

Економічні режими роботи двотрансформаторних підстанцій

В даний час аналіз графіків навантажень багатьох понижуючих підстанцій енергосистеми і промислових підприємств показує, що трансформатори підстанцій працюють в недовантаженому режимі. Положення погіршилося після переходу від планової економіки до ринкової, коли відбулося зниження виробництва продукції на багатьох промислових підприємствах, отже, відбулося і зниження електричних навантажень. Графіки навантажень багатьох підприємств втратили стабільність і стали мати яскраво виражену нелінійність як в добовому часовому проміжку, так і в більш тривалих проміжках часу. В умовах ринкової економіки аналітично прогнозувати графіки електричних навантажень на тривалу перспективу є задачею досить трудомісткою і часто недостовірною.

На понижуючих підстанціях, а також на станціях для трансформаторів зв'язку з системою навантаження трансформаторів визначається в основному графіком роботи споживачів. Втрати електроенергії в трансформаторах, як відомо, діляться на дві складові: втрати холостого ходу і навантажувальні втрати. У денний час, коли завантаження трансформаторів велике, навантажувальні втрати перевищують втрати холостого ходу. У нічний час, у вихідні та святкові дні, коли завантаження трансформаторів знижується, втрати холостого ходу, навпаки, набагато перевищують навантажувальні. Тому, керуючись відомим графіком навантаження, необхідно вибирати те чи інше число паралельно працюючих трансформаторів для забезпечення їх найбільш економічної роботи.

Найбільш економічною робота трансформатора, відповідно до відношення щорічних витрат і енерговитрат, буде у випадку, коли в години максимуму він буде працювати з перевантаженням. У реальних же умовах значення допустимого навантаження вибирають у відповідності до графіку навантаження і коефіцієнта початкового навантаження, а також залежно від температури навколишнього середовища, при якій працює трансформатор.

Номінальна потужність кожного трансформатора двохтрансформаторної підстанції, як правило, визначається аварійним режимом роботи підстанції: при встановленні двох трансформаторів їх потужність вибирається такою, щоб при виході з роботи одного з них, трансформатор який залишився в роботі з

допустимим аварійним перевантаженням міг забезпечити нормальне електропостачання споживачів.

На підстанціях можуть встановлюватися кілька трансформаторів, що працюють паралельно, причому номінальні потужності паралельно працюючих трансформаторів можуть відрізнятися. Для аналізу економічних режимів роботи двохтрансформаторної підстанції необхідно розглянути варіанти з установкою на підстанції трансформаторів з однаковою і різною номінальною потужністю.

На двохтрансформаторній підстанції встановлені трансформатори однакової номінальної потужності. На рис. 1.7 показані залежності втрат активної потужності в одному ΔP_1 і двох ΔP_2 паралельно працюючих трансформаторах від навантаження споживачів $S_{\text{нагр}}$. Точка перетину графіків відповідає значенню граничної потужності навантаження, $S_{\text{гр}}$ при якій втрати потужності в одному трансформаторі дорівнюють втратам потужності в двох трансформаторах. Отже, значення даної потужності і визначає точку найбільш вигідного з точки зору втрат потужності переходу від режиму роботи з одним трансформатором до режиму роботи з двома трансформаторами, і навпаки.

