

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ В СКЛАДНІЙ ЄРАРХІЧНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

*Усата Т.В., Гаццишин В.А., магістранти, Банін Д.Б., к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем*

Вступ. Електроенергетика України і її об'єднана електроенергетична система ОЕС має складну ієрархічну систему управління. Тут виділяються системоутворюючі магістральні і основні мережі енергосистеми (ЕС) 750/330/220/110 кВ, розподільчі структури 110/35/10 кВ електропередавальних організацій (ЕО), живлячі мережі 10 кВ районів (РЕМ) ЕО і технологічні мережі споживачів (СП). Проблеми надійності електропостачання, задачі якості електроенергії, що передається, питання економічності електричних режимів та інші вирішуються на кожному рівні цієї складної системи і потребують розробки і використання автономних розрахункових режимних схем, орієнтованих для діючих структур технологічного і диспетчерського управління відповідного рівня (НЕК, ЕС, ЕО, РЕМ, СП) [1].

Мета роботи. Необхідно забезпечити коректність результатів, отриманих при використанні автономних розрахункових схем, що істотно залежить від ступеню інформаційного (еквівалентного) врахування взаємного впливу суміжних мережевих структур.

Постановка задачі. Будемо використовувати методи парного (дуального) еквівалентування, коли повна схема ділиться на дві частини – еквівалентну (для стислості позначимо її символом “V”) і, власне, технологічно-автономну, де досліджуються відповідні режимні характеристики (схема “W”). Типовим прикладом такої пари являється мережева структура ЕС (“V”) – ЕО (“W”), в якій аналізується режим електропередавальної організації з врахуванням еквівалентного впливу ЕС. Відзначимо, що цей вплив реалізується через вектори напруг балансуєючих вузлів схеми “W” ($U_b^{(W)}$), тобто механізм еквіваленту повинен забезпечити реалізацію функціональної залежності

$$\dot{U}_b^{(W)} = F(\dot{S}_b^{(W)}), \quad (1)$$

де $\dot{S}_b^{(W)}$ – балансні потоки потужності при коригуванні навантажень, при установці компенсуючих пристроїв (КП), зміні конфігурації мережі та інше в схемі “W”.

В якості формального апарату можна задіяти розрахунковий метод вузлових еквівалентів POINT EKV [2].

Розширений математичний апарат POINT EKV для задач дуального еквівалентування базується на рівнянні стану мережі по методу Z-режим [3]

$$[\dot{U}] = [\dot{U}_0] + [Z][\dot{I}]. \quad (2)$$

Якщо для схеми “V” прийняти значення індексів вузлів: v – індекси всіх вузлів еквівалентного перетину, тобто одночасно балансуєючих в схемі “W”; w – індекс конкретного вузла зі складу v; s – індекси всіх інших вузлів навантаження, то математичний еквівалент для, наприклад, розрахунку напруг реалізується по моделі, що показана на рис. 1.

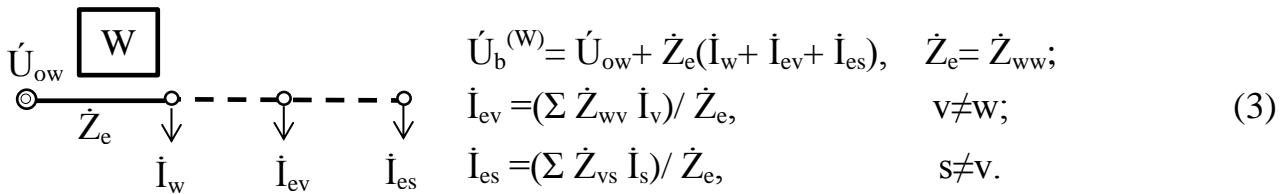


Рисунок 1 – Узагальнений вузловий еквівалент типу POINT EKV

Тут маємо просту схему з еквівалентним опором (\dot{Z}_e), навантажену балансним струмом (\dot{I}_w) і еквівалентними струмами $\dot{I}_{es} = \text{const}$ та $\dot{I}_{ev} = \text{var}$, що розраховуються по наведеним формулам (3).

