

КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗРИВІВ В ТРАНЗИТАХ 110 (35) кВ ТА СЕКЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПС З АВТОМАТИКОЮ АВР

Савюк К.С., Романенко О.О., магістранти, Банін Д.Б., к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Електричні мережі 110/35/10 (6) кВ операторів систем з розподілу електроенергії ОСР мають ряд джерел живлення по системним підстанціям енергосистем (операторів систем з передачі ОСП), які в розрахункових схемах ОСР виконують роль балансуєчих вузлів (БП). Ці вузли мають різні модулі напруг і різний кут по відношенню до <початку режимних координат>. Мережеві зв'язки між БП називають транзитами 110 (або 35) кВ. Через різне значення Ub в транзитах, як правило, мають місце зрівнювальні контурні перетоки, які приводять до завищених втратам активної потужності. В ситуаціях коли не виникають принципіальних заперечень по вимогам надійності, транзити розмикають, усуваючи зрівнювальні перетоки і знижуючи технологічні втрати. Ряд транзитів 110 кВ з самого початку згідно вимогам диспетчерського керування, підтримуються в розімкнутому стані за допомогою ШЗВ підстанції, де задіяна автоматика АВР. Але на цих ПС, регулюючи фідерне навантаження на низькій напрузі, можна також досягти додаткових знижень втрат активної потужності.

Мета роботи. Ціллю даної роботи являється розробка методу та алгоритму комплексної оптимізації місць розривів на транзитах 110 (35) кВ і оптимального розподілу секційного навантаження на шинах ПС із АВР. Задача має бути реалізована комп'ютерними засобами для різних моделей об'єктів оптимізації. Результуюча програма має бути включена до складу програмних комплексів розрахунку, аналізу та оптимізації режимів (РАОТВ, Z_REGIM).

Матеріали та результати досліджень. Постановка задач ілюструється на рис. 1. Тут представлений транзитний контур 110 (35) кВ, для якого необхідно знайти місце лінійного розриву або розриву на ШЗВ, а також перерозподілити навантаження (SkI , $SkII$) ПС із АВР, забезпечуючи загальний максимум зниження втрат $\Delta P [MBm]$. Відмітимо, ця оптимізація секційного навантаження при замкнутому ШЗВ на ВН, вирішує часткову задачу тільки щодо завантаження трансформаторів ПС.

Для оптимізації розривів в транзитах 110 (35) кВ може бути задіяна методика дискретного спуску комплексу РАОТВ, а для перерозподілу секційного навантаження пропонується дві математичні моделі, представлені на рис. 2. В першому випадку <пофідерна дискретна модель> рішення реалізується шляхом розширення розрахункової схеми за рахунок введення фідерних вузлів ($\Phi 1$, $\Phi 2$, $\Phi 3$...), які мають дуальних зв'язок з двома секціями шин НН. Звісно, один із цих зв'язків обов'язково відключений. Навантаження кожного фідера визначене засобами виміру або моделюється при заданому вихідному навантаженні трансформатора. На рис. 2 розглянуті стандартні формати даних для вузлів та гілок. Хоча для цієї моделі також можна використовувати дискретний спуск із обмеженням (заборона міграції розрізу та

трансформаторний зв'язок), але об'єм розрахункової схеми, як по вузлам, так і по гілкам, суттєво зростає.

