

П.Ю.Красовський

(Україна, Дніпропетровськ, Національний гірничий університет)

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ДИНАМІКУ ТЕХНІЧНИХ ВТРАТ У ТРАНСФОРМАТОРАХ

Останнім часом у силу ряду причин, як технічних, так і економічних, втрати електроенергії в окремих розподільних мережах є досить істотними, незважаючи на загальне зниження електроспоживання [1]. У нових економічних умовах за рахунок обмеженості енергоресурсів в Україні, а також приватизації окремих енергетичних об'єктів втрати електроенергії перетворилися зі звичайного звітного показника в один з важелів керування економічною ефективністю роботи підприємств енергетичної галузі. Серед об'єктів, де спостерігаються надмірні втрати потужності й електроенергії, наприклад силові трансформатори, раніше не звертали особливої уваги.

Мета даної статті – виділення й обґрунтування факторів, що впливають на динаміку технічних втрат у силових трансформаторах.

Основними характеристиками, що визначають технічний рівень силових трансформаторів, є втрати електроенергії (втрати в сталі та обмотках), матеріалоємність (витрати електротехнічної та конструктивної сталі, обмотувального проводу, електроізоляційних матеріалів, трансформаторного масла тощо), якість виготовлення, надійність та зручність обслуговування під час експлуатації.

Втрати в сталі виникають внаслідок перемагнічування активної сталі та визначаються з досліду холостого ходу (втрати ХХ). Втрати в обмотках пропорційні квадрату струму навантаження і визначаються з досліду короткого замикання (втрати КЗ). Підвищення вартості електроенергії стимулює зниження як втрат ХХ, так і втрат КЗ. За останні 30 років втрати у виготовлених трансформаторах знижені в середньому на 50% [2].

Зниження втрат ХХ відбувалося завдяки:

- використанню високоякісних марок сталі;
- удосконаленню технології виготовлення магнітної системи і, особливо, технології різання сталі;
- вдосконаленню конструкції осердя і, перш за все, стиків листів сталі.

Отже, біля 50% втрат в сталі складають втрати на вихрові струми і 50% – на гістерезис, тому виробники намагаються зменшити товщину листів. Втрати можна зменшити і за допомогою використання новітніх технологій виготовлення трансформаторів. Так, останні розроблення з аморфної сталі завдяки зменшенню втрат, що виникають під час перемагнічування осердя трансформатора, дозволяють зменшити втрати в трансформаторах до 60%, хоча трансформатори, виготовлені з аморфної сталі, мають набагато важчі осердя і тому більші за розміром, ніж трансформатори традиційної конструкції.

Наприклад, для трансформатора із залізним осердям потужністю

250 кВ·А втрати в сталі складають, приблизно, 0,65 кВт, тоді як для трансформатора з аморфним осердям – тільки 0,215 кВт. Використання аморфного металу дозволяє знизити втрати в осерді трансформатора приблизно на третину (табл. 1).

Таблиця 1

Втрати потужності в трифазних трансформаторах

| Трансформатор, кВ·А | Втрати в осерді, Вт | | Втрати в обмотці, Вт | |
|------------------------|----------------------|-----------|----------------------|----------|
| | Кремнієво-металевому | Аморфному | Кремнієво-металевій | Аморфній |
| 300 | 516 | 167 | 1854 | 1538 |
| 750 | 864 | 269 | 4386 | 4088 |
| 1000 | 1129 | 374 | 5983 | 5626 |

Зниження навантажувальних втрат досягається зменшенням густини струму в проводі внаслідок збільшення площі його поперечного перерізу. Проте, це призводить до двох негативних наслідків: збільшення розмірів осердя і збільшення втрат від вихрових струмів.

Додаткові втрати у зовнішніх, відносно до обмоток, металевих частинах у сучасних трансформаторах можуть складати від 10 до 50% навантажувальних. Ці втрати викликані потоком розсіювання в обмотках і залежать від конфігурації обмоток і не залежить від густини струму. При зниженні втрат у проводі у навантажувальних втратах зростає частка додаткових втрат поза обмотками, особливо в трансформаторах з великим значенням опору КЗ. Екранування дозволяє знизити втрати в захищених деталях більш ніж на 50%.

За даними ВАТ "Укрелектроапарат" (м. Хмельницький) в Україні нині знаходиться в експлуатації 197360 трансформаторів. На основі аналізу технічного стану і характеристик трансформаторів потужністю 25-2500 кВ·А напругою до 35 кВ встановлено, що 75% з них було виготовлено у 1970-1980 роках.

Ці трансформатори морально застарілі і дають підвищені втрати ХХ і КЗ. Модернізація розподільних трансформаторів із використанням високоякісних матеріалів дозволила знизити втрат ХХ та КЗ порівняно з трансформаторами, виготовленими у 70-х роках (табл. 2).

