

ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.311

В.М. КРАСНИКОВ, М.Г. АНПІЛОВ

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ГРУПИ ПАРАЛЕЛЬНО З'ЄДНАНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ У ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

На сьогодні традиційні рекомендації і вимоги щодо дотримання умов експлуатації в основному визначаються пріоритетами оплати за споживану активну електроенергію. При цьому витрачаються не державні кошти, як це мало місце за умов загальнодержавної власності на енергоносії та засоби виробництва, а гроші, які належать даному виробництву.

Такі нові обставини суттєво змінюють доцільність використання традиційних рекомендацій щодо вимикання одного з групи паралельно працюючих трансформаторів при зниженні загального навантаження з метою зменшення споживання реактивного струму. В сучасних умовах ефективність такої операції може бути визначена конкретно, виходячи з умов економічної доцільності.

Втрати активної потужності $\sum P$ в енергетичному трансформаторі загального призначення можуть бути визначені за формулою [1]:

$$\sum P = a + \beta_i^2 b, \quad (1)$$

де $a = P_0$ - втрати активної потужності в магнітопроводі, які при незмінній напрузі є сталими і рівними втратам в режимі холостого ходу трансформатора;

$b = P_k$ - втрати активної потужності в обмотках трансформатора при номінальному струмі в досліді короткого замикання;

β - відносний рівень (коефіцієнт) струмового навантаження.

При цьому слід взяти до уваги певні обставини, які відрізняють розуміння рівня навантаження при випадкових ситуаціях щодо вмикання або вимикання споживачів електричної енергії. Такі ситуації є характерними для електричних мереж загального призначення, які до того ж

функціонують при досить високих $b = P_k$. Але в умовах певного виробництва, тим більше його технологічного підрозділу, споживання величин і характеристик струмів визначають програми роботи конкретних технологічних пристроїв - верстатів, механізмів, електрофізико-хімічних технологій. Для кожного з них потрібен відповідний технологічним умовам рівень споживання активної потужності, тобто активної складової від всього споживаного струму.

Тому у виробничих умовах рівень навантаження β , в тому числі й інтегрального, визначається споживанням саме активної потужності:

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

де $P_{2\beta}$ - активна потужність, яка споживається від одного трансформатора;

$P_{2ном}$ - гранична активна потужність трансформатора при чисто активному навантаженні ($S_{2ном} = P_{2ном}$).

При цьому рівень струмового навантаження β_i при $\cos \varphi_2 < 1$ відповідно збільшується:

$$\beta_i = \frac{\beta}{\cos \varphi_2} = \frac{\beta}{k}. \quad (3)$$

Підставляючи вираз (3) в рівняння (1), одержимо:

$$\sum P = a + \left(\frac{\beta}{k}\right)^2 b. \quad (4)$$

Сумарні втрати активної потужності $\sum \sum P_1$ в n однакових трансформаторах, що з'єднані паралельно:

$$\sum \sum P_1 = n \left[a + \left(\frac{\beta}{k} \right)^2 b \right]. \quad (5)$$

Можна було б певним чином врахувати і втрати активної потужності в провідниках електричної мережі ВН та НН, але це суттєво ускладнило б наступні аналізи. Тому подальші аналізи провадяться лише з врахуванням втрат активної потужності в самих трансформаторах.

Якщо, в зв'язку з загальним зниженням навантаження, вимкнути один з трансформаторів, то в $(n-1)$ трансформаторах, що залишились, рівень навантаження підвищиться. Втрати активної потужності у всій групі складають:

$$\sum \sum P_2 = (n-1) \left[a + \left(\frac{\beta}{k} + \frac{\beta}{k(n-1)} \right)^2 b \right]. \quad (6)$$

Регулювання вимкненням одного трансформатора буде економічно доцільним за умови, якщо сумарні втрати активної потужності стануть меншими від сумарних втрат активної потужності до регулювання:

$$\sum \sum P_2 < \sum \sum P_1. \quad (7)$$

Після підстановки в цю нерівність відповідних значень за рівняннями (5) та (6) і впорядкування отримуємо критеріальний рівень активного навантаження $\beta_{k.a\dot{e}i}$, при зменшенні до якого вже є доцільним вимкнення одного з трансформаторів:

$$\beta_{k.a\dot{e}i} < k \sqrt{\frac{a}{b} \left(1 - \frac{1}{n} \right)}. \quad (8)$$

З подібних же міркувань можна визначити й економічно доцільний рівень активного навантаження трансформаторів, при якому вже доцільно вмикати $(n+1)$ -й трансформатор. Сумарні втрати активної потужності в n трансформаторах визначаються рівнянням (5). Сумарні втрати активної потужності в $(n+1)$ трансформаторах $\sum \sum P_3$ після регулювання можна визначити так:

$$\sum \sum P_3 = (n+1) \left[a + \left[\frac{\beta}{k} - \frac{\beta}{k(n+1)} \right]^2 b \right]. \quad (9)$$

З умови:

$$\sum \sum P_3 < \sum \sum P_1$$

визначаємо критеріальний рівень активного

навантаження $\beta_{k.a\dot{e}i}$, при перевищенні якого вже є доцільним вмикання наступного трансформатора:

$$\beta_{k.b.m} > k \sqrt{\frac{a}{b} \left(1 + \frac{1}{n} \right)}. \quad (10)$$