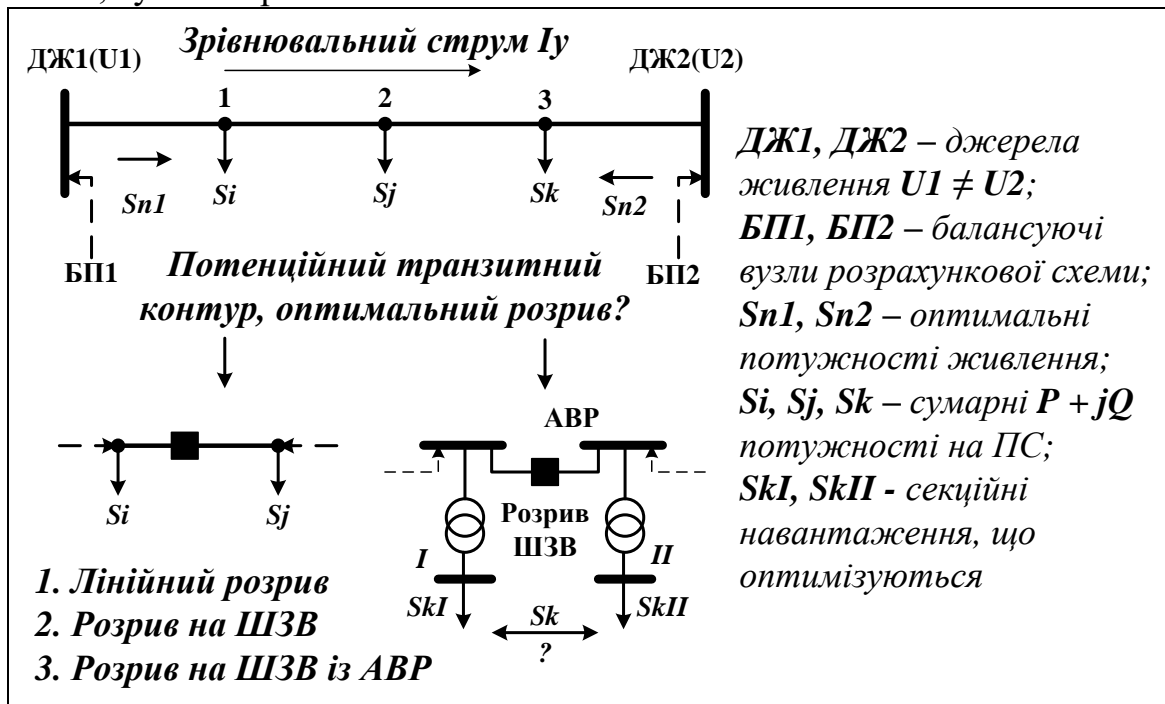


Рисунок 1 – Постановка комплексної задачі оптимізації розривів і секційних навантажень ПС в транзитах 110 (35) кВ

Дуже багато гілок отримає $Z_0 = 0$. На рис. 2 комутація фідерів відмічена символом $\langle K \rangle$. Додаткова інформаційна структура для вузлів та гілок відмічена цифрою $\langle 2 \rangle$.

Друга модель <алгоритмічна пропорційна модель> не потребує розширення розрахункових схем, але для кожної пари вузлів, між якими перерозподіляється сумарна потужність ($S_k = S_{kI} + S_{kII}$), необхідно додати два параметри (S_k) і граничну кількість місць стану регулятора (N_{max}). Тоді крок спуску на кожній точці буде рівним ($d = S_k/N_{max}$), а значення секційних поточних навантажень:

$$S_k = N \cdot d; \quad S_{kII} = S_k - S_{kI}, \text{ де } N = 0, 1, 2, 3 \dots N_{max}.$$

Ідентифікація пари вузлів, між якими перерозподіляється потужність, в вихідному стані задається в параметрі **REG** (вони однакові для кожного вузла пари), наприклад,

