

ОЦІНКА СКЛАДОВОЇ АРГУМЕНТУ ФУНКЦІЇ ПЕРЕДАЧІ В СХЕМАХ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

Білаш І. П.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка**Сформульовано підхід до визначення оптимальних параметрів схеми регулювання напруги трансформаторів під навантаженням.*

Постановка проблеми. Трансформатори з регулюванням напруги під навантаженням (РПН) – це найбільш ефективний засіб централізованого регулювання напруги в розподільчих мережах. Особливої ефективності централізоване регулювання досягає при однотипних графіках навантаження споживачів енергії [1].

Зростання цін на енергію обумовлює, а введення багатозонного обліку енергії сприяє зміні режимів роботи окремих виробництв. Одночасно з цим зростають вимоги споживачів енергії до якості та надійності електропостачання. Трансформатори, регулювання напруги яких під навантаженням здійснюється перемиканням виводів обмоток, не задовольняють сучасним вимогам щодо якості та надійності. Перемикання в колах струмів навантаження і високої напруги супроводжується електричною дугою, що викликає інтенсивне руйнування контактів пристроїв перемикання і є одною з головних причин пошкодження обмоток трансформаторів. Тому такі пристрої РПН недостатньо надійні, складні і дорогі. Їх ресурс надто обмежений, а обслуговування являє значну трудність [2] і вимагає виводу з роботи силового трансформатора.

Вказані недоліки пристроїв РПН викликають необхідність пошуку нових прогресивних рішень щодо способу регулювання напруги трансформаторів під навантаженням. В основу такого рішення (в даній роботі не розглядається) покладене відоме положення, згідно з яким, значення е.р.с., що індуктується у вторинній обмотці трансформатора, є похідною від результуючого потокозчеплення за часом. Змінюючи результуюче магнітне поле досягаємо бажаного ефекту регулювання напруги трансформатора. Але при цьому виникає ряд задач відносно діапазону регулювання в мережах з різнотипним навантаженням, якості регулювання, стійкості і т. ін.

Якість регулювання напруги залежить від узгодженості і точності визначення параметрів схеми зміни магнітного поля в сталі трансформатора, які визначаються у відповідності із значенням функції передачі. Складовою частиною аргументу функції передачі є кут δ між векторами е.р.с. фази вторинної обмотки і вторинної фазної напруги. Його значення залежать від параметрів вторинної обмотки трансформатора, значення струму навантаження, коефіцієнта потужності та значення напруги первинної мережі.

В зв'язку з тим, що рівень первинної напруги може змінюватись, а також не залишаються незмінними режим навантаження та коефіцієнт потужності, вини-

кає запитання: яке значення кута δ прийняти в розрахунках параметрів схеми регулювання напруги, щоб якість регулювання в повній мірі відповідала вимогам, а відхилення величини кута від значення, прийнятого за оптимальне, не погіршували в значній мірі якість регулювання?

Розглянемо цю задачу на прикладі конкретного трансформатора ТМ-2500/35, в конструкцію якого, наприклад, можна було б внести додаткові можливості для регулювання напруги під навантаженням.

Трансформатор характеризується слідуєчими даними, значення яких пояснювати немає потреби:

$$S_n = 2500 \text{ кВА}, U_{1n}/U_{2n} = 35/10,5 \text{ кВ}, u_k = 6,5\%$$

$$P_{xx} = 5,1 \text{ кВт}, P_{кз} = 25 \text{ кВт}, i_0 = 1,1\%$$

На основі вказаних даних параметри трансформатора, приведені до вторинної напруги: активний опір $R_r = 0,4410 \text{ Ом}$, повний опір $Z_r = 2,8665 \text{ Ом}$, реактивний (індуктивний) опір $X_r = 2,8324 \text{ Ом}$.

Параметри вторинної обмотки, приведені до вторинної напруги: активний опір $R_{r2} = 0,2205 \text{ Ом}$, індуктивний опір $X_{r2} = 1,4162 \text{ Ом}$.

Номинальний вторинний струм трансформатора

$$I_{2n} = 137,4643 \text{ А}$$

Будемо вважати, що на основі даних експлуатації районної трансформаторної підстанції відомо, що навантаження трансформатора знаходиться в межах

$$I_2 = (0,25 \dots 1,0) I_{2n}$$

і приймає значення:

$$I_2 = 0,25 I_{2n} = 34,3661 \text{ А},$$

$$I_2 = 0,50 I_{2n} = 68,7322 \text{ А},$$

$$\text{Мода } I_2 = 0,625 I_{2n} = 85,9152 \text{ А},$$

$$I_2 = 0,75 I_{2n} = 103,0983 \text{ А},$$

$$I_2 = I_{2n} = 137,4643 \text{ А}$$

На основі показів приладів обліку енергії встановлені межі зміни коефіцієнта потужності навантаження $\text{Cos}\varphi = 0,80 \dots 0,95$, причому, при мінімальних значеннях навантаження коефіцієнт потужності також має

найменші значення. При зростанні навантаження він зростає і досягає максимальної величини при максимальному навантаженні.

