

*Сегеда М.С., Міняйло О.С., д-ри техн. наук,
Покровський К.Б., канд. техн. наук, Нітруца К.П.
(Україна, Львів, Національний університет "Львівська політехніка")*

ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛІДОВНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЙОГО ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ НА ШИНАХ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ БЛОКУ З АСТГ – 200

На деяких теплових і гідравлічних електростанціях, в схемах самозбудження, використовуються послідовні трансформатори (ПТ) [1]. Останнім часом мають місце спроби використати такі трансформатори в схемах живлення власних потреб (ВП) блоків теплових електростанцій з асинхронізованими турбогенераторами (АСТГ) [2], де ставиться завдання забезпечення автоматичного безконтактного регулювання напруги на шинах ВП блока з АСТГ – 200 під час зміни реактивного навантаження. Оскільки зменшення напруги генератора виникає в основному через зростання реактивного струму споживання, а збільшення – зростання реактивного струму генерування, то можна вибрати ПТ з таким значенням опору взаємоіндукції, яке забезпечить необхідний рівень напруги на шинах ВП. Використання такого способу живлення ВП буде сприяти підтриманню напруги на шинах ВП також під час різних видів коротких замикань в електричній мережі ВП. Крім того, досліджується можливість використання ПТ для підтримання бажаного рівня напруги на шинах ВП під час зовнішніх трифазних коротких замикань. А, між тим, намітилась тенденція відмови від використання таких трансформаторів в схемах самозбудження генераторів, де відсутність ПТ компенсується деяким збільшенням кратності форсування [3].

В роботі наведено оцінку характеристик ПТ типу ОСВ – 1000 УЗ щодо можливості використання його для регулювання напруги на шинах ВП блока з АСТГ–200. Трансформатор призначено для тиристорного перетворювача форсувальної групи вентилів [4].

Номінальна потужність ПТ визначається напругою та струмом вторинної обмотки, тобто

$$S_{\text{ном}} = U_{2\text{ном}} I_{2\text{Тном}}, \quad (1)$$

де $I_{2\text{ном}} = I_{2\text{Тном}}$; $I_{2\text{Тном}}$ – вторинний номінальний струм трансформатора власних потреб.

Вторинна обмотка послідовного трансформатора повинна вибиратися за струмом $I_{2\text{ном}}$. $U_{2\text{ном}}$ – вибирається з умови необхідного діапазону регулювання напруги. Отже, потужність послідовного трансформатора визначається тільки діапазоном регулювання напруги, а не необхідністю передачі потужності споживачам власних потреб.

Активна потужність, що споживається асинхронними двигунами ВП під час зміни напруги в межах $0,6 \div 1,0 U_{\text{ном}}$ залишається практично незмінною, але з

пониженням частоти зменшується [5]. Реактивна потужність, що споживається асинхронними двигунами з мережі складається з реактивної потужності намагнічення, що визначається характеристикою неробочого ходу і реактивною потужністю розсіювання, а саме

$$Q_{\text{АД}} = Q_0 + Q_p = \sqrt{3}I_0U_{\text{НОМ}} + \sqrt{3}I_0U_{\text{НОМ}} \sin \varphi. \quad (2)$$

Залежність реактивної потужності намагнічення від напруги і частоти наближено визначається за формулою

$$\frac{Q_0}{Q_{0\text{Н}}} = \frac{U_*^n}{f_*} \quad (3)$$

та реактивної потужності розсіювання – формулою

$$\frac{Q_p}{Q_{p\text{Н}}} = \frac{K_3^2 f_*^3}{U_*^2}, \quad (4)$$

де $n \geq 2 \div 4$ (звичайно $n = 2$); $U_* = U / U_{\text{НОМ}}$; $f_* = f / f_{\text{НОМ}}$; K_3 – коефіцієнт завантаження.

Пропорційна зміна напруги і частоти спрощує ці залежності, тобто

$$Q_0 / Q_{0\text{НОМ}} \approx U_* \text{ та } Q_p / Q_{p\text{НОМ}} \approx K_3^2 f_*. \quad (5)$$

Таким чином, реактивна потужність, що споживається двигунами зі змінною напруги та частоти змінюється за законом (рис.1), але зниження напруги за постійної частоти завжди приводить до деякого її зменшення.

Більш різке зниження реактивної потужності виникає під час одночасного зниження напруги і частоти в системі. В обох випадках це явище носить назву „регулюючого ефекту навантаження” і сприяє збільшенню запасів стійкості асинхронних двигунів в аварійних режимах, що пов’язано з пониженням напруги.

З розгляду зміни потужностей під час зміни напруги та частоти видно, що в межах експлуатаційних відхилень напруги і частоти, реактивна потужність зростає не більше як на 10-15%. У випадку глибоких знижень напруги, що може бути під час коротких замикань в електричній мережі ВП, реактивна потужність зростає в 1,7-1,8 разів, але тривалість такого навантаження визначається часом роботи релейного захисту. Перевантаження трансформатора власних потреб під час цього буде в межах допустимого. Отже, на послідовний трансформатор не може покладатися функція передачі потужності, а лише регулювання напруги.