Нвузла	Рн	Qн	Nmax	REG
202	5	2	20	2
203	13	7	20	2

Пара вузлів 202 та 203

$$N_{max} = 20; \quad S_k = 18 + j9;$$

$$d = (18 + j9)/20 = 0.90 + j0.45;$$

$$\text{Якщо } N = 6, S_{kI} = 6 \cdot (0.90 + j0.45) = 5.4 + j2.7$$

$$S_{kII} = (18 + j9) - (5.4 + j2.7) = 12.6 + j6.9$$

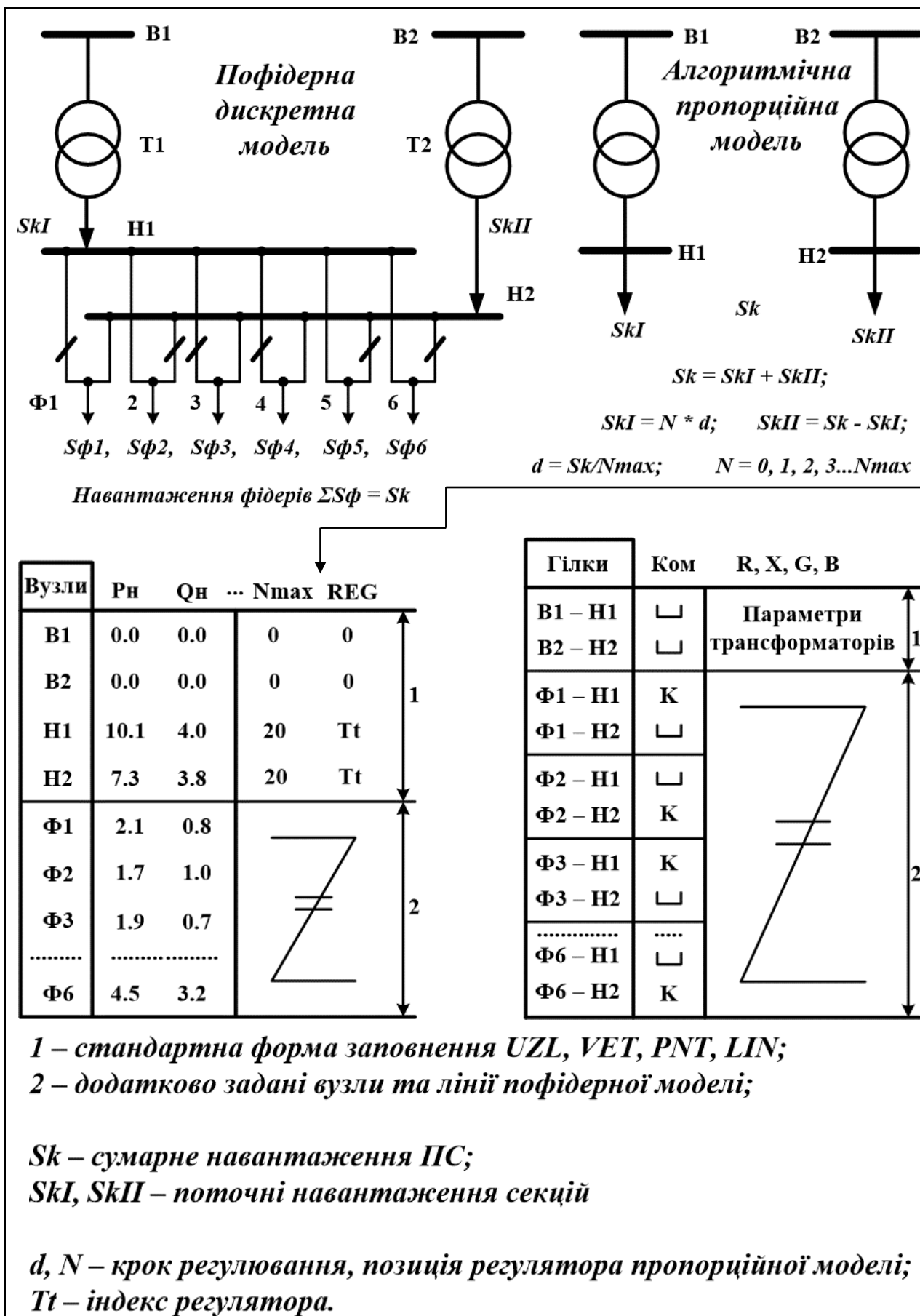


Рисунок 2 – Пофідерна (дискретна) та алгоритмічна (пропорційна) моделі регулювання навантаження на секції ПС

Контрольна розрахункова схема представлена на рис. 3. Схема *OPT_R* має чотири транзитних контури, із яких два мають лінійні розриви (15-6 та 4-3) і можуть <мігрувати> по трасам зв'язку з БП, а також два контури із фіксованими розривами (200-201 та 300-301) через наявність АВР. На низькій стороні цих ПС задані вихідні навантаження (вузли 202, 203, 301, 302). Задані параметри і навантаження схеми *OPT_R*.

