

М.В. Гребченко, Д.В. Полковніченко

**МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ДЕФЕКТІВ ІЗОЛЯЦІЇ
ПРИЄДНАНЬ НАВАНТАЖЕННЯ**

Наведено результати досліджень локальних дефектів ізоляції і замикань на землю приєднань навантаження для обґрунтування адекватності математичної моделі вузла електричної системи з електродвигунами, а також виконано аналіз роботи захисту при виникненні дефектів ізоляції в різних точках обмотки навантаження. Рис. 4, табл.2, дж. 6.

Постановка задачі. У зв'язку з підвищенням вимог до надійності і безперебійності роботи енергосистем, а також значним зносом основного устаткування істотно підвищилися вимоги до ефективної роботи релейного захисту і автоматики. Існуючи захисти від замикань на землю необхідно вдосконалювати відповідно до нових технічних можливостей.

Наявні в дійсний час теоретичні засади можуть бути використані для розробки і серійного випуску більш ефективних захистів двигунів від замикань фази статора на корпус, що дозволить одержати значну економічну ефективність.

Актуальність даної проблеми обумовлена тим, що значна частина ушкоджень в електричних мережах 6-10 кВ, особливо у вузлах з електричними двигунами, виникає в результаті розвитку локальних дефектів ізоляції. У зв'язку з цим своєчасне виявлення дефектів дозволяє запобігати виникненню більш важких пошкоджень – коротких замикань. Цей шлях вимагає забезпечення високої чутливості засобів контролю ізоляції і захистів від замикань на землю.

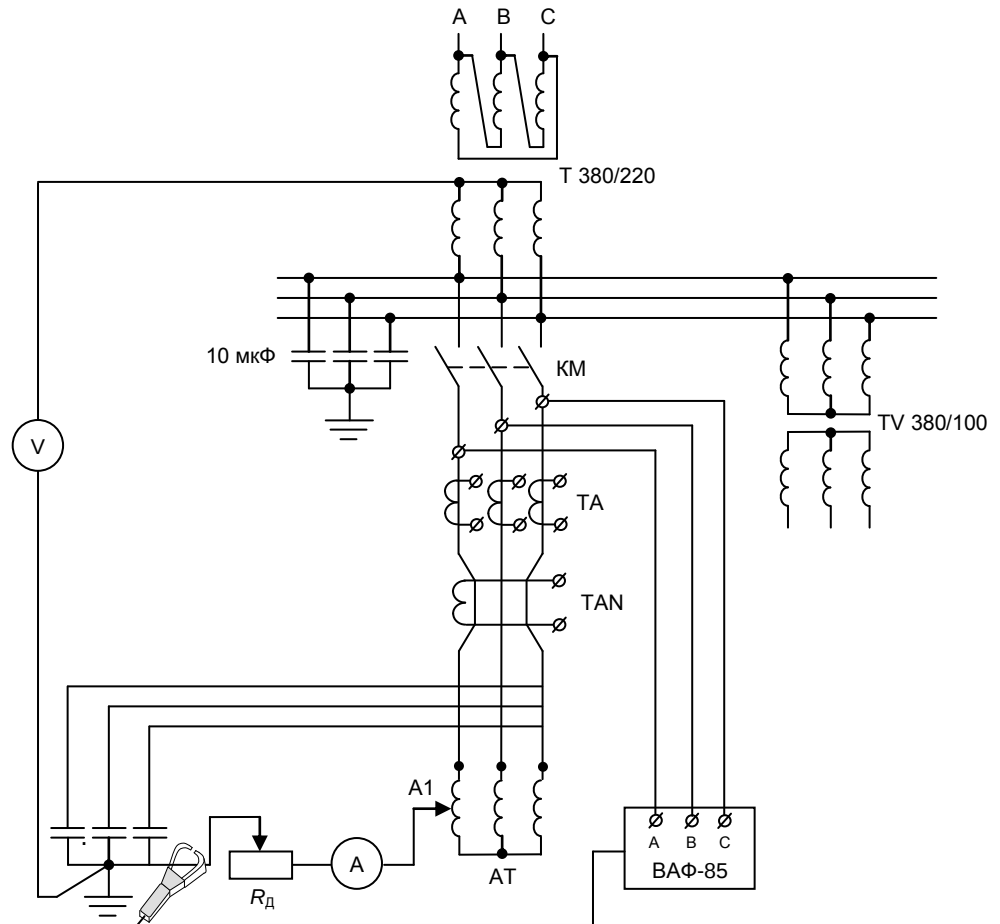
Аналіз останніх досягнень. Принципи визначення дефектів ізоляції та замикань на землю дуже схожі між собою. Результати аналізу принципів побудови захистів від замикань на землю наведені у роботі [1]. Один із висновків полягає в тому, що наявні захисти ще не задовольняють усім вимогам у повній мірі.

Основним недоліком багатьох методів (наприклад, [2, 3]) оцінки технічного стану кабелів й прогнозування їх працездатності є те, що для їх використання необхідно відключати обладнання.

Необхідну чутливість до замикань фази статора електродвигуна на корпус можуть забезпечити спрямовані захисти, однак у даний час реле, які випускає електротехнічна промисловість, не задовольняють вимогам. Захист типу ЗЗП-1М може відмовити при дугових замиканнях (через чутливість до перехідних процесів) чи привести до неселективного спрацювання [4], що не тільки наносить збиток виробництву через непередбачену зупинку приводу, але і представляє небезпеку для ізоляції двигуна. Імпульсний спрямований захист типу ІЗС, що реагує на параметри перехідного процесу, за принципом дії може виявитися придатним і для захисту двигунів, але в існуючому виконанні рекомендований для застосування в повітряних мережах напругою 35 кВ.

Досить широке поширення одержали спрямовані захисти, засновані на фіксації полярності струму і напруги в першому напівперіоді перехідного процесу [5]. При відповідній доробці вони можуть дозволити селективно фіксувати не тільки факт появи однофазного замикання на корпус статора, а і наявність дуги у місці ушкодження, що забезпечує найбільш правильну дію захисту в залежності від значення струму і характеру замикання.

Виклад основного матеріалу. Для визначення основних залежностей розроблена фізична модель вузла електричної системи з двигунами, яка представлена на рис. 1.