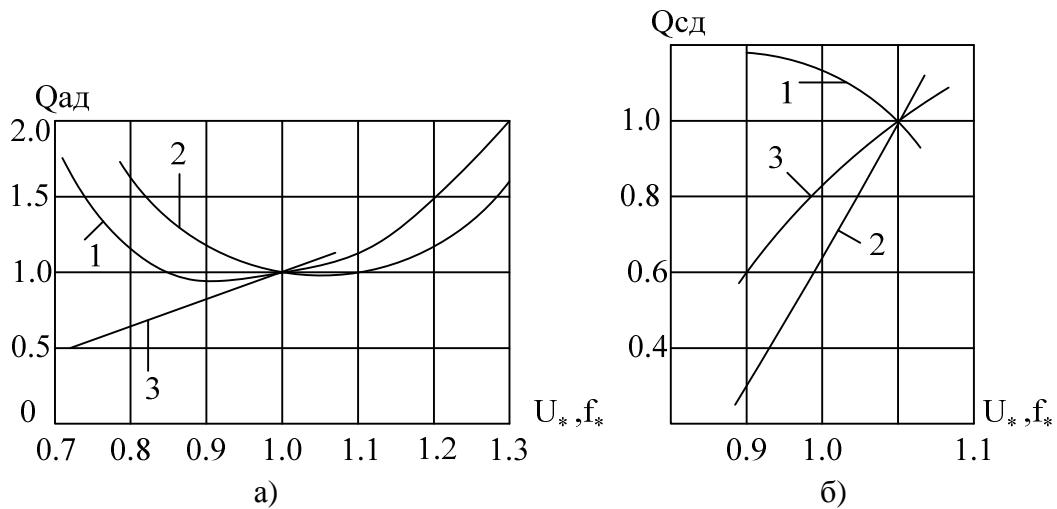


Рис. 1. Залежність реактивної потужності двигуна від напруги та частоти:
 а) – асинхронних; б) – синхронних; 1) – $U_* = \text{var}, f_* = 1.0 = \text{const}$;
 2) – $U_* = 1.0 = \text{const}, f_* = \text{var}$; 3) – $U_* = f_* = \text{var}$

Вагові показники послідовних трансформаторів
 Трансформатор ОСВ-10000УЗ має потужність:

$$S_{\text{НОМ}} = U_{2\text{НОМ}} I_{2\text{НОМ}} = 141 \cdot 1000 = 141000 \text{ В} \cdot \text{А} = 141 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Маса трьох трансформаторів ОСВ-10000УЗ:

$$G = G_1 \cdot 3 = 4750 \cdot 3 = 14250 \text{ кг} = 14,25 \text{ т},$$

де $G_1 = 4750 \text{ кг}$ – маса одного трансформатора.

Питомий ваговий показник:

$$g_0 = \frac{G}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{14,25 \cdot 10^3}{141 \cdot 3} = \frac{14,25 \cdot 10}{423} = 33,68 \frac{\text{кг}}{\text{кВ} \cdot \text{А}}.$$

Аналогічний показник для силового трансформатора ТСЗ-160/10 становить 8,75 кг/кВ·А, а для трансформатора ТСЗ-1700/15 — 4,25 кг/кВ·А.

Для трансформаторів маса $G \equiv S^{\frac{3}{4}}$, для ПТ за умови $G \equiv S^{\frac{3}{4}}$ маса активних матеріалів в залежності від потужності зростає, як показано на рис. 2.

Якщо питомий ваговий показник витрат активних матеріалів (сталі і міді) не залежить від потужності чи пропорційний потужності в ступені більшому 0,75, то зростання ваги активних матеріалів під час збільшення потужності трансформаторів буде більшим. Так у випадку

$$S_{\text{НОМ}} = 10000 \text{ кВ} \cdot \text{А} \Rightarrow G = 10000 \cdot 33,68 = 336,8 \text{ т}.$$

Якщо необхідно збільшити напругу вторинної обмотки U_{2H} приблизно в 7 разів, що складає біля 1кВ, то потужність досягне 1000 кВ·А. Під час цього вагові параметри трьох однофазних ПТ наближаються до ваги трансформатора власних потреб.

Особливістю роботи ПТ є те, що у вторинній обмотці під дією результуючої ЕРС, що утворюється ЕРС E_2 ПТ і $E_{2ВП}$ трансформатора ВП протікає результуючий струм, що значно відрізняється від I_2 , що протікав би під дією ЕРС E_2 ПТ.