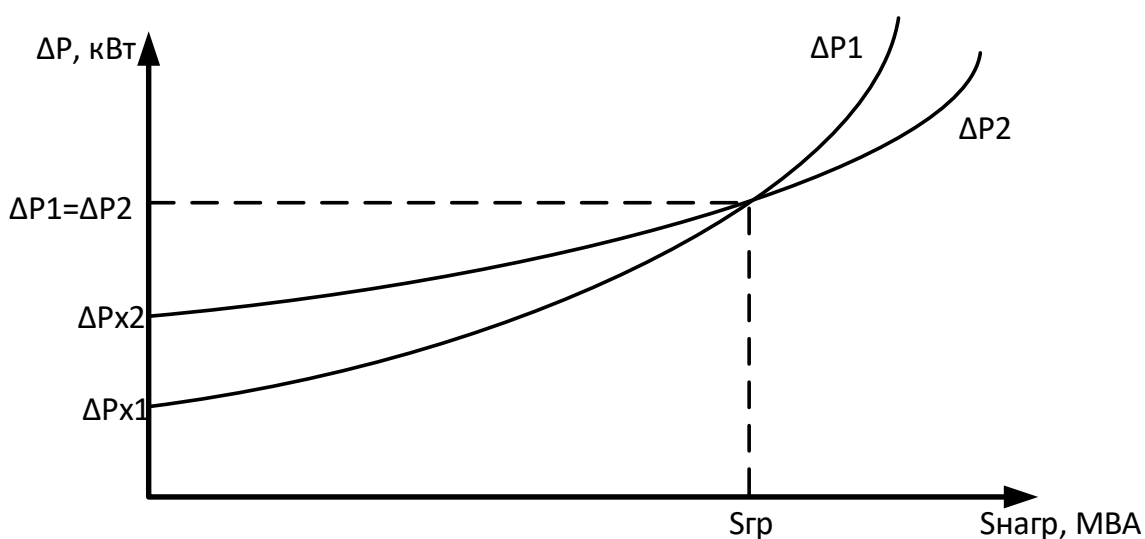


Рисунок 1.7 - Графіки втрат активної потужності в трансформаторах однакової номінальної потужності

Втрати потужності в одному і двох паралельно працюючих трансформаторах відповідно:

$$\Delta P_1 = \Delta P'_x + \Delta P'_k \left(\frac{S}{S_{\text{ном}}} \right)^2 \quad (1.1);$$

$$\Delta P_2 = 2(\Delta P'_x + \Delta P'_k \left(\frac{S}{2 * S_{\text{НОМ}}}\right)^2) \quad (1.2),$$

де S - значення потужності навантаження, МВ·А; $S_{\text{НОМ}}$ - номінальна потужність трансформатора, МВ·А; $\Delta P'_x, \Delta P'_k$ - приведені втрати холостого ходу і короткого замикання, кВт.

Приведені втрати враховують втрати активної потужності як в самому трансформаторі, так і створені ним в елементах живильної системи електропостачання в залежності від споживаної трансформатором реактивної потужності:

$$\Delta P'_x = \Delta P_x + k_e * S_{\text{НОМ}} \left(\frac{I_x \%}{100}\right), \text{ кВт} \quad (1.3);$$

$$\Delta P'_k = \Delta P_k + k_e * S_{\text{НОМ}} \left(\frac{U_k \%}{100}\right), \text{ кВт} \quad (1.4),$$

де ΔP_x і ΔP_k - втрати потужності холостого ходу і короткого замикання трансформатора відповідно (каталожні дані), кВт; $I_x\%$ - струм холостого ходу трансформатора; $U_k\%$ - напруга короткого замикання трансформатора; k_e - коефіцієнт питомого приросту втрат активної потужності, залежно від місця розміщення джерела реактивної потужності, що покриває споживання її трансформатором. У першому наближенні можна приймати k_e для трансформаторів, встановлених на електростанціях, рівним 0,015кВт / кВ · А, і для трансформаторів понижуючих підстанцій - 0,04 кВт / кВ · А.

Отже, економічний режим роботи двохтрансформаторної підстанції з трансформаторами однакової потужності визначається мінімальними втратами в трансформаторах на всьому діапазоні навантажень. Втрати потужності описуються кривою $\Delta P_{x1} - S_{\text{гр}} - \Delta P_2$ на графіку рис.1.7.

На двохтрансформаторній підстанції встановлені трансформатори різної номінальної потужності. Умовно приймемо, що номінальна потужність першого трансформатора Т1 менше потужності другого Т2.

На рис. 1.8 показані залежності втрат активної потужності в трансформаторі меншої номінальної потужності ΔP_1 , більшої номінальної потужності ΔP_2 і сумарні втрати в двох трансформаторах ΔP_{Σ} від навантаження споживачів $S_{\text{нагр}}$. Точка

перетину графіків $S_{гр1}$ відповідає значенню граничної потужності навантаження, при якій втрати потужності в Т1 дорівнюють втратам потужності в Т2. Місце перетину графіків $S_{гр2}$ відповідає значенню граничної потужності навантаження, при якій втрати потужності в Т2 рівні сумарним втратам потужності в Т1 і Т2. Отже, значення граничної потужності $S_{гр1}$ визначає місце найбільш вигідне з точки зору втрат потужності переходу від режиму роботи трансформатору меншої потужності до трансформатору більшої потужності, і навпаки. Значення граничної потужності $S_{гр2}$ визначає точку найбільш вигідного переходу від режиму роботи трансформатору більшої потужності до роботи двох паралельно ввімкнених трансформаторів, і навпаки.

Значення граничної потужності $S_{гр3}$ не має якісної оцінки для визначення економічних режимів роботи двохтрансформаторної підстанції, значення потужності знаходиться вище кривої мінімальних втрат. Потужність $S_{гр3}$ визначає точку найбільш вигідного переходу від режиму роботи двох трансформаторів до роботи одного трансформатору меншої потужності, і навпаки.

