

ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.311

В.М. КРАСНИКОВ, М.Г. АНПІЛОВ

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ БАГАТОЗМІННОМУ ВИКОРИСТАННІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ВИРОБНИЦТВАХ

Як відомо, багатозмінна діяльність виробництв різного спрямування пов'язана з підвищенням щодобових обсягів виробництва, більш ефективним використанням наявних ресурсів, застосуванням нових технологій та ін. Проведені аналізи показують, що багатозмінна організація виробництва дозволяє також забезпечити певну економію коштів за рахунок раціонального використання наявних енергетичних трансформаторів.

Першочергово мається на увазі раціональніше навантаження трансформаторів в зонах, відповідних вищим значенням їх коефіцієнтів корисної дії. Це відповідає мінімальним втратам активної потужності, а разом з тим і мінімальним коштам за спожити активну енергію.

При цьому також слід взяти до уваги важливі сучасні економічні обставини, що суттєво суперечать традиційним рекомендаціям щодо обов'язкової доцільності скорочення споживання виробництвом реактивної енергії. За сучасних умов реально береться до уваги здебільшого переважно вартість спожитої активної енергії. Кількість спожитої виробництвом реактивної енергії постачальників і продавців електричної енергії звичайно цікавить суттєво менше.

Ще одна мотивація теж є новою, вона дає можливість кращого розуміння реальних навантажень в енергетичних трансформаторах виробничого призначення. Аналізи показують, що принципові основи навантажень груп паралельно з'єднаних трансформаторів є неоднаковими для різних застосувань.

Зокрема, вони є суттєво різними для загального електроспоживання та для енергетичних трансформаторів, які використовуються на виробництвах. В електричних мережах загального застосування навантаження відбувається при значеннях $\cos \varphi$, наближених до одиниці. В них є певні календарні та добові цикли, а на даному відрізку часу навантаження значною мірою визначається випадковими обставинами. Але на виробництві на певному відрізку часу загалом діють не випадкові, а конкретні цілеспрямовані технологічні навантаження. Особливо це стосується нижчих виробничих структур - цехів, дільниць тощо.

Адже в умовах виробництва характер навантаження та рівні споживання струмів обумовлені дією певних технологій. Тому в таких виробничих умовах дію одного або групи паралельно з'єднаних трансформаторів слід розглядати як автономне джерело конкретного технологічного призначення. Навіть, якщо споживання електроенергії при цьому має інтегральний характер.

Такі підходи стають особливо актуальними у сучасних умовах, коли на виробництвах все ширше застосовують електро-фізико-хімічні технології різного призначення. Вони потребують певних конкретних рівнів споживання активної потужності, але відбуваються нерідко при суттєво нижчих $\cos \varphi_2$, ніж це є характерним для традиційних механічних технологій з використанням верстатного електроприводного обладнання. Врахування таких обставин вносить суттєві корективи у визначення рівнів струмового навантаження виробничих трансформаторів, а разом з тим і у величини витрат в них активної потужності та вартості цієї частини спожитої активної електричної енергії.

З огляду на такі обставини слід вважати, що з цієї точки зору першочерговою енергетичною характеристикою споживання електричної енергії на виробництві є не рівень споживаного струму незалежно від його характеру, а технологічний рівень активної потужності або активної енергії, спожитої за певний період. Тобто, рівень потрібного технологічного навантаження слід визначити як відношення споживаної активної потужності $P_{2\beta}$ до її базового номінального значення

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

А характер споживаних струмів при цьому може бути різним.

За таких умов для виробничих електричних пристроїв різних технологічних призначень при незмінних рівнях напруг слід враховувати рівні змін активної складової струму

$$\beta = \frac{I_2 \cos \varphi_2}{I_{2НОМ}} \quad (2)$$

В той же час витрати активної потужності в обмотках трансформатора залежать від квадрату значення повного струму і можуть бути вираженими

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

де $b = P_k$ - втрати активної потужності в обмотках трансформатора при номінальному струмовому навантаженні в дослідному режимі короткого замикання; $k = \cos \varphi_2$ позначено для скорочення записів.

Втрати активної потужності в магнітопроводі трансформатора при незмінній напрузі є сталими і дорівнюють втратам в режимі холостого ходу $P_0 = a$. Тоді втрати активної потужності в одному виробничому трансформаторі при потрібному рівні активного технологічного навантаження обладнання

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

Гранична повна вторинна потужність трансформатора $S_{2НОМ}$ в тривалому режимі S1 визначає можливість щодо верхньої межі його струмового навантаження. При чисто активному характері навантаження це визначає й граничні можливості цього трансформатора $S_{2НОМ} = P_{2НОМ}$ щодо його навантаження активною потужністю.

Граничний рівень номінального струмового навантаження визначає не лише площу перетину обмотки, але й кожної з трьох жил відповідних кабелів. З первинного боку електроенергія ВН подається до даного цеху (дільниці) від головної понижувальної трансформаторної підстанції виробництва ГПП. Відстань від ГПП нерідко вимірюється сотнями метрів, в таких кабелях відбуваються не малі втрати активної потужності, які слід враховувати. З вторинного боку електроенергія НН подається безпосередньо до споживачів на значно менші відстані; проте й тут також відбуваються помітні втрати активної потужності.