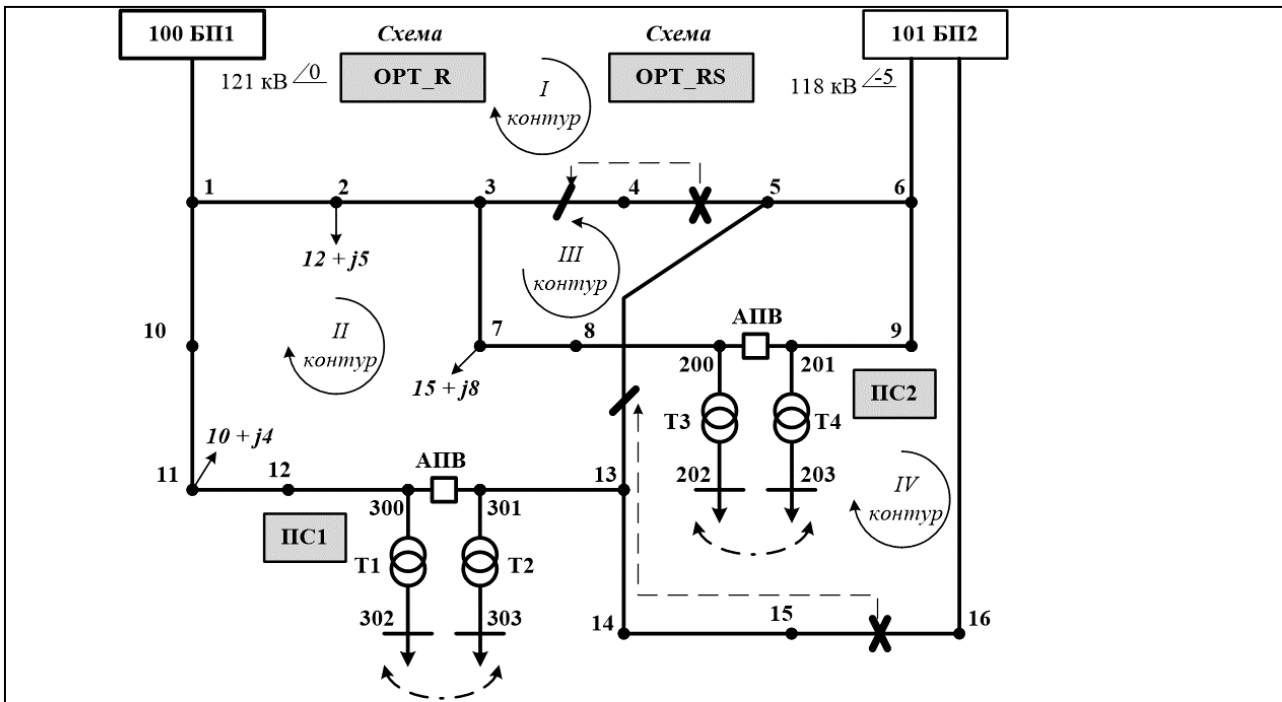
Для реалізації поставленої задачі згідно двох моделей комплексної оптимізації виконане наступне:

1. Реалізований оптимізаційний розрахунок лінійних розривів в мережі 110 кВ. Тут вихідний розрив 15-16 переміщається в позицію 13-5, а розрив 4-5 зсувається на гілку 3-4. Втрати вихідного режиму $\Delta P = 9.98 \text{ MBm}$ зменшились до $\Delta P = 8.04 \text{ MBm}$, тобто маємо **19.4%** зниження втрат. Оптимізація виконувалась за допомогою РАОТВ. На рис. 3 приведений програмний документ. Результати розрахунку підтверджуються графіком збіжності ітераційного процесу зі зворотною матрицею провідностей *Y_Z*.

2. Вихідна розрахункова схема (рис. 3) розширена на 20 вузлів-фідерів ПС1 і стільки ж для ПС2, а також на 80 гілок дуальних зв'язків цих фідерів з секціями НН для ПС1 та ПС2 (202, 203, 302, 303). Корекція схеми для оптимізації з пофідерною дискретною моделлю представлена на рис. 4. Аналогічно приведена документація спуску і графік збіжності режиму програми *Y_Z*. Відмітимо, що розширена схема з комплексним оптимумом *OPT_RS* при експорті в базу *Z_Regim* еквівалентується із видаленням гілок $Z = 0$. Втрати вихідного режиму $\Delta P = 9.98 \text{ MBm}$ зменшились до $\Delta P = 7.73 \text{ MBm}$.