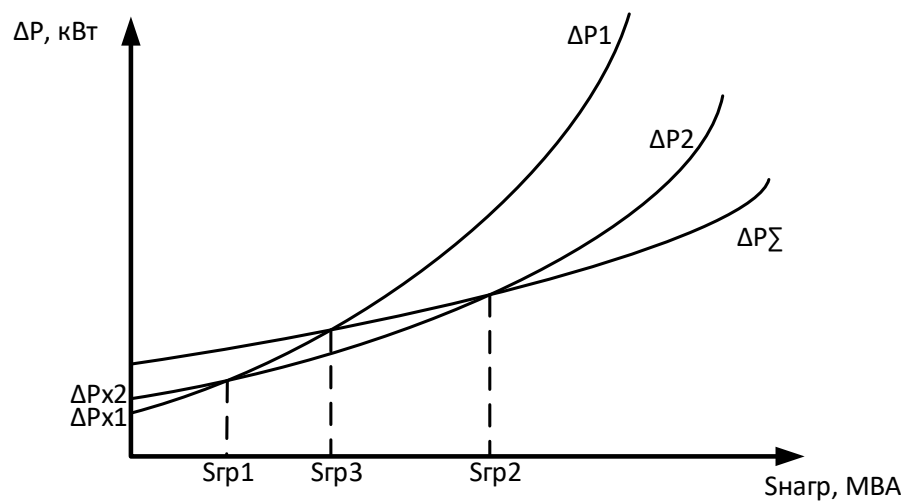


Рисунок 1.8 - Графік втрат активної потужності в трансформаторах різної номінальної потужності

Втрати потужності в трансформаторі меншої номінальної потужності

$$\Delta P_1 = \Delta P'_{x1} + \Delta P'_{k1} \left(\frac{S}{S_{НОМ1}} \right)^2 \quad (1.5);$$

Втрати потужності в трансформаторі більшої номінальної потужності

$$\Delta P_2 = \Delta P'_{x2} + \Delta P'_{k2} \left(\frac{S}{S_{НОМ2}} \right)^2 \quad (1.6);$$

При паралельній роботі трансформаторів мінімум втрат потужності відповідає розподілу навантаження пропорційно встановленій потужності трансформаторів

$$\frac{S_1}{S_{\text{НОМ1}}} = \frac{S_2}{S_{\text{НОМ2}}} \quad (1.7);$$

де S_1 і S_2 - потужність навантаження першого і другого трансформаторів відповідно.

Сумарна потужність втрат при роботі двох трансформаторів

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P'_{x1} + \Delta P'_{x2} + \Delta P'_{k1} \left(\frac{S_1}{S_{\text{НОМ1}}}\right)^2 + \Delta P'_{k2} \left(\frac{S_2}{S_{\text{НОМ2}}}\right)^2 \quad (1.8);$$

Економічний режим роботи двохтрансформаторної підстанції з трансформаторами різної номінальної потужності визначається мінімальними втратами в трансформаторах на всьому діапазоні навантажень. Втрати потужності описуються кривою мінімальних втрат $\Delta P_{x1} - S_{\text{гр1}} - S_{\text{гр2}} - \Delta P_{\Sigma}$ на графіку (рис.1.8).

Приклад розрахунку

Розглянемо приклади розрахунку за приведеними вище формулами 2 варіантів: з трансформаторами однакової потужності та з трансформаторами із різною номінальною потужністю.

- На підстанції встановлено 2 однакових трансформатори

Таблиця 1.1. Параметри трансформатору

Модель ТР	Номінальна потужність, $S_{\text{НОМ}}$ МВА	Втрати потужності холостого ходу, ΔP_x кВт	Втрати потужності короткого замикання, ΔP_k кВт	Струм холостого ходу, I_x %	Напруга короткого замикання, U_k %
ТМ-400	0,4	1,05	5,5	2,1	4,5

Провівши розрахунки за формулами 1.1-1.4 отримуємо результати представлення на рис. 1.9.