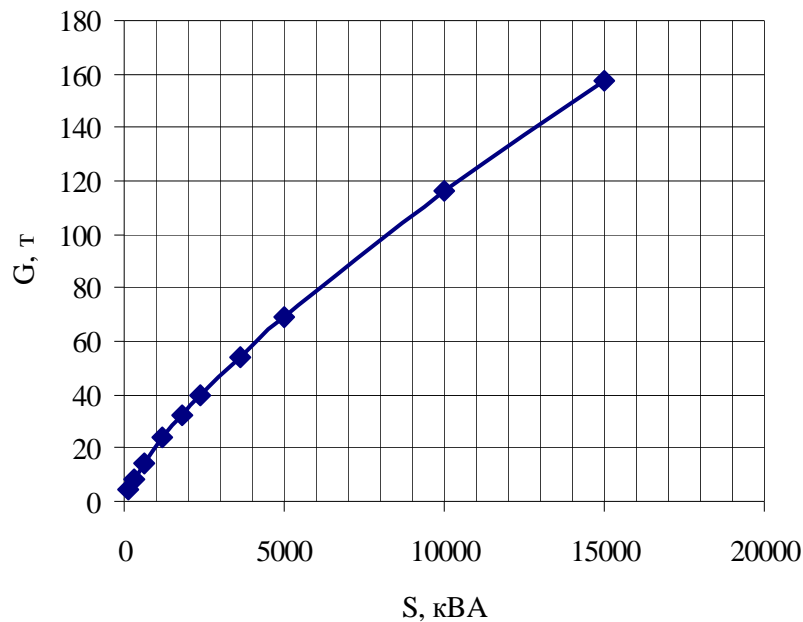


Рис. 2. Залежність маси активних матеріалів послідовних трансформаторів

від потужності за умови $G \propto S^{\frac{3}{4}}$

Магнітопровід послідовного трансформатора зібраний з двох ярм і двох стрижневих колон. Колони зі ступінчастим повітряним зазором виконані з окремих пакетів листового заліза висотою 100 мм і розділені між собою ізоляційними прокладками, висота яких коливається від 2 до 10 мм. Найближчі до ярма зазори мають висоту 2 мм. Всього в кожній колоні по 12 зазорів. Таке виконання магнітопроводу ускладнює його кріплення і стяжку. Розподіл повітряного зазору вздовж стрижня необхідне для рівномірного навантаження всіх паралельних віток обмоток. За наявності великого зосередженого зазору, найближчі до нього вітки мали б меншу індуктивність, ніж віддалені, і тому працювали би з перевантаженням.

Первинна і вторинна обмотки виконані розщепленими. Первинна обмотка розщеплюється для ізольованого підключення паралельних віток генератора. ПТ встановлюється поблизу нульових виводів генератора і з'єднується з ними закритим шинопроводом.

Якщо припустити, що зазори в кожній колоні становлять 2, 3, 4, 6, 8, 10, 10, 8, 6, 4, 3, 2 мм, кількість пакетів 11 загальною висотою $100 \times 11 = 1100$ мм,

сумарне значення повітряних проміжків в стрижневій колоні $(2+3+4+6+8+10) \times 2 = 66$ мм, висота стрижневої колони з зазорами $1100+66=1166$ мм. Повна висота стрижневої колони $1845-624=1221$ мм, віддаль від найближчого зазору до ярма $(1221-1166)/2=55/2=27,5$ мм, тоді середнє значення індукції в стрижні [7] можна визначити за виразом

$$B_x = \frac{1,78(IW)}{nl_x} = \frac{1,78 \cdot 8630 \cdot 6}{6,6} = 13964,9 \approx 1396 \text{ Гс},$$

де IW – н.с. для немагнітного проміжку nl_x ; n – кількість проміжків; l_x – довжина проміжку.

ПТ можуть працювати з розімкненою вторинною обмоткою за будь-якого значення первинного струму. В такому режимі роботи необхідно, щоб опір послідовного трансформатора був досить малим. З цією метою послідовні трансформатори виконуються з повітряним проміжком, завдяки чому і мають досить складну конструкцію і великі габарити.

Під час регулювання напруги трансформатора ВП, вторинна обмотка ПТ завжди замкнена на навантаження. За такого режиму знімається вимога малого значення опору послідовного трансформатора, а, отже, дещо спрощується конструкція такого трансформатора і зменшуються його габарити.

Висновки

1. ПТ має значно вищі вагові показники порівняно зі звичайним силовим трансформатором і у межах регулювання напруги $\pm 12\%$, його вага співмірна з трансформатором ВП.

2. Оскільки вторинна обмотка ПТ завжди замкнена і трансформатор призначений для роботи при струмах близьких до номінальних, то конструкція трансформатора може бути дещо спрощена.

Список літератури

1. Васильев А. А., Крючков И. П., Наяшкова Е. Ф. и др. Электрическая часть станций и подстанций. Под ред. Васильева А. А. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
2. Міняйло О. С. Спосіб живлення власних потреб блока з асинхронізованим або асинхронним генератором. Патент на винахід N32558, UA, H 02 j 11/00 заявлено 26.12.94, №94128191 – 4с. Опубліковано 15.02.2001. Бюл. №1.
3. Осин И. Л., Шакарян Ю.Г. Электрические машины. – М.: Высш. шк., 1990. – 304с.
4. Паспорт виробу 3.3.5200 Уральського електроапаратного заводу. Трансформатор сухий типу ОСВ – 1000 УЗ.
5. Мотыгина С. А. Эксплуатация электрической части тепловых электростанций. М.: «Энергия» 1968. – 568 с.
6. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов для дуговых электрических печей. – М.: Л.: Госенергоиздат, 1959. – 207 с.