3. Результат оптимізації секційного навантаження згідно алгоритмічної пропорційної моделі ідентичний. Відмітимо, що дискретний спуск розробленої програми починається з результатів оптимуму лінійних розривів. При цьому втрати вихідного режиму $\Delta P = 8.04 \text{ MBm}$ зменшились до $\Delta P = 7.73 \text{ MBm}$. Універсальний алгоритм дискретного спуску для змін чисельних параметрів об'єктів оптимізації може бути наступним:

1. **Формування** вихідного списку об'єктів оптимізації (навантаження *SkI*, *SkII*);
2. **Організація** програмного циклу по сформованому списку об'єктів;
3. **Установка** ключів дискретного спуску: $KLA = 1$, $KLB = 1$, $KLE = 1$;
4. Вибір поточного об'єкту. Розрахунок втрат ΔP_0 ;
5. Крок спуску. Якщо $KLA = 1$, то (+), якщо ні, то (-). Розрахунок втрат ΔP_i ;
6. Контроль успішності кроку: Якщо $\Delta P_0 > \Delta P_i$, то $\Delta P_i \rightarrow \Delta P_0$, $KLB = 0$, фіксація кроку, ПУ4, якщо ні, то ПУ8;
7. **Контроль** зміни стартового напрямку: якщо $KLB = 1$, то $KLA = 0$, ПУ4, якщо $KLB = 0$, то $KLE = 0$, ПУ8;
8. **Контроль** закінчення чергового циклу по списку об'єктів ПУ3;
9. **Контроль** завершення оптимізації, якщо $KLE = 1 \rightarrow \text{EXIT}$, якщо ні \rightarrow ПУ2.



$$S_{1, 2, 3, 4, 5, 6} = 12 + j5$$

$$S_{202} = 5 + j2 \quad S_{203} = 13 + j7$$

$$S_{7, 8, 9, 10} = 15 + j8$$

$$S_{302} = 15 + j7 \quad S_{303} = 4 + j3$$

$$S_{11, 12, 13, 14, 15, 16} = 10 + j4$$

I, IV – вибір оптимальних розрізів без врахування обмежень;

II, III – вибір оптимальних секційних навантажень (302, 303, 202, 203);

T1, T2: ТДН-20000/112/11 (314); T3, T4: ТДН-16000/115/11 (303);

1. Вихідний режим (замкнута схема) $\Delta P = 9.91$ МВт

2. Вихідний режим (розрізи 4-5, 15-16) $\Delta P = 9.98$ МВт

3. Оптимальні розрізи (3-4, 13-5) $\Delta P = 8.04$ МВт

↓ РАОТВ (оптимізація розрізів)

Y_Z →

Итерационный процесс:

0. $dP = 9977,2$ кВт

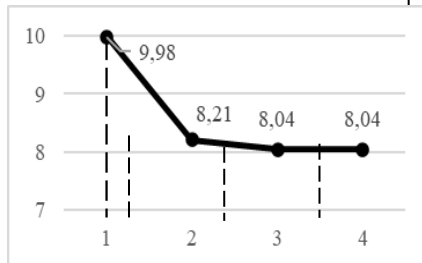
1. $dP = 8208,6$ кВт

2. $dP = 8035,0$ кВт

3. $dP = 8035,0$ кВт

Оптимизация = 1942,2 кВт

ΔP



Крок

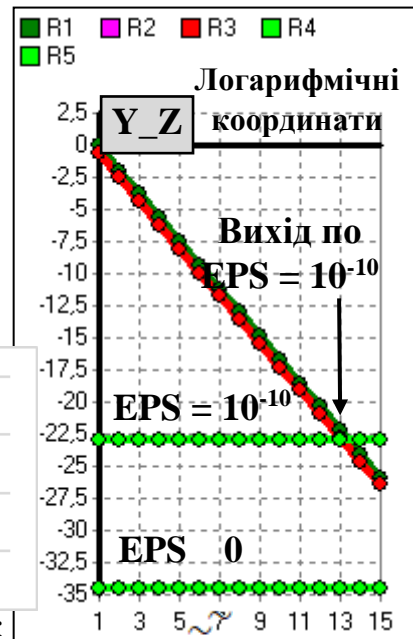
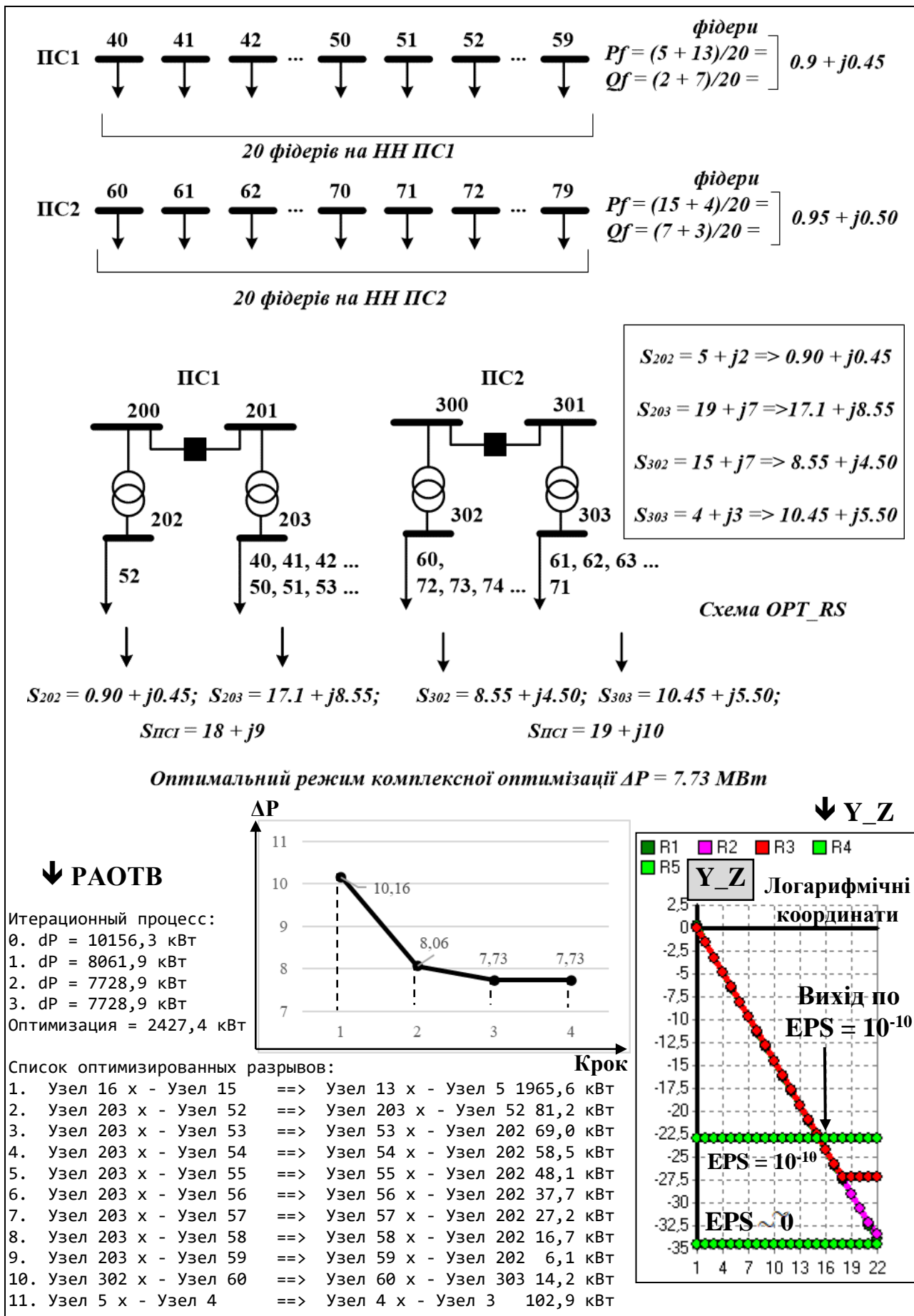


Рисунок 3 – Контрольний приклад комплексної оптимізації транзитних розривів і секційних навантажень. Дискретний спуск щодо лінійних розрізів



Повна схема розрахунків приведена на рис. 5. Ілюструється рух інформації від файлу з вихідними даними контрольного прикладу *OPT_R* до двох варіантів оптимізації цієї схеми (тільки лінійних розрізів та комплексних рішень) *OPT_RS*.

Оптимізація виконувалась в середовищі промислових комплексів *РАОТВ* та *Z_Regim*, які пов'язані апаратом експорту або імпорту розрахункових схем. Кожен файл відмічається величиною втрат активної потужності ($\Delta P = 9.98, 8.04$ та 7.73 *МВт*). Кінцевий результат по двох трактах схеми рис. 5 має однаковий результат.

