

НОВЕ ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ ПРИСТРОЮ РПН СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Хоменко І. В., Стасюк І. В., Єгоров А. В., Масленніков А. М., Дунєв О. О.

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Встановлено, що одним із способів підвищення надійності роботи силового трансформатора є підвищення надійності роботи його пристрою регулювання під навантаженням (РПН). Для підвищення надійності розглядається можливість його розробки на базі двигуна з ротором що котиться (ДРК). Проведено критичний аналіз сучасних пристроїв РПН і пропонується технічне рішення. На основі загальної теорії електромагнітного поля розроблена методика і алгоритм розрахунку нових типорозмірів ДРК для пристроїв РПН силових трансформаторів. Представлена перспектива розвитку нового пристрою РПН.

Постановка проблеми. Трансформаторне обладнання є одним з найважливіших елементів електричної мережі. З точки зору ефективного управління режимом мережі найбільший інтерес для фахівців представляє система регулювання напругою трансформатора. Це обумовлено тим, що рівні напруги в вузлових точках електричної мережі спільно з компенсацією потоків реактивної потужності в основному визначають втрати потужності і втрати напруги в цих мережах. Тому надійна експлуатація пристроїв регулювання напруги є важливою науково-технічною задачею над якою працює значна кількість фахівців як у нас в країні, так і за кордоном.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пристрій регулювання напруги силових трансформаторів під навантаженням (РПН) по своєму виконанню є складним і часто недостатньо надійним вузлом силового трансформатора. В той же час РПН може привести до серйозного пошкодження трансформатора в цілому, а в крайньому випадку - до пожежі і вибуху. Відомо, що до 40% катастрофічних аварій трансформаторів пов'язані з ушкодженнями РПН. Найбільш ненадійними елементами сучасних пристроїв РПН, як показав аналіз ушкоджень, є пошкодження приводів. Цей вид ушкоджень найбільш часто зустрічається в експлуатації.

Відомими приводами РПН є моторні приводи типу ED 100, 200 (MR, Німеччина), МЗ 4.1, 4.4 (ННІ, Болгарія), ПДП (ЗТЗ, Україна), які являють собою поєднання високошвидкісного електродвигуна, знижуючого механічного редуктора, магнітного пускача та різних елементів електричної схеми управління. Такі типи приводу поширені в РПН типу РНТ, РНОА, SCV1, РС [1].

Достатньо розповсюдженим є моторний привід РПН типу ПЕА-1, в якому високошвидкісний електродвигун і знижуючий редуктор замінені на вентиляційний електродвигун з постійними магнітами (BLDC) [2]. Його застосування дозволяє безпосередньо з'єднати вал вентиляційного двигуна з валом РПН (без редуктора), тим самим підвищити надійність роботи, проте, виробництво подібного двигуна необхідно проводити з високим ступенем точності, а наявність постійних магнітів негативно позначається на вартості моторного приводу в цілому.

Відомо також використання електродвигуна типу двигуна з ротором, що котиться (ДРК), як моторного приводу без використання редуктора [3]. Даний тип

електродвигунів можна поділити на двигуни з ротором, що котиться, з обертовим магнітним полем та з дискретним магнітним полем.

Мета статті. Пропонується спосіб підвищення надійності роботи пристроїв РПН за рахунок використання в їх конструктивному виконанні двигуна з ротором що котиться.

Основні матеріали досліджень. Одним з перспективних способів підвищення надійності роботи пристроїв РПН є використання в їх конструктивному виконанні двигуна з ротором що котиться. Двигун з ротором що котиться - це електромеханічний перетворювач, обертаюча частина якого - ротор має механічний контакт з нерухою частиною - статором. Під дією модульованого обертового (рухомого) магнітного поля і сили тертя ротор здійснює ексцентричний або процесійний рух відносно центру маси нерухої частини статора.