Враховувати досить точно втрати активної потужності в кабелях можна лише на основі конкретних даних. Разом з тим можна віднайти й певні узагальнення, виходячи з загальних міркувань. Якщо як джерело електроенергії використовують лише один трансформатор, то для цього застосовують з первинного боку кабель з певним перетином жил, який визначається рівнем струму при номінальному навантаженні трансформатора. При цьому активний опір фазної жили кабеля може бути виражений як певна частина активного опору первинної обмотки трансформатора r_1 або сумарного активного опору двох обмоток, тобто $r_k = r_1 + r_2'$. Подібні ж міркування можна застосувати й до вторинної обмотки та відповідних кабелів. В результаті еквівалентний опір у фазних жилах кабелів можна відповідним чином виразити через r_k :

$$r_{каб} = cr_k. \quad (5)$$

Тоді втрати активної потужності в кабелях при номінальних струмах можна виразити, як частину втрат короткого замикання в m фазах:

$$P_{еквном} = m I_{2НОМ}^2 r_{каб} = cm I_{2НОМ}^2 r_k = cb. \quad (6)$$

Коефіцієнт c можна визначити стосовно до відомих конкретних умов. Для узагальнених порівняльних розрахунків можна скористатись усередненими даними. Для фазних жил кабелів поодинокого трансформатора, з'єданого з ГПП, виходячи з середньостатистичних даних, орієнтовно можна вважати $c \approx 1$, тобто $r_{каб} \approx r_k$.

Для групи з n паралельно з'єднаних трансформаторів однакової потужності жила первинного кабеля буде мати перетин в n разів більший, а її опір c в n разів менший. Втрати активної потужності в кабелях такої групи:

$$\sum P_{екв} = m \left[n \left(\frac{\beta}{k} \right) I_{2НОМ} \right]^2 \left(\frac{r_k}{n} \right) = n \left(\frac{\beta}{k} \right)^2 b. \quad (7)$$

Сумарні втрати активної потужності в групі з n виробничих енергетичних трансформаторів технологічного призначення та відповідних їй кабелів

$$\sum \sum p_n = n \left[a + \left(\frac{\beta}{k} \right)^2 b \right] + n \left(\frac{\beta}{k} \right)^2 b = n \left[a + 2 \left(\frac{\beta}{k} \right)^2 b \right]. \quad (8)$$

Якщо в групі з n трансформаторів працює лише α трансформаторів, то втрати активної потужності в такій неповній групі і відповідних їй кабелях

$$\sum \sum p_d = d \left[a + \left(\frac{\beta}{k} \right)^2 b \right] + m \left(d I_{2ном} \frac{\beta}{k} \right)^2 \left(\frac{r_k}{n} \right) = d \left[a + \left(\frac{\beta}{k} \right)^2 b \right] + \frac{d^2}{n} \left(\frac{\beta}{k} \right)^2 b. \quad (9)$$

За умов роботи повної групи трансформаторів $d=n$ (9) перетворюється в (8).

Отримані нові зв'язки дозволяють провести порівняльні аналізи з застосуванням конкретизованого варіанта. Наприклад, в цеху потрібно щодобово виконувати технологічні операції з використанням 4000 кВт·год електроенергії при $k=0,9$ (механічні технології) та 4000 кВт·год електроенергії при $k=0,7$ (електро-фізико-хімічні технології). Технологічний процес потрібно організувати на базі двох однакових енергетичних трансформаторів, з'єднаних паралельно. Кожний з трансформаторів має $S_{2ном} = 630$ кВА; $a=1,56$ кВт; $b=7,6$ кВт. При цьому бажано мати мінімально можливі втрати активної потужності в трансформаторах та кабелях.

Наявні енергетичні можливості дозволяють організувати виробничий процес в одну 8-годинну робочу зміну. При цьому $\beta = 0,795$ і $k=0,785$; рівень загального середнього струмового навантаження $I_2 / I_{2ном} = \beta / k = 0,98$, тобто він знаходиться у припустимих межах. За (8) втрати активної потужності складають $\sum \sum p_n = 32,3$ кВт. За 8-годинну зміну буде витрачено $\sum \sum w_1 \approx 260$ кВт·год електроенергії.

Можна організувати роботу в дві або три зміни на основі аналізу можливих варіантів. Для порівняння розглянемо тризмінну роботу за таких умов:

Перша зміна - 4000 кВт·год при $k=0,9$ на двох трансформаторах;

Друга зміна - 2000 кВт·год при $k=0,7$ на одному трансформаторі;

Третя зміна - 2000 кВт·год при $k=0,7$ на одному трансформаторі.

Тоді втрати електроенергії за (8) за першу 8-годинну зміну $\sum w_1 = 49$ кВт·год. Втрати електроенергії за (9) за другу та третю 8-годинні зміни становитимуть по 42 кВт·год., разом за три зміни буде витрачено $\sum \sum w_3 = 133$ кВт·год.

Таким чином, різниця між втратами електричної енергії при однозмінній та тризмінній роботі становить

$$\Delta \sum \sum w = \sum \sum w_1 - \sum \sum w_3 = 127 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

При сучасних тарифах на споживання електроенергії близько 0,25 грн/(кВт·год) це складає економію за добу 31 грн.; за 300 робочих днів на рік - близько 9000 грн. Проведенні аналізи і розрахунки показують, що за певних конкретних виробничих обставин щодо застосування багатозмінності та раціональних навантажень виробничих трансформаторів, а також з урахуванням впливів споживання реактивних струмів, можна отримати економію коштів за оплату спожитої електроенергії. В майбутньому, при застосуванні знижених нічних тарифів, як це має місце у ряді інших держав, такі заходи даватимуть ще більшу економію коштів.

Література

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