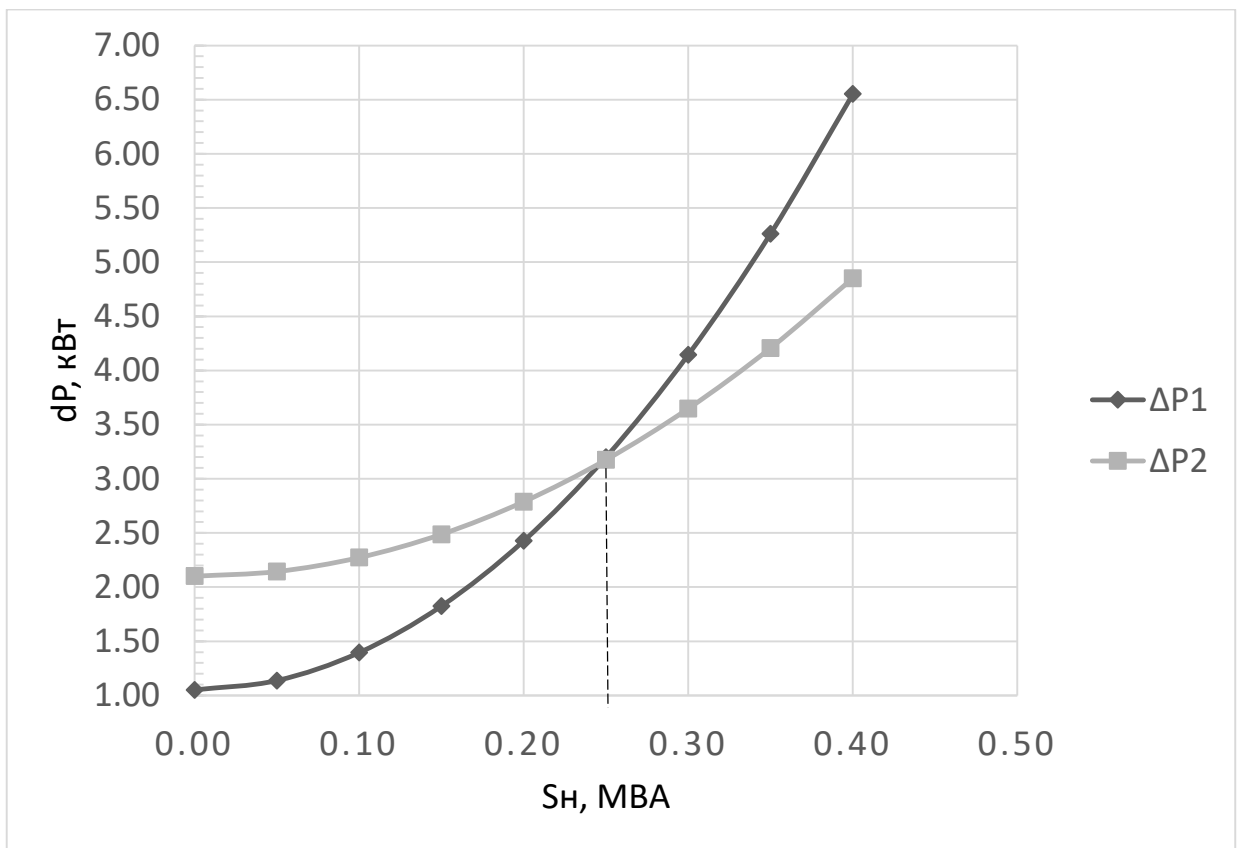


Рисунок 1.9 - Графіки втрат активної потужності в трансформаторах однакової номінальної потужності

- На підстанції встановлено 2 різних трансформатори

Таблиця 1.2. Параметри трансформатору

Модель ТР	Номінальна потужність, $S_{ном}$ МВА	Втрати потужності холостого ходу, ΔP_x кВт	Втрати потужності короткого замикання, ΔP_k кВт	Струм холостого ходу, I_x %	Напруга короткого замикання, U_k %
ТМ-400	0,4	1,05	5,5	2,1	4,5
ТМ-630	0,63	1,56	7,6	2	5,5

Провівши розрахунки за формулами 1.5-1.8 отримуємо результати представленні на рис. 1.10.