Електромагнітні процеси, які протікають у ДРК, описуються такими рівняннями:

1. Рівняннями Максвелла

$$\operatorname{rot} H = \frac{\partial D}{\partial t} + \delta, \quad \operatorname{div} D = \rho_s \quad (1)$$

і:

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad \operatorname{div} B = 0$$

2. Рівняннями електричного кола обмотки статора

$$u = i \cdot r + \frac{d\Psi}{dt}, \quad (2)$$

3. Зв'язком між напруженістю і індукцією магнітного поля

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}. \quad (3)$$

В результаті за допомогою даних рівнянь описується характер поширення магнітної індукції у повітряному зазорі машини, а так само у її магнітопроводі. Після чого визначаються механічні складові двигуна,

а саме, сила одностороннього магнітного тяжіння і момент

$$P = \frac{B^2}{2 \cdot \mu_0} \cdot S_Z, \quad (4)$$

де μ_0 – магнітна постійна середовища протікання магнітних процесів;

S_Z – площа магнітопроводу, через яку замикається основний магнітний потік.

$$M = P \cdot \frac{D_r}{2} \cdot \sin \theta, \quad (5)$$

де D_r – діаметр ротора досліджуваного ДРК;

θ – кут навантаження ДРК.

Механічні процеси, що протікають в ДРК дуже впливають на характер розподілу магнітного поля в повітряному зазорі машини, внаслідок його нерівномірності і постійного механічного контакту між статором і ротором. Ці механічні процеси викликають втрати моменту, які виражаються у вигляді втрат на тертя в точці контакту і механізму передачі неспіввісного обертання, облік і вплив на основний момент двигуна яких виражається в моменті опору. Дана математична модель ДРК дозволяє якісно проаналізувати роботу двигуна і визначити його вихідні параметри [4].

Якщо казати про застосування ДРК у пристроях РПН, то реалізація такого застосування є актуальним завданням, так як, наприклад, пара АД і низькообертовий редуктор у цих пристроях може бути замінена одним більш надійним електромеханічним перетворювачем енергії - ДРК, з урахуванням своїх конструктивно-технологічних переваг. Проведено порівняльний аналіз використання ДРК у пристроях РПН силових трансформаторів.

Аналіз теоретичних і практичних досліджень може бути використаний для розробки загальної концепції побудови РПНу нового типу на базі ДРК. Ця концепція складається з декількох етапів і виражається в наблизенні цих технічних рішень, в поєднанні їх технологічних характеристик і можливостей. Позитивні ефекти, що виражаються в підвищенні надійності, простоти та технологічності пристроїв РПН, отримуються за рахунок використання технологічних властивостей ДРК.

Підтвердженням цього є розробка автоматизованого пристрою регулювання напруги трансформатора під навантаженням. Таке технічне рішення містить контакторну групу та вибирач. Додатково він доповнений прямим моторним приводом для автоматизованого переключення силових контактів вибирача, виконаним на базі високомоментного низькообертового електродвигуна з ротором, що котиться.

Таке технічне рішення може бути використане для прямого приводу в системі автоматичного регу-

лювання коефіцієнта трансформації трансформатора під навантаженням.

Безумовними перевагами даних моторних приводів є наочна панель індикації, яка інформує про положення перемикачів, відсутність ремінної передачі, використання нагрівача, живлення від трифазної мережі.

До недоліків таких моторних приводів можна віднести наявність значного пускового струму у розмірі $(5-7)I_N$, необхідність електромагнітного гальмування для зниження величини вибігу вала, наявність зношуваності механічних частин, що впливає на надійність роботи пристрою в цілому.

В основу нашої розробки поставлена задача зменшення кількості ланок конструкції і, як наслідок, підвищення надійності та точності позиціонування вала моторного приводу РПН.

Поставлена задача вирішується тим, що відомий автоматизований пристрій регулювання напруги трансформатора під навантаженням доповнений прямим приводом, виконаним на базі високомоментного низькообертового електродвигуна з ротором, що котиться. Моторний привод, з'єднувальна муфта, конічний редуктор, вертикальний та горизонтальний вали включаються з конструкції РПН, а механічну потужність, яка необхідна для перемикачів перемикача, створює двигун з ротором, що котиться, який безпосередньо приєднується до кулачкового механізму перемикача. Суть технічного рішення пояснюють креслення.

