

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ВИРОБНИЦТВАХ МІСЦЕВОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ЩО СПОЖИВАЄТЬСЯ

Виробничі електроприводні або електрофізикохімічні технологічні установки живляться переважно від цехових або дільничних трансформаторів з застосуванням електричних кабелів. Для порівняно потужних виробничих установок звичайно застосовують автономні трансформатори. Виробничі установки залежно від режиму роботи потребують для свого функціонування більшої або меншої активної потужності $P_{2\beta}$. Найбільша з можливих величин $P_{2\beta}$ визначає й необхідну номінальну активну потужність такого

автономного трансформатора $P_{2\text{ном}}$ в номінальному режимі при тривалому чисто активному навантаженні.

Таким чином, для будь-якої виробничої технологічної установки рівень споживання нею активної потужності визначає й відносний рівень β навантаження автономного трансформатора активною потужністю:

$$\beta = \frac{P_{2\beta}}{P_{2\text{ном}}}, \quad (1)$$

Споживання технологічною установкою

активної потужності $P_{2\beta}$ викликає протікання у вторинній обмотці трансформатора відповідного вторинного струму $I_{2\beta}$. Водночас виробничі електротехнології та застосування напівпровідникової техніки викликають також додаткове споживання реактивної потужності та відповідних реактивних струмів. Як активна, так і реактивна потужності в такому випадку надходять через первинну сторону трансформатора з мережі. Тоді відносний рівень повного споживаного вторинного струму $I_{2\beta k}$ стосовно вторинного номінального струму трансформатора при чисто активному навантаженні $I_{2\text{ном}}$ дорівнює:

$$\beta_i = \frac{I_{2\beta k}}{I_{2\text{ном}}} = \frac{\beta}{\cos \varphi_2} = \frac{\beta}{k}, \quad (2)$$

де $k = \cos \varphi_2$ позначено з метою скорочення записів.

В електроприводних виробничих установках споживання реактивних струмів з мережі відн. осно невелике, відповідний $\cos \varphi_2 \approx 0,9$. Для сучасних електрофізико-хімічних технологій, особливо з застосуванням напівпровідникових систем,

$$\cos \varphi_2 \approx 0,8 \dots 0,7,$$

а інколи й нижче. Доля таких технологій на виробництвах постійно зростає.

За таких умов при низьких $\cos \varphi_2$ значення повних струмів $I_{2\beta k}$ порівняно з їх технологічно потрібною активною складовою $I_{2\beta}$ суттєво зростають. Це викликає квадратичне зростання втрат активної потужності у вторинній та первинній обмотках трансформатора, а також у відповідних кабельних лініях. В цілому це призводить до помітного зростання споживання активної потужності з мережі на величину цих втрат $\sum p p$ порівняно з технологічно потрібною активною потужністю $P_{2\beta}$.

Зокрема, втрати активної потужності p_e в обмотках такого автономного виробничого трансформатора розраховуються за формулою:

$$p_e = \beta_i^2 \cdot b = \left(\frac{\beta}{k}\right)^2 \cdot b, \quad (3)$$

де b – втрати активної потужності в обмотках трансформатора при номінальному вторинному струмі.

Втрати активної потужності в магнітопроводі трансформатора при $f_j = \text{const}$ та $U_j = \text{const}$ визначаються сталою величиною a . Тоді сумарні втрати активної потужності Σp в автономному трансформаторі виробничого призначення складають:

$$\Sigma p = a + \left(\frac{\beta}{k}\right)^2 \cdot b, \quad (4)$$

Для конкретних трансформаторів величини a і b є відомими.

Слід зазначити, що за останні роки в зв'язку з суттєвим подорожчанням споживаної активної електроенергії вплив вартості її втрат на загальні фінансові витрати виробництв також суттєво зріс: у енергетичних виробничих трансформаторах ця вартість вже зараз є такою високою, що за декілька років їх експлуатації складає суму, відповідну їх вартості.

Тому зменшення втрат активної потужності у виробничих трансформаторах є не лише актуальною проблемою загального енергозбереження, але й економічно доцільним заходом для конкретних виробництв. Проведені аналізи та розрахунки показують, що одним з ефективних заходів щодо електроенергозбереження, особливо при низьких $\cos \varphi_2$ у певних виробничих технологіях, може стати застосування місцевих регульованих джерел компенсації реактивної потужності. Першочергово маються на увазі регульовані конденсаторні батареї.

У попередні роки конденсаторні батареї на виробництвах застосовували для покращення загального $\cos \varphi$ виробництва шляхом зменшення споживання реактивної потужності з загальної електроенергетичної мережі. До цього спонукала система штрафів за низькі $\cos \varphi$ виробництв. Зараз таких штрафів немає, оплата здійснюється за спожиту активну і реактивну електроенергію. Тому подальше використання конденсаторних батарей на багатьох виробництвах стало вважатися недоцільною перевитратою коштів на їх придбання та експлуатацію. Але проведені аналізи показують, що в багатьох випадках застосування конденсаторних батарей є економічно ефективним, оскільки зменшує споживання активної потужності та відповідні кошти за оплату активної і реактивної.

Якщо зкомпенсувати місцевою конденсаторною батареєю повністю реактивний струм ($\cos \varphi_2 = k=1$), то різниця між сумарними

втратами активної потужності в трансформаторі $\Delta \sum P_{TP}$ до та після компенсації за формулою (4) становитиме:

$$\Delta \sum P_{TP} = \left(a + \frac{\beta^2}{k^2} \cdot b \right) - (a + \beta^2 \cdot b) = \beta^2 \left(\frac{1}{k^2} - 1 \right) \cdot b. \quad (5)$$

Для трансформатора з відомими втратами активної потужності в обмотках при номінальних струмах за формулою (5) можна розраховувати зменшення втрат активної потужності для будь-яких відносних рівнів навантаження β при повній компенсації споживання реактивної потужності з мережі.