Доцільно детальніше розглянути вирази (8) та (10). Для кожного однакового трансформатора з групи трансформаторів, що працюють паралельно на виробництві, значення a та b є незмінними. Робота трансформатора є найбільш ефективною при рівнях навантажень, що відповідають найменшим відносним втратам активної потужності, тобто найвищому коефіцієнту корисної дії $\eta_{k.\beta}$. В загальному випадку ККД визначається за формулою:

$$\eta_{k.\beta} = \frac{P_{2\beta}}{P_{1\beta}} = \frac{P_{2\beta}}{P_{2\beta} + \sum P_{\beta}}$$

З урахуванням рівнянь (2) та (4):

$$\eta_{k.\beta} = \frac{\beta P_{2fii}}{\beta P_{2fii} + a + \left(\frac{\beta}{k} \right)^2 b}. \quad (11)$$

Для знаходження $\beta_{k.max}$, при якому ККД досягає найбільшого значення, необхідно розв'язати рівняння:

$$\frac{d\eta_{k.\beta}}{d\beta} = 0.$$

Після проведення необхідних операцій та впорядкування отримуємо:

$$\beta_{k.max} = k \sqrt{\frac{a}{b}}. \quad (12)$$

Для отримання максимального значення ККД необхідно рівняння (12) підставити в вираз (11); після впорядкування отримаємо:

$$\eta_{k.max} = \frac{k P_{2НОМ}}{k P_{2НОМ} + 2\sqrt{ab}}. \quad (13)$$

З виразу (13) стає очевидним, які саме фактори впливають на зменшення $\eta_{k.max}$, тобто збільшення втрат активної потужності.

Отриманий вираз (12) дозволяє визначити критеріальні значення рівнів активних навантажень, доцільних для вмикання або вимкнення одного з паралельних трансформаторів, дещо інакше:

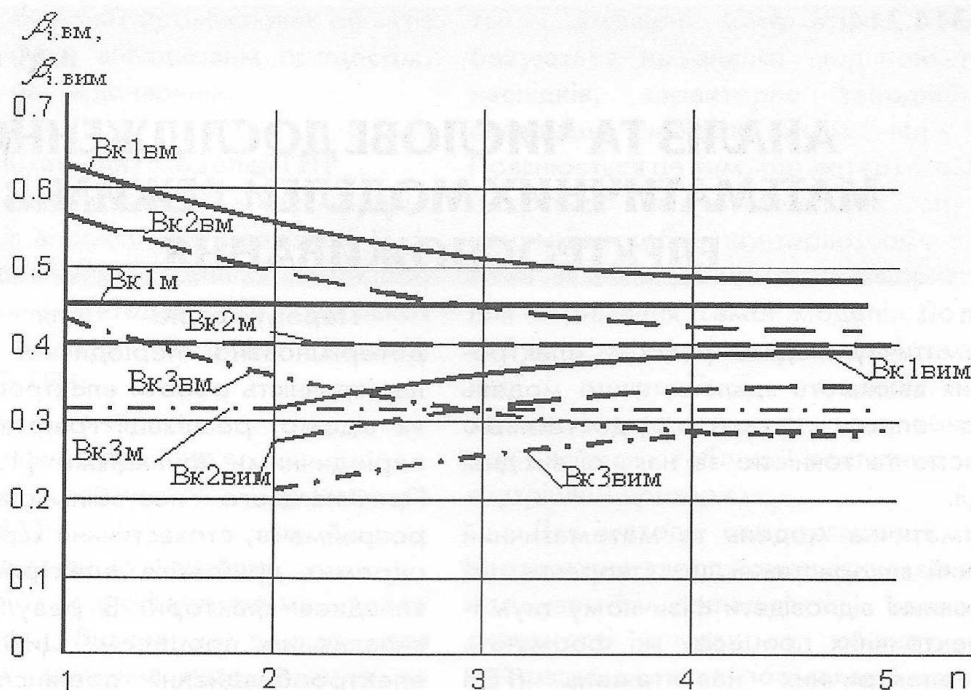


Рис. 1. Номограми критеріїв доцільного активного навантаження для вмикання і вимикання трансформаторів при різних значеннях $\cos \varphi_2$

$$\beta_{k.a\bar{e}i} < \beta_{k.max} \sqrt{1 - \frac{1}{n}}, \quad (14)$$

$$\beta_{k.a\bar{i}} > \beta_{k.max} \sqrt{1 + \frac{1}{n}}. \quad (15)$$

Для конкретних трансформаторів на основі (14) та (15) можна побудувати зручніші для користування графічні номографічні залежності таких рівнів від кількості трансформаторів n в групі, що з'єднані паралельно.

На рис. 1 для прикладу наведені такі графічні залежності для n однакових трансформаторів для кожного з яких $S_{2ном} = 630 \text{ kV} \cdot \text{A}$, $a = 1,56 \text{ kVt}$, $b = 7,6 \text{ kVt}$.

Значення $\beta_{k.max}$, $\beta_{k.a\bar{e}i}$ та $\beta_{k.a\bar{i}}$ для $k=1,0$ позначені суцільними лініями, для $k_2=0,9$ - штриховими; для $k_3=0,7$ - штрих-пунктирними.

Висновки

Дотримання критеріїв для вмикання та вимикання трансформаторів дозволяє уникнути зайвих перевитрат коштів, які можуть виникати при використанні традиційних рекомендацій або приблизних інтуїтивно-практичних оцінках для вмикання або вимикання одного виробничого трансформатора з групи n трансформаторів, що з'єднані паралельно.

Література

1. В.М. Красников, А.В. Новіков. Електромеханіка. - К.: Вища школа, 1994. - 488с.