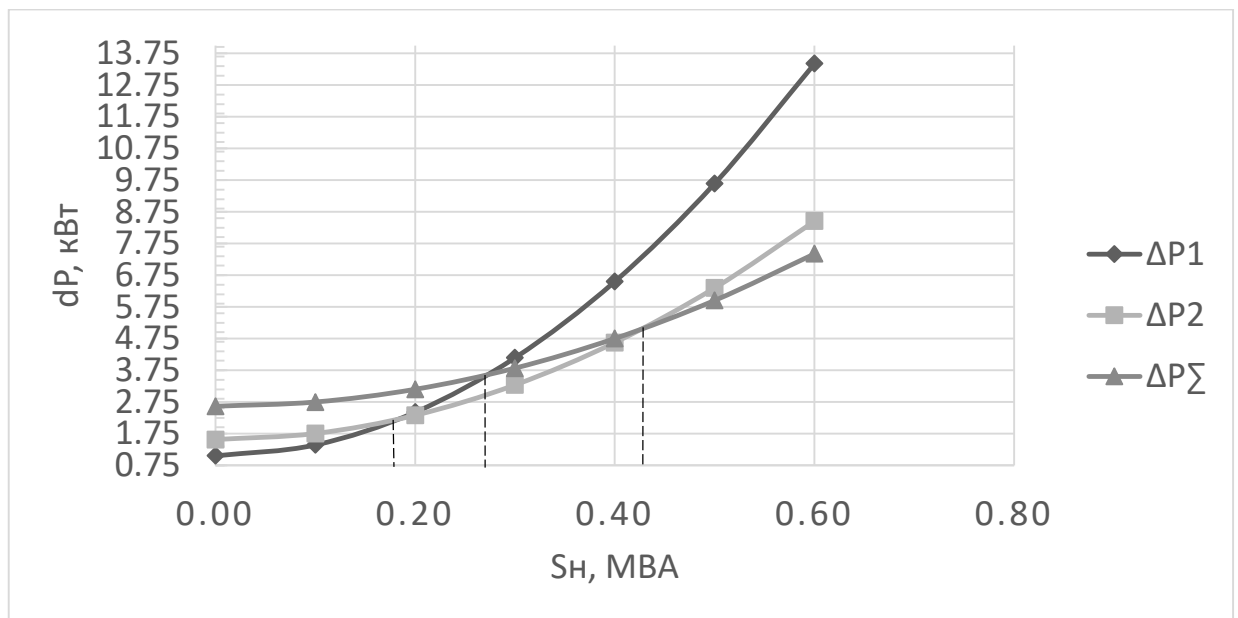


Рисунок 1.10 - Графіки втрат активної потужності в трансформаторах різної номінальної потужності

Способи вирішення проблеми.

Оскільки навантаження більшості підстанцій протягом доби і в різні дні тижні не залишається постійною, а може змінюватися в досить широкому діапазоні, безперервна робота з усіма включеними трансформаторами економічно недоцільна. Під час тривалого зниження сумарного навантаження підстанції один з трансформаторів вигідно тримати відключеним, а все навантаження (обидві секції шин низької напруги) живити включенням секційного вимикача від одного трансформатора. При цьому може з'явитися необхідність гарантованого швидкого включення трансформатора, виведеного в резерв, при збільшенні навантаження підстанції до значення, при якому вигідно працювати усіма трансформаторами підстанції. При цьому повинен бути введений в роботу другий трансформатор, а секційний вимикач відключений.

Технічний аспект переходу від одного режиму роботи до іншого може розглядатися виходячи з двох позицій: ручного переходу і автоматичного.

Ручний перехід можна застосовувати у вкрай рідкісних випадках, як правило, на двохтрансформаторних підстанціях, що не мають споживачів першої категорії і мають стабільний графік навантаження, значення потужності якого в будь-якому режимі не перевищить допустиму потужність перевантаження трансформатора (по

значенню величини і тривалості). Аналіз систем електропостачання показує, що по даному пункту обрані резерви по оптимізації режиму роботи: практично на всіх підстанціях даного типу в роботі знаходиться один трансформатор, другий виведено у резерв.

На підстанціях, що мають споживачів першої категорії і з імовірністю збільшення потужності підстанції вище перевантажувальної здатності одного трансформатора, ручний вивід трансформатора в резерв неприпустимий. На даних типах підстанцій необхідний автоматичний перехід від режиму роботи одним трансформатором до режиму роботи двома, і навпаки.

Під автоматичним переходом мають на увазі наявність на підстанції апаратних засобів для управління режимом роботи залежно від графіка електричного навантаження.

Висновки.

На першому графіку (рис. 1.9) до точки 0.25 МВА (63 %) вигідна робота одного трансформатора (Переважають втрати холостого ходу), після 0.25 МВА (63%) переважають втрати короткого замикання.

На другому графіку (рис. 1.10) до точки 0,18 МВА вигідна робота трансформатору Т1 400 кВА (мале завантаження, відповідно трансформатор з меншими втратами х.х.), від 0,18 МВА до 0,275 МВА вигідна робота Т2 630 кВА (Т2 створює менші втрати к.з., економія на х.х. Т1), після 0,275 МВА вигідна робота двох трансформаторів (економія втрат к.з.)

Припускається, що перехід між режимами роботи може бути реалізованим як в ручному, так і в автоматичному режимі