Таблиця 2

Втрати в трансформаторах, виготовлених у різні роки

| Потужність, кВ·А | 25 | | | 63 | | | 100 | | | 250 | | | 630 | | | 1000 | | | 1600 | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1965 | 1975 | 2002 | 1965 | 1975 | 2002 | 1965 | 1975 | 2002 | 1965 | 1975 | 2002 | 1965 | 1975 | 2002 | 1965 | 1975 | 2002 | 1965 | 1975 | 2002 |
| Втрати ХХ (в сталі) Рх, кВт | 0,16 | 0,13 | 0,09 | 0,24 | 0,22 | 0,16 | 0,37 | 0,32 | 0,29 | 1,05 | 0,78 | 0,48 | 1,95 | 1,68 | 0,96 | 2,95 | 2,35 | 1,5 | 3,3 | 2,65 | 1,95 |
| Втрати КЗ (в міді) Рк, кВт | 0,68 | 0,65 | 0,63 | 1,45 | 1,4 | 1,24 | 2,35 | 2,22 | 1,9 | 3,9 | 3,7 | 3,7 | 7,8 | 7,6 | 7,6 | 11,5 | 10,8 | 10,2 | 16,5 | 16,5 | 16,0 |
| Маса, кг | 370 | 320 | 290 | 495 | 485 | 430 | 430 | 415 | 365 | 1280 | 1125 | 1020 | 2765 | 2340 | 1980 | 3950 | 3560 | 3250 | 5640 | 5640 | 4600 |

Заміна застарілих конструкцій трансформаторів на сучасні дозволяє значно скоротити втрати електроенергії в електромережах України.

Як приклад, за умови, що середня потужність трансформаторів, які експлуатуються в Україні, 250 кВ·А, зменшення втрат ХХ у разі використання нових трансформаторів лише для одного трансформатора складе $P_x = 0,78 - 0,48 = 0,3$ кВт. У разі повної заміни 197360 трансформаторів потужністю 25-2500 кВ·А випуску 1965-1980 років на нові модернізовані втрати під час трансформації зменшаться на

$$\Delta W = P_x \cdot C \cdot t_p \cdot 197360 = 25933100 \text{ дол США на рік,}$$

де C - ціна 1 кВт·год, що дорівнює 0,05 дол/кВт·год; t_p - тривалість роботи трансформатора протягом року; $t_p = 8760$ год.

Намагнічуюча потужність трансформаторів різко змінюється зі зміною напруги, яка підводиться. Для трансформаторів, якщо напруга змінюється в межах до 10% номінальної, намагнічуюча потужність змінюється пропорційно п'ятому ступеню і може бути визначена за формулою

$$Q = Q_n \left(1 \pm \frac{a}{100} \right)^5,$$

де Q_n - намагнічуюча потужність трансформатора при номінальній напрузі; a - зміна напруги, в % від номінальної.

При збільшенні реактивної потужності зростає струм холостого ходу

$$I_0 = \frac{3Q}{x_0},$$

що призводить, не тільки до збільшення магнітних втрат, а і електричних в опорах первинних обмоток.

При тривалій експлуатації силових трансформаторів втрати електроенергії в них змінюються внаслідок:

- старіння ізоляції трансформаторів через вплив на неї електричних, теплових і механічних факторів;
- старіння електротехнічної сталі магнітної системи;
- наявності третіх гармонійних магнітного потоку при деяких схемах з'єднання обмоток тристрижневих трансформаторів, що також збільшує втрати холостого ходу (за рахунок додаткових втрат у стінках бака та інших сталевих деталей);
- погіршення технічних параметрів трансформаторного масла відносно вмісту вологи, механічних домішок і т.д.;
- зміна величини і характеру навантаження трансформаторів, особливо у

випадку незначних і малих, а також при несиметричних і нелінійних навантаженнях;

– зміна окремих електричних і енергетичних параметрів трансформатора після ремонтів, що вимагає вхідного контролю параметрів таких трансформаторів перед їх установкою для постійної експлуатації;

– додаткових втрат в усіх елементах трансформатора (магнітній системі, обмотках, зовнішніх відносно до обмоток металевих частин тощо) із-за нелінійності, несиметрії та різкозмінності навантаження.

Крім цього втрати в трансформаторах не залишаються постійними внаслідок зміни величини і частоти живильної напруги, гармонійного складу струму обмоток тощо.

З часом втрати потужності в трансформаторі, як правило, збільшуються. Пояснити це можна процесами старіння електротехнічних матеріалів і трансформаторного масла (у масляних трансформаторах). Під впливом підвищеної температури і неперервної вібрації, обумовленою магнітострикцією, змінюється структура електротехнічної сталі. При цьому зменшується магнітна проникність і збільшується площа петлі гістерезису, що призводить до збільшення струму холостого ходу, включаючи його активну складову.

Старіння провідникових матеріалів обмоток трансформатора обумовлено зміною структури матеріалів природно і з-за тривалого впливу підвищеної температури. Разом з цим збільшується питомий опір провідників. З часом зростає товщина оксидної плівки на поверхні провідників, що зменшує їх поперечний переріз і збільшує загальний опір.

Процеси старіння є причиною того, що після п'яти років експлуатації сумарні втрати збільшуються, приблизно, на 10%, що призводить до зменшення ККД трансформатора.

Висновки

1. У нових економічних умовах втрати електроенергії перетворилися зі звичайного звітного показника в один з важелів керування ефективністю роботи підприємств енергетичної галузі.

2. Запропоновано зменшення втрат електроенергії шляхом використання новітніх технологій, наприклад використання аморфного металу для осердя трансформатора дозволяє знизити втрати потужності, приблизно, на третину.

Список літератури

1. Дерзский В.Г. Экспертиза структуры потерь электроэнергии в распределительных сетях Минтопэнерго // Энергетика и электрификация. -2002. - №4.-С. 18-22
2. Суходоля О.М. Энергобережения в трансформаторах //Энергопанорама. – 2002. – № 12. – С. 43-45