролювати виконання керувальних впливів і оцінювати ефективність керування як окремими трансформаторами, так і енергосистемою в цілому. Останнє дає можливість автоматизувати ряд функцій оперативного керування і підвищити ефективність використання РП трансформаторів в задачах зменшення втрат активної потужності в електричній системі.

Висновки

Електричні системи як штучні системи не є оптимальними з огляду на витрати електроенергії під час її виробництва, транспортування і розподілу. Вдосконалення систем виконується в процесі їх розвитку та реконструкції, а також під час експлуатації – шляхом оптимального керування. Оскільки на сьогодні немає єдиної стратегії щодо формування та координації оптимальних рішень за загальносистемним критерієм, то технологічні процеси в ЕС супроводжуються втратами електроенергії, які є більшими за технічно можливі і економічно доцільні.

Задачі компенсації негативного впливу неоднорідності електромереж з трансформаторними зв'язками та довгими лініями електропередачі повинні розв'язуватися з урахуванням особливостей їх впливу на процес транспортування та розподілу електроенергії. Виходячи з цього було запропоновано математичну модель оптимальних е.р.с. небалансу, а також метод визначення оптимальних коефіцієнтів трансформації РП з урахуванням хвильових властивостей довгих ЛЕП, а також впливу незбалансованих коефіцієнтів трансформації трансформаторів зв'язку та регулювання напруг у центрах живлення ЕС. Таке вдосконалення дозволяє приймати більш ефективні рішення в задачах оптимального керування потоками потужності та напругою в ЕС.

Розроблений пристрій АКУФ РП дозволяє «замкнути» автоматизовану систему оптимального керування нормальними режимами ЕС та забезпечує можливість децентралізації окремих задач оперативного керування, зокрема задач реального часу таких, як адаптація параметрів спостереження, контроль виконання керувальних впливів, оцінювання доцільності керування окремими трансформаторами тощо. Останнє дає можливість підвищити надійність та стійкість самого процесу автоматичного керування, а отже ефективність використання регульовальних пристроїв в ЕС.

Література

1. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник та ін. – К. : Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.
2. Холмский В. Г. Оптимизация потокораспределения в замкнутых электрических сетях с высокой степенью неоднородности / В. Г. Холмский // Электричество. – 1965. – № 9. – С. 16–21.
3. Лежнюк П. Д. Моделирование компенсации влияния неоднородности электрических сетей на экономичность их режимов / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, Д. І. Оболонський // Электричество. – 2007. – № 11. – С. 2–8.
4. Лежнюк П. Д. Оцінка взаємовпливу електричних мереж енергосистем з трансформаторними зв'язками / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін // Технічна електродинаміка / Тематичний випуск: Проблеми сучасної електротехніки, ч. 7. – 2006. – С. 27–30.
5. Веников В.А. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока / В.А. Веников, Ю.П. Рыжов. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 272 с.
6. Кулик В.В. Комбіновані моделі нормальних режимів електричних систем з урахуванням особливостей довгих ліній електропередачі [Електронний ресурс] / В.В. Кулик, С.Я. Вишневецький // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – №1. – С. 1–7. Електронний ресурс. Режим доступу : http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2012_1/2012-1.files/uk/12vkvkltl_ua.pdf
7. Лежнюк П. Д. Реалізація контролю і керування функціонуванням трансформаторів в електроенергетичних системах / П. Д. Лежнюк, К. І. Кравцов // Вісник Вінницького політехнічного

References

1. Stogniy B.S., O.V. Kirilenko, A.V., Prakhovnik, S.P. Denysyuk *Osnovni parametry energozabezpechennja nacionalnoy ekonomiky na period do 2020 roku*. Kyiv The Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, 2011. - 275 p.
2. Holmskyi V.G. Optimizacija potokoraspredelenyia v zamknytyh elektrycheskyh setyah s vysokoj stepenyu neodnorodnosti, *Elektrychestvo*, 1965, No.9, pp. 16-21.
3. Lezhnyuk. P.D., Kulik V.V., Obolonskyj D.I. Modelirovanie kompensatsyy vlyjaniia neodnorodnosti elektricheskikh setey na ekonomychnost' ih rezhimov, *Elektrychestvo*, 2007, No11, pp. 2-8.
4. Lezhnyuk. P.D., Kulik V.V., Burykin O.B. Otcinka vzajemovplyvu elektrychnykh mrezh enegosystem z transformatornymy zv'jazkamy, *Technical Electrodynamics / Thematic Issue: Problems of modern electrical engineering*, Vol. 7, 2006, pp. 27-30.
5. Venykov V.A., Ryzhov Yu. P. Dalnye elektropredachy peremennogo i postojannogo toka. Moscow: Energoatomizdat, 1985, 272 p.
6. Kulik V.V., Vyshnevskiy S.Ya. Kombinovani modeli normalnykh rezhymiv elektrychnykh system z urahyvanniam osoblyvostej dovygh linij elektropredachi, scientific work of the VNTU, 2012, No1, pp. 1-7. Electronic resources. Access: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2012_1/2012-1.files/uk/12vvkldt_ua.pdf
7. Lezhniuk P.D., Kravtsov K.I. Realizatsija kontrolyu i keryvannia funkcionuvanniam transformatoriv v elektroenerhetychnykh systemah *Bulletin of Vinnitsa Polytechnic Institute*, 2010, No 6, pp. 84 - 86.

Рецензія/Peer review : 6.7.2013 р. Надрукована/Printed :29.9.2013 р.
Рецензент: професор кафедри ЕЕС Вінницького національного технічного університету, д.т.н.,
професор Василь Михайлович Кутін