Оцінку ефективності методів дуального еквівалентування будемо виконувати по похибках трьох основних режимних характеристик: U_w – модуль напруг вузлів схеми “W”; dP_{vw} – сумарні втрати активної потужності в обох схемах “V” і “W”; D_w – економічний еквівалент реактивної потужності (ЕЕРП), що розраховується як похідна від сумарних втрат по реактивній потужності конкретного вузла $D_w = \partial dP_{vw} / \partial Q_w$. Відповідні похибки ϵ_u , ϵ_d , ϵ_p розраховуються по формулам

$$\begin{aligned} \epsilon_u &= (U_{vw} - U_w) / U_{vw} * 100\%; & \epsilon_d &= (D_{vw} - D_w) / D_{vw} * 100\%; \\ \epsilon_p &= (dP_{vw} - dP_{vw}^{(w)}) / dP_{vw} * 100\%, \end{aligned} \quad (4)$$

де U_{vw} , D_{vw} , dP_{vw} – контрольні (точні) значення характеристик в повній схемі;

U_w , D_w , $dP_{vw}^{(w)}$ – ці ж характеристики, але визначені тільки по схемі “W”.

Матеріали і результати досліджень. Для оцінки похибок методів еквівалентування виберемо розрахункову схему DUAL1, що показана на рис. 2.