Потреба в регулюванні напруги зростає із збільшенням навантаження. При цьому виникає необхідність підвищувати напругу за рахунок підсилення магнітного поля в сталі трансформатора, що повинно досягатись приєднанням елементів схеми регулювання.

При зменшенні навантаження втрати напруги на всіх ділянках схеми електропередавання зменшаться, рівень напруги на стороні первинної напруги почне зростати. Регулювання при цьому буде здійснюватись послабленням магнітного поля в сталі і повинне досягатись відключенням елементів схеми регулювання.

Дослідимо зміну кута δ в залежності від величини навантаження і коефіцієнта потужності.

Активна складова струму навантаження

$$I_{2a} = I_2 \cos \varphi, \quad (1)$$

реактивна складова

$$I_{2p} = I_2 \sin \varphi \quad (2)$$

Комплекс діючого значення падіння фазної напруги вторинної обмотки

$$\Delta \vec{U}_{T2} = \vec{I}_2 Z_{T2} = (I_{2a} - j I_{2p})(R_{T2} + j X_{T2}) = I_2 z_{T2} e^{j(\varphi_m - \varphi)}, \quad (3)$$

де Z_{T2} , z_{T2} - комплексний опір фази вторинної обмотки трансформатора та його модуль (відповідно), Ом;

φ_T - кут опору вторинної обмотки трансформатора, ел. градусів;

φ - кут опору навантаження, ел. градусів.

Активна складова падіння фазної напруги вторинної обмотки

$$\Delta U_{T2a} = I_2 z_{T2} \cos(\varphi_T - \varphi), \quad (4)$$

і реактивна складова

$$\Delta U_{T2p} = I_2 z_{T2} \sin(\varphi_T - \varphi), \quad (5)$$

Діюче значення фазної напруги вторинної обмотки

$$U_{T2} = U_n / \sqrt{3} = 10500 / \sqrt{3} = 6062,1778 \text{ В}$$

При значенні початкової фази фазної напруги, рівній нулю, комплекс діючого значення

$$\vec{U}_{T2} = 6062,1778 e^{j0} \text{ В}$$

Комплекс діючого значення е.р.с. вторинної обмотки рівний сумі комплексів напруги на вторинній обмотці і падіння напруги

$$\vec{E}_{T2} = U_{T2} + \Delta U_{T2a} + j \Delta U_{T2p} \quad (6)$$

Діюче значення фазної е.р.с. вторинної обмотки

$$E_{T2} = \sqrt{(U_{T2} + \Delta U_{T2a})^2 + (\Delta U_{T2p})^2}, \quad \text{В} \quad (7)$$

Значення кута δ , як складової частини аргумента функції передачі

$$\delta = \arctg\{\Delta U_{T2p} / (U_{T2} + \Delta U_{T2a})\} \quad (8)$$

Комплексний опір вторинної обмотки трансформатора

$$Z_{T2} = 0,2205 + j1,4162 = 1,4431 e^{j81,15019752^\circ} \text{ Ом},$$

а кут опору трансформатора $\varphi_T = 81,1502$ ел. градуса.

Результати розрахунків приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення кута δ , як складової частини аргумента ψ функції передачі

Cosφ, в.о.	$\delta = F(R_{T2}, X_{T2}, I_2, \text{Cos}\varphi)$, ел. гр., при значеннях струму навантаження				
	$I_2 = 0,25 I_{2н}$	$I_2 = 0,50 I_{2н}$	$I_2 = 0,625 I_{2н}$	$I_2 = 0,75 I_{2н}$	$I_2 = I_{2н}$
0,95	0,413	0,823	1,027	1,230	1,634
0,90	0,381	0,758	0,946	1,132	1,503
0,85	0,351	0,699	0,872	1,043	1,383
0,80	0,323	0,643	0,801	0,958	1,270

При зростанні навантаження від мінімального збільшаться втрати напруги в лінії 35 кВ, що живить районну трансформаторну підстанцію (РТП), напруга на прийомних шинах 35 кВ зменшиться. Це приведе в дію устрій регулювання напруги: вступить в дію елемент схеми регулювання 1-ї ступені.

З подальшим зростанням навантаження будуть вступати в дію елементи слідуєчих за 1-ю ступеней, але елемент 1-ї ступені при цьому буде знаходитись в дії, тобто буде залишатись ввімкнутим.

При падінні навантаження будуть зменшуватись втрати напруги в лінії 35 кВ, напруга на прийомних шинах РТП буде зростати. Схема керування пристроєм РПН в цьому випадку буде відключати елементи схеми регулювання в такому порядку: спочатку елементи найвищих ступеней, що були задіяні, потім елементи нижчих ступеней. Елемент 1-ї ступені буде відключений останнім.