На рис. 1 показано, що у всіх типах РПН моторний привід 1 розташовується вертикально, з'єднується муфтою 2 з вертикальним валом 3 і за допомогою конічних редукторів 4 передається обертаючий момент горизонтальному валу 5 перемикача 6.

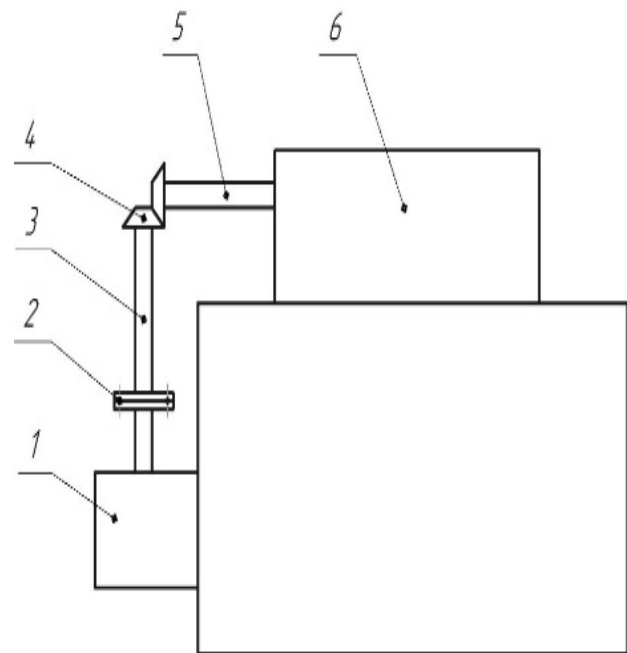


Рисунок 1 – Конструкція моторного приводу РПН

На рис. 2 приведена кінематична схема автоматизованого перемикача.

Пристрій містить двигун з ротором, що котиться, 1, який з'єднується через муфту 2 безпосередньо з валом 3 одnobічних кулачків 4, які замикають контакти контактора лівого і правого плеча 5, 6, відповідно.

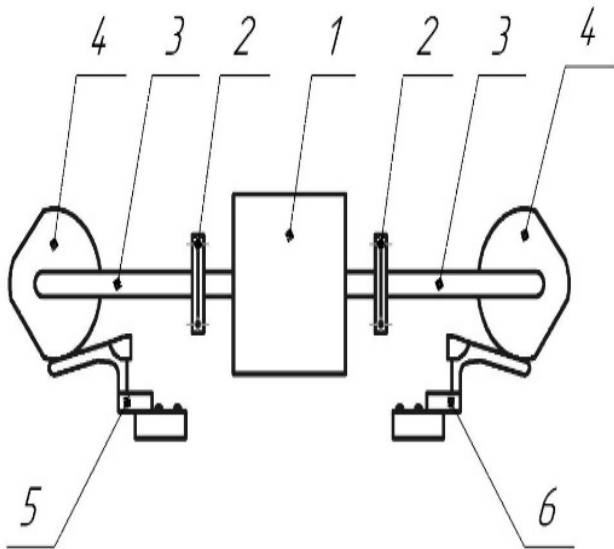


Рисунок 2 – Кінематична схема автоматизованого перемикача

Пристрій працює таким чином. При включенні двигуна з ротором, що котиться, 1, створюється достатня механічна потужність, яка через муфту 2 передається на вал 3 одnobічних кулачків 4, які, в свою чергу, замикають контакти контактора лівого і правого плеча 5, 6, відповідно.

Вживання двигуна з ротором, що котиться, дозволило зменшити число ланок конструкції підвищити надійність та швидкодію автоматизованого пристрою РПН, а також відмовитися від механічної передачі [5].