Аналізи показують, що ще зручніше користуватися відносним значенням цієї функціональної залежності, тобто:

$$\frac{\Delta \sum P_{TP}}{\sum P_{ном}} = f(\beta, k).$$

Після підстановки відповідних значень та перетворень цю залежність можна представити виразом:

$$\frac{\Delta \sum P_{TP}}{\sum P_{ном}} = \frac{\beta^2 \cdot \left(\frac{1}{k^2} - 1 \right)}{\frac{a}{b} + 1}, \quad (6)$$

До того ж виявилось, що для найбільш широко вживаних на виробництвах масляних трансформаторів типу ТМ в діапазоні номінальних потужностей від 25 до 630 кВА значення $\frac{a}{b} = const$. Тому залежність (6) для

них є практично універсальною. Ці залежності для трьох фіксованих значень $k_1=0,9$, $k_2=0,8$ та $k_3=0,7$ наведені на рис. суцільними лініями. Їх можна використати для розрахунку зменшення втрат активної потужності при повній компенсації споживання реактивної потужності зі згаданого діапазону.

При регульованій компенсації слід також враховувати і можливе зменшення втрат активної потужності з первинної та вторинної сторони автономного виробничого трансформатора. Для цього необхідно знати умови експлуатації та конкретні дані щодо трансформатора та кабельних ліній. Але для розглядуваних узагальнених методів аналізу слід застосовувати відповідні узагальнення і до

кабельних ліній.

Для автономного трансформатора та відповідних кабельних ліній можна вважати, що площі перерізів фазних обмоток та з'єднаних з ними жил кабелів розраховані на номінальне навантаження в тривалому режимі. Тоді сумарний активний опір фазних жил кабелів з первинного та вторинного боків може бути вираженим через активний опір короткого замикання трансформатора, тобто $r_{каб} = cr_k$.

Якщо при цьому ще й вважати $C = 1$, що приблизно відповідає середнім реальним даним в умовах виробництва, то тоді складова зменшення втрат активної потужності в кабелях

$\Delta \sum P_{ном}$ відповідатиме (5).

Виходячи з таких міркувань, загальне зменшення втрат активної потужності в трансформаторі та кабелях при повній компенсації споживання реактивного струму з мережі становитиме:

$$\begin{aligned} \Delta \sum \sum P &= \Delta \sum P_{TP} + \Delta \sum P_{каб} = \\ &= 2 \left(\frac{1}{k_2} - 1 \right) \cdot \beta^2 \cdot b. \end{aligned} \quad (7)$$

Відносні значення $\Delta \sum \sum p$ за (7) показані на рис. штриховими лініями. За наявності конкретних даних щодо кабелів другу складову в (7) можна уточнити.

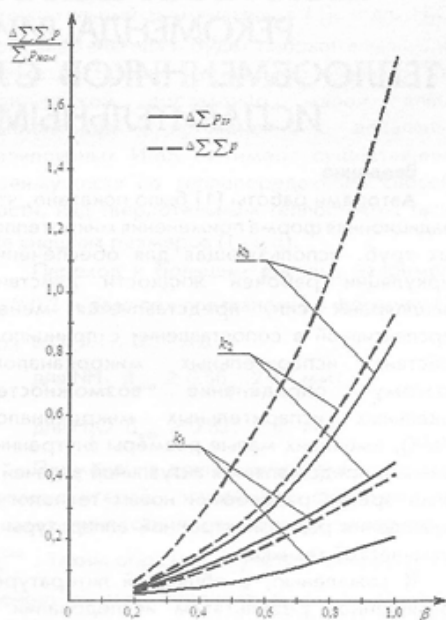


Рис. Відносні значення зменшення втрат активної потужності у автономному виробничому трансформаторі типу ТМ і кабельних лініях при місцевій компенсації реактивної потужності

Для прикладу розглянемо потенційно можливу економію при місцевій компенсації реактивної потужності регульованою конденсаторною батареєю з $k < 1$ до $k = 1$ на конкретному прикладі. Виробничий автономний трансформатор ТМ-630/10, що в номінальному режимі має втрати активної потужності $a = 1,56$ кВт та $b = 7,6$ кВт, працює для забезпечення електрофізико-хімічної технології з $k = 0,7$; він має такі середні навантаження активною потужністю на протяжці 8-годинної робочої зміни:

$b = 0,8$ протягом 2 годин;

$b = 0,9$ протягом 2 годин;

$b = 0,5$ протягом 2 годин;

$b = 0$ протягом 2 годин.

За штриховою кривою k_3 на рис.

знаходимо значення $\frac{\Delta \sum \sum P}{\sum P_{\text{ном}}}$, яке дорівнює

1,12; 1,4; 0,43; 0 при відповідних b . З врахуванням $\Delta \sum P_{\text{ном}} = a + b = 9,16$ кВт визначаємо втрати активної енергії в трансформаторі і кабелях за робочу зміну. Вони становлять 54 кВт·год, що за сучасної ціни 0,25 грн/кВт та 300 робочих днів на рік складає:

- при однозмінній роботі – 4,0 тис. грн.;

- при двозмінній – 8,0 тис. грн.;

- при тризмінній – 12,1 тис. грн.

Висновки

Аналіз та приклад розрахунку показують, що на відповідних виробничих установках економічно доцільно застосовувати регульовані конденсаторні батареї.

Література

1. Красников В.М., Новиков А.В. Електро-механіка. - К.: Вища школа, 1994. - 488 с.