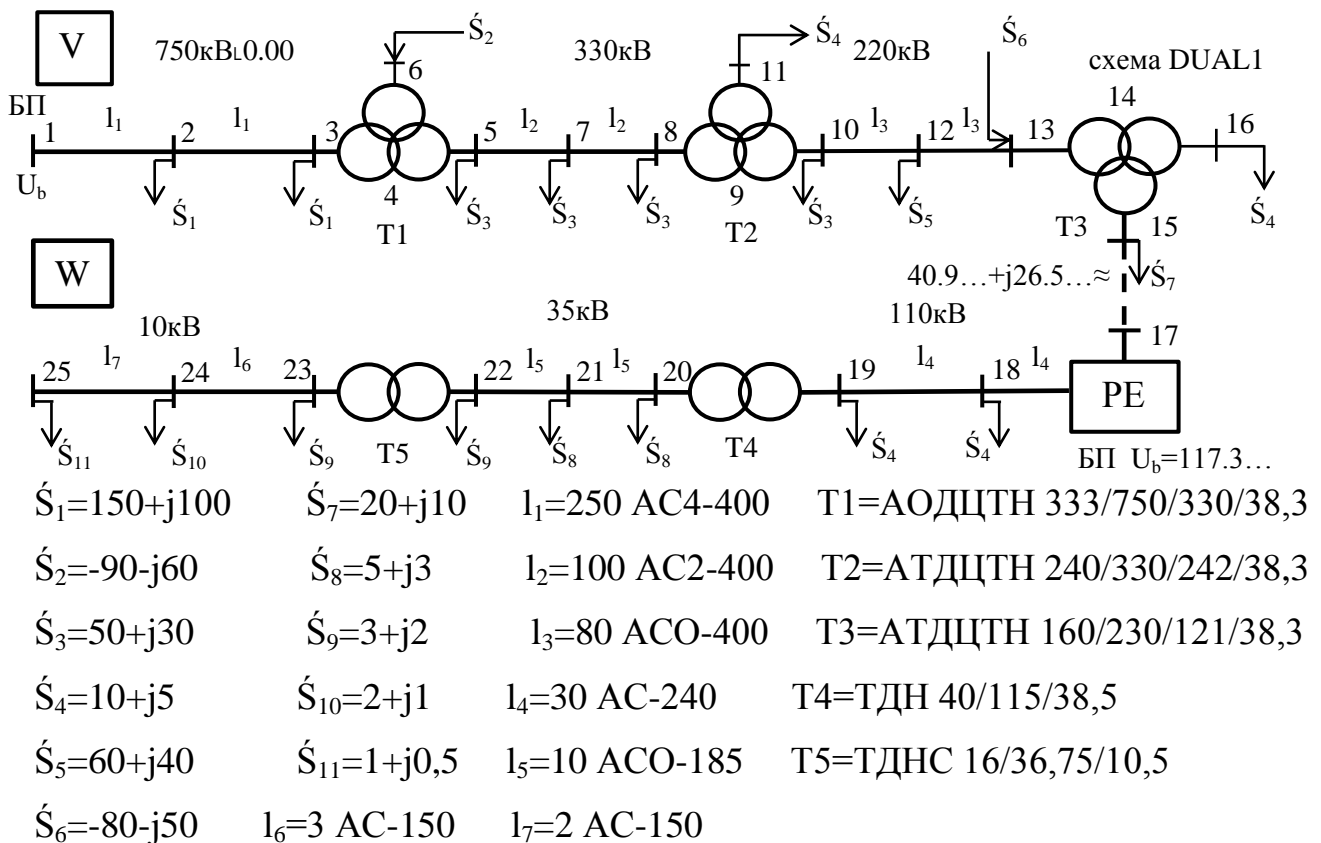


Рисунок 2 – Контрольна схема дуального еквівалентування

Тут задіяна мережева траса з напругою 750/330/220/110/35/10 кВ, характерна для рівнів напруг магістральних і основних мереж енергосистем та розподільчих мереж електропередавальних організацій України, приведені параметри ліній і трансформаторів, а також задані навантаження по замірам режимного дня. Ставимо задачу виділити еквівалент мережі ЕО для автономного рішення трьох задач: аналізу режиму напруги, оптимізації втрат активної потужності і оцінки ЕЕРП. Еквівалентний переріз реалізуємо по лінії 110 кВ 15-17. Таким чином схема ЕС – DUAL1v включає вузли 1,2,...17 з фізичним балансуєчим вузлом 1 ($U_b=750$ кВ) і заміряним перетоком по лінії 15-17 орієнтовно $40.9+j26.5$ МВА. Забір напруги на межі з ЕО по лінії 15-17 приблизно рівний 117.3 кВ. Схема ЕС – DUAL1w має вузли 17,18...25 з розрахунковим балансуєчим вузлом 17 ($U_b \approx 117.3$ кВ). Розрахунок і балансування базового режиму визначили характеристики перетину: $P_v=40.903...$, $Q_v=26.497...$, $U_w=117.252...$, $\Theta_w=-19.33..$. При цьому втрати склали $\Delta P_v=17.881$, $\Delta P_w=1.904$, а ЕЕРП у вузлі зв'язку $D_v=0.0301$.

Розглянемо для порівняння два методи еквівалентної схеми ЕО – DUAL1w з постійним $U_b=const$ і змінним $U_b=var$, які обчислюються по вузловій моделі Point EKV. Зміна навантаження у вузлах мережі ЕО реалізуємо в межах $\pm 50\%$. Результати дослідження похибок напруг (ϵ_u), сумарних втрат (ϵ_p) та значень ЕЕРП (ϵ_d) приведено в таблиці 1 для напруги 10 кВ (вузол 25), 35 кВ (22) і 110 кВ (19), тобто маємо з базовим режимом 9 варіантів з суттєвим розкидом навантажень

10кВ: $(0.5+j0.25) \rightarrow 1+j0.5 \rightarrow (1.5+j0.75)$
35кВ: $(1.5+j1.00) \rightarrow 3+j2.0 \rightarrow (4.5+j3.00)$
110кВ: $(5+j2.5) \rightarrow 10+j5.0 \rightarrow (15+j7.5)$