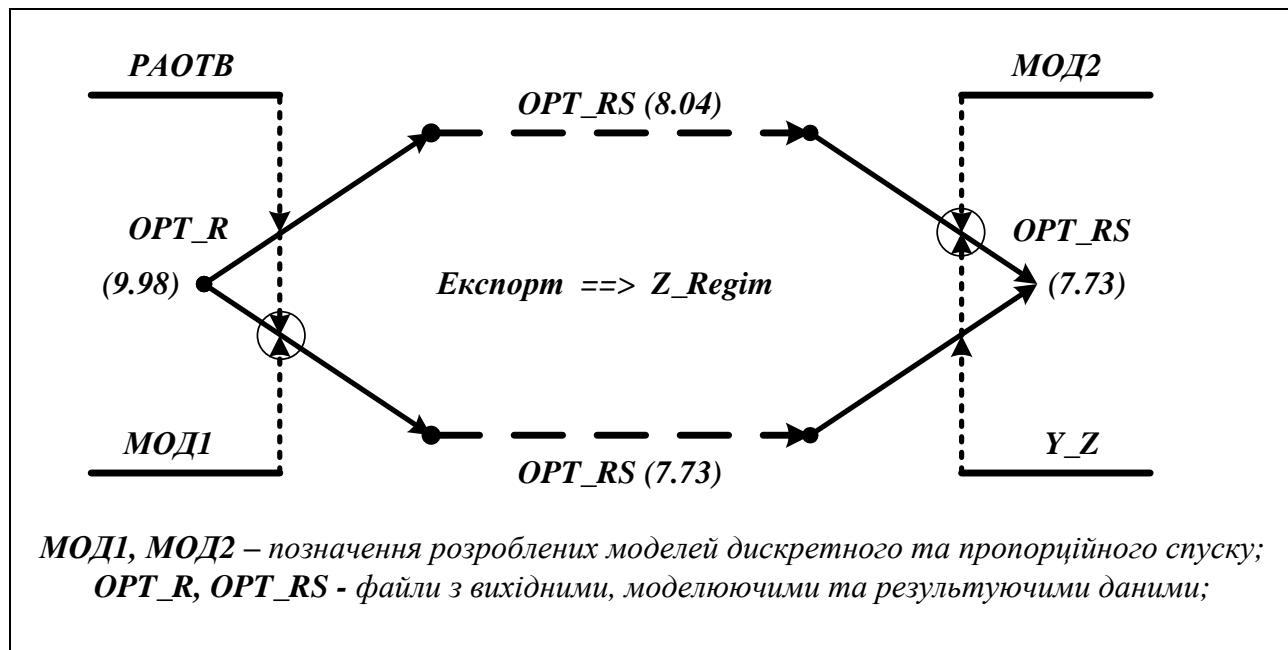


Рисунок 5 – Схема руху інформації в задачі комплексної оптимізації засобами *РАОТВ* та *Y_Z*

Висновки. Сформульована постановка задачі комплексної оптимізації транзитних розривів та секційних навантажень ПС з автоматикою АВР, розроблені дискретна та пропорційна моделі, а також алгоритми рішення задачі, виконана програмна реалізація. Наведені результати розрахунку контрольного прикладу засобами *РАОТВ* та *Y_Z*.

Перелік посилань

1. Інструкції користувача програмного комплексу "Розрахунок, аналіз і оптимізація технологічних втрат" (РАОТВ). НТУУ "КПІ", ФЕА, ГНДЛ "Автоматизація управління електричними мережами вищих класів напруги", Київ, 2009
2. Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач. Моделі, методи, алгоритми і програми для промислових комп'ютерних комплексів [Електронне видання]: навч. посіб. / Д. Б. Банін, М. Д. Банін, А. В. Гнатівський. – К.: НТУУ "КПІ", 2016. – 104 с
3. Технічний звіт за договором № 435 від 30.12.2011 "Оптимізація місць розривів і розрахунок технічної складової втрат електроенергії мереж 6(10)/0.4 кВ філії м.Миколаєва ПАТ "Миколаївобленерго", Київ, 2012