Критичний аналіз сучасних пристроїв РПН і пристрою регулювання напруги з використанням ДРК. Розглянемо конструкцію пристрою РПН з приводом типу РС-3. У ньому асинхронний двигун (АД) за допомогою черв'ячної передачі приводить в рух головний вал. Живлення двигуна здійснюється трифазним змінним струмом через автоматичний вимикач. Циклічність роботи приводу забезпечується багаторазовим колійним вимикачем. Внаслідок інерції мас, що обертаються і нескладних комутацій забезпечується кожна операція перемикачання. Запуск приводу здійснюється за допомогою імпульсу, який управляє. Автоматичне управління здійснюється за допомогою постійного імпульсу. Привід налагоджується до введення трансформатора до експлуатації. Місця проходження вала через отвір в баку трансформатора ущільнюються сальниками, швидкий вихід яких з ладу обумовлюється нерівностями на поверхнях вала. У місцях проходження вала його поверхню необхідно шліфувати з метою запобігання течі масла редуктора. Після монтажу приводу на трансформатор знімають кругову діаграму РПН і виконують інші налагоджувальні роботи відповідно до заводської інструкції.

Як показує досвід експлуатації недоліками такої конструкції є:

1. наявність громіздкого електричного приводу (АД + редуктор)
2. не технологічність експлуатації редуктора (наявність мастильних матеріалів)
3. додатковий підігрів пристрою РПН
4. наявність режиму вибігу АД.

Достатньо технологічним є пристрій німецької фірми типу MR OILTAP® MSE 340 з моторним приводом TARMOTION® ED. Моторний привід модульного виконання призначений для узгодження робочого положення пристрою РПН. Перемикачання на ступінь виконується завдяки включенню моторного приводу одиночним керуючим імпульсом. Процес перемикачання завершується примусово, незалежно від того, чи були представлені інші керуючі імпульси. Наступне перемикачання можливо тільки після зупинки приводу. Нагрівач для видалення конденсату виконаний у вигляді поверхневого електрорадіатора. Цей засіб обігріву забезпечує високоякісний антиконденсатний обігрів для всіх кліматичних зон, і робить непотрібним застосування термостата, а також гідростата.

Редуктори, які використовуються: силові, керуючі й редуктори індикації. Силові редуктори мають ремінну передачу. Керуючий редуктор, цей пристрій покровокого перемикачання з кулачковими вимикачами. Шафа моторного приводу повинна кріпитися до баку трансформатора без перекоосу. Моторний привід повинен розташовуватися вертикально і його вал повинен перебувати на одній осі (лінії) з вертикальним валом кутового редуктора. В іншому випадку це може привести до пошкодження моторного приводу, пристрою РПН і в цілому трансформатора. У разі сильної вібрації рекомендується використовувати віброгасники. В процесі монтажу і експлуатації потрібне правильне з'єднання моторного приводу з пристроєм РПН, таким чином, щоб контактор переключався до зупинки моторного приводу, і забезпечувалася однаковість положень приводу і РПН на кожній ступені. При простоті в 8 тижнів, або при перерві в роботі більше 2 тижнів необхідно включати обігрів.

Безумовними перевагами моторного приводу фірми MR є:

- безшумний силовий редуктор з необслуговуваною ремінною передачею
- використання антиконденсата обігрівача поверхневого типу
- досить висока надійність і технологічність моторного приладу

До недоліків такого приводу можна віднести:

- наявність громіздкого електричного приводу (АД + редуктор)
- режим вибігу АД
- жорсткі вимоги до монтажу моторного приводу, невисока технологічність в разі сильної вібрації
- можливість порушення працездатності внаслідок попадання на ремінь мастильних матеріалів.

В основу наших розробок поставлено завдання підвищити надійність, ефективність і технологічність роботи моторного приводу і в цілому пристрою РПН і трансформатора. Це можливо досягти шляхом зміни

класичної електромеханічної системи швидкохідного АД + система редукторів на високомоментний низькообертотний електродвигун (двигун з ротором що котиться). Механічний редуктор, як відомо, служить для зниження оборотів і підвищення крутного моменту. Одночасно з цим редуктор є вагомим елементом ненадійності і зниження точності процесу регулювання. Принцип дії цих двигунів заснований на вільній обкатці ротора по поверхні статора. Ця обкатка виникає за рахунок створення нерівномірного або пульсуючого магнітного поля в електродвигуні, що створює силу одностороннього магнітного тяжіння, в результаті чого ротор притягується до статора. Результуючий вектор магнітного поля рівномірно переміщається уздовж поверхні статора, захоплюючи за собою ротор, який при цьому обкатується по статору. При цьому виникає складне обертання слідування, у якому частота обертання валу прямо пропорційна різниці діаметрів статора і ротора. Завдяки такій електромагнітній редукції на валу двигуна досягаються підвищені обертаючі моменти. Ексцентричне, що до осі статора, обертання ротора компенсується гнучкими передачами або стандартними механічними перетворювачами типу Кардана, Сешерона, Альстома. У загальному випадку для забезпечення роботи двигуна необхідно почергове протікання струму в його обмотках, з'єднаних в зірку. При живленні двигуна з шістьма обмотками від 3-фазної мережі змінного струму, включення кожної обмотки в мережу здійснюється через напівпровідниковий діод.