Таблиця 1 – Результати дослідів

U вузл.	Var	U	ΔP	ЕЕРП	Метод $U_b=const$						Метод $U_b=var$ (PointEKV)					
					U	$\epsilon_u\%$	ΔP	$\epsilon_p\%$	ЕЕРП	ϵ_d	U	$\epsilon_u\%$	ΔP	$\epsilon_p\%$	ЕЕРП	ϵ_d
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10кВ (25)	0	9,75	19,78	0,279	9,75	0,00	19,78	0,00	0,190	31,94	9,75	0,00	19,78	0,00	0,269	3,62
	-	10,07	19,55	0,232	9,98	0,95	19,64	0,47	0,168	27,88	10,06	0,02	19,55	0,02	0,225	3,40
	+	9,39	20,06	0,344	9,51	1,28	19,94	0,58	0,217	36,88	9,417	0,03	20,05	0,03	0,329	4,38
35кВ (22)	0	34,53	19,78	0,216	34,53	0,00	19,78	0,00	0,142	34,21	34,53	0,00	19,78	0,00	0,207	4,17
	-	36,14	19,24	0,157	35,37	2,13	19,48	1,23	0,121	22,87	35,99	0,41	19,25	0,05	0,153	2,99
	+	32,57	20,49	0,322	33,63	3,25	20,14	1,75	0,168	47,76	32,80	0,72	20,47	0,12	0,297	7,86
110 кВ (19)	0	109,89	19,78	0,116	109,89	0,00	19,78	0,00	0,068	41,81	109,89	0,00	19,78	0,00	0,110	5,34
	-	114,47	18,94	0,078	110,91	3,11	19,47	2,79	0,062	20,41	113,72	0,66	18,96	0,07	0,074	4,49
	+	104,18	20,95	0,191	108,83	4,47	20,15	3,85	0,074	61,41	105,36	1,13	20,88	0,32	0,163	14,73

В колонках 1,2 визначені вузол, де варіюється навантаження, його напруга і розрахунковий варіант (0 – базовий режим, «-» - навантаження -50%,

«+» - навантаження +50%). В колонках 3,4,5 представлено контрольне значення напруги, сумарні втрати і ЕЕРП заданого вузла. Потім в групах (6-11) і (12-17) приводяться розрахункові характеристики U , ΔP , ЕЕРП, а також відповідні ним похибки ϵ_u , ϵ_p , ϵ_d для двох методичних варіантів еквівалентування, які розраховуються тільки по еквівалентній схемі DUAL1w.

Висновки:

1. Для базового режиму в обох методах похибки по напругам і втратам рівні нулю ϵ_u , $\epsilon_p=0$, але помилка в розрахунку ЕЕРП має місце, яка в методі $U_b=\text{const}$ приймає недопустиме значення $\approx 30\%, 60\%$.

2. Метод 1 може використовуватись для оцінки режиму напруги ($\epsilon_u < 5\%$). В задачах оптимізації по критерію мінімуму втрат активної потужності метод може бути некоректним через похибку $\epsilon_p=4\%$, яка співмірна з розрахунковою економією втрат при їх мінімізації.

3. Метод 2, де коригується напруга U_b по технології POINT EKV і похибки $\epsilon_u < 1\%$, $\epsilon_p < 0.3\%$, $\epsilon_d < 15\%$, можна рекомендувати для використання у всіх трьох поставлених задачах. Однак застосування ЕЕРП для комерційних розрахунків потребує додаткових обґрунтувань.

4. Розвиток методу PE потребує спеціальних алгоритмічних рішень по більш точному розрахунку U_b в схемах типу "W" і врахуванню взаємного впливу напруг на еквівалентні струми (потужності) в технології вузлового еквівалентування.

Перелік посилань

1. Крон Г. Исследование сложных систем по частям. ДИАКОПТИКА/ перевод с англ. Банах Л.Я., Власова А.В., Павлова И.А. – Издательство "Наука", Москва – 1972 г.

2. Енергетика: економіка, технології, екологія. Науковий журнал №2-2007, ISSN 1813-5420, УДК 621.311, Банін Д.Б., Банін М.Д., Хоменко О.В. Автоматизація розрахунків режимних параметрів і характеристик еквівалентів складних електричних мереж.

3. Банін Д.Б., Банін М.Д., Гнатовський А.В. Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач. Моделі, методи, алгоритми і програми для промислових комп'ютерних комплексів. Навчальний посібник – К.: НТУУ "КПІ". Вид-во "Політехніка" 2016. – 104 с.