Отже, якщо кут δ при роботі трансформатора з мінімальним навантаженням і найнижчим значенням коефіцієнта потужності був рівним 0,323 ел. градуса, то при зростанні навантаження і коефіцієнта потуж-

ності до максимальних значень він досягав 1,634 ел. градуса.

При зменшенні навантаження і зменшенні значення коефіцієнта потужності кут δ зменшувався від 1,634 до 0,323 електричних градуса.

Отже, для 1-ї ступені регулювання діапазон значень кута складатиме

$$\delta = 0,323 \dots 1,634 \text{ ел. градуса}$$

Якщо аргумент функції передачі схеми регулювання рівний, наприклад, $\Psi = 2\pi/3 + \delta$, а параметри схеми регулювання окремих ступеней прямо пропорційні значенню $\text{Sin}(\psi/2)$, то

$$\text{Sin} \{(120+0,323)/2\} = 0,867431315,$$

$$\text{Sin}\{(120+1,634)/2\} = 0,873066789.$$

Середнє значення

$$\text{Sin}(\psi/2) = 0,87024905,$$

що буде відповідати значенню кута $\delta = 0,9751872$ електричних градуса.

Отже, при визначенні параметрів елементів першої ступені регулювання в розрахунках слід прийняти значення кута $\delta = 0,9751872$ електричних градуса.

Відхилення значення $\text{Sin}(\psi/2)$ буде складати

$$\Delta = \pm 0,002817739,$$

Що в процентному відношенні буде рівне

$$\Delta\% = 0,289\%$$

Елементи слідує за 1-ю ступеней регулювання будуть вступати в дію при більшому навантаженні з більш високим значенням коефіцієнта потужності, а значить і при більших значеннях кута δ , а відключатись раніше, ніж елемент 1-ї ступені, коли значення кута δ менше максимального значення. Тому діапазон значень кута δ для цих ступеней буде зменшуватись.

Остання ступень регулювання буде приводитись в дію при максимальних навантаженнях, а відключатись при спаданні навантаження першою. Тому при розрахунках параметрів схеми регулювання напруги останньої ступені буде прийматись значення кута δ , близьке до максимального ($\delta \rightarrow 1,634$ ел. градуса). Його значення буде залежати від кількості ступеней регулювання і ширини кожної із ступеней.

Якщо б, наприклад, схема регулювання складалась із 10-ти ступеней, то 10-та ступень вводилась би в дію при значеннях кута

$$\delta = (1,503 \dots 1,634) \text{ ел. градуса},$$

при цьому

$$121,503 \leq \psi \leq 121,634 \text{ ел. градуса},$$

$$\text{Sin} (121,503/2) = 0,872508798,$$

$$\text{Sin} (121,634/2) = 0,873066789,$$

Середнє значення

$$\text{Sin}(\psi/2) = 0,872787793,$$

якому б відповідало значення кута

$$\delta = 1,5684664 \text{ ел. градуса}.$$

Відхилення значень $\text{Sin}(\psi/2)$ в такому випадку склали б 0,000278996, що в процентах рівне 0,032%.

Висновки. 1. Граничні значення кута δ , як складової частини аргументу функції передачі, залежать від параметрів трансформатора, величини навантаження та коефіцієнта потужності.

2. Значення кута δ , що повинне прийматись в розрахунках параметрів окремих ступеней регулювання напруги трансформатора під навантаженням, залежить від кількості ступеней регулювання та від порядкового номера ступені.

3. Кожна із ступеней регулювання повинна розраховуватись, виходячи із діапазону значень кута δ , відповідного діапазону значень навантаження, при яких вона буде знаходитись в роботі.

4. Із зростанням номера ступені регулювання при збільшенні навантаження діапазон значень кута δ зменшується, а вплив відхилень на точність визначення параметрів стає менш чутливим.

Список використаних джерел

1. Баркан Я. Д. Автоматизация регулирования напряжения в распределительных сетях / Я. Д. Баркан – М.: Энергия, 1971, 2, – 32 с.

2. Перетятко В. А. Автоматика РПН. Некоторые вопросы эксплуатации / В. А. Перетятко – Электрические сети и системы, № 5, 2007, с. 68–90.

Аннотация

ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩЕЙ АРГУМЕНТА ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ В СХЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД НАГРУЗКОЙ

Белаш И. П.

Сформулирован подход к определению оптимальных параметров схемы регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой.

Abstract

ESTIMATION OF CONSTITUENT OF ARGUMENT OF FUNCTION OF TRANSMISSION IN CHARTS OF ADJUSTING OF TENSION OF TRANSFORMERS ON LOADING

I. Bilash

Going near determination of optimum parameters of chart of adjusting of tension of transformers is formulated on-loading.