Високомоментний низькообертотний електродвигун має високу швидкість (0.01 - 0.05 сек.), значний номінальний момент (1 ... 100 Нм) при низькій частоті обертання і невеликими кратностями пускового струму і струму короткого замикання (1.1 ... 1.3 I_n). Напряга живлення (однофазного, трифазного) - 12,220,380 В. Номінальний струм дорівнює 0.1-5 А. Такий двигун може працювати в кроковому режимі без додаткових перетворювачів, має високу швидкість і безінерційність. Собівартість такого двигуна - нарівні собівартості асинхронного двигуна аналогічної потужності.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Аналіз теоретичних і практичних досліджень може бути використаний для розробки загальної концепції побудови РПН нового типу на базі ДРК. Ця концепція складається з декількох етапів і виражається в наблизенні цих технічних рішень, в поєднанні їх технологічних характеристик і можливостей. Позитивні ефекти, що виражаються в підвищенні надійності, простоти та технологічності пристроїв РПН, отримуються за рахунок використання технологічних властивостей ДРК.

Список використаних джерел

1. Баркан Я. Д. Эксплуатация электрических систем / Я. Д. Баркан. – Москва: Высш. Шк., 1990. – 304 с.
2. Офіційний сайт компанії Енергоавтоматизація [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.enera.com.ua/>.

3. Пат. 4561 Україна, МПК H02P13/06, H01F29/04. Моторний привод пристрою регулювання під навантаженням силового трансформатора. / Хоменко І. В., Наний В. В. (Україна) – № u345675; Заявл. 03.04.2009; Опубл. 17.10.2009. Бюл. № 7.

4. Наний В. В. Развитие теории и создание эффективных конструктивных исполнений электродвигателей с катящимся ротором: дис. д-ра. техн. наук: 05.09.01 / Наний Виталий Викторович. – Харьковский политехнический институт, Харьков, 2014. – 335 с.

5. Пат. 117756 Україна, МПК H02P13/00, H01F19/00. Автоматизований пристрій регулювання напруги трансформатора під навантаженням. / Єгоров А. В., Масленников А. М., Дунев О. О., Хоменко І. В.

Аннотация

НОВОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ УСТРОЙСТВА РПН СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Хоменко И. В., Стасюк И. В., Егоров А. В.,
Масленников А. М., Дунев О. О.

Установлено, что одним из способов повышения надежности работы силового трансформатора является повышение надежности работы его устройства регулирования под нагрузкой (РПН). Для повышения надежности рассматривается возможность его разработки на базе двигателя с катящимся ротором (ДКР). Проведен критический анализ современных устройств РПН и предлагаемого технического решения. На основе общей теории электромагнитного поля разработана методика и алгоритм расчета новых типоразмеров ДКР для устройств РПН силовых трансформаторов. Представлена перспектива развития нового устройства РПН.

Abstract

NEW TECHNICAL SOLUTION OF POWER TRANSFORMERS OLTC DEVICE

I. Khomenko., I. Stasiuk, A. Egorov,
A. Maslennikov, O. Dunev

One of the ways to increase the reliability of a power transformer is to increase the reliability of its on load tap changer (OLTC) device. To improve the reliability we considered the use of the development of an OLTC device based on a rolling-rotor engine (RRE). After critical analysis of the current OLTC devices and proposed technical solutions, based on the general theory of the electromagnetic field, was developed a method and algorithm for calculating new RRE sizes for OLTC devices. Was presented the perspective of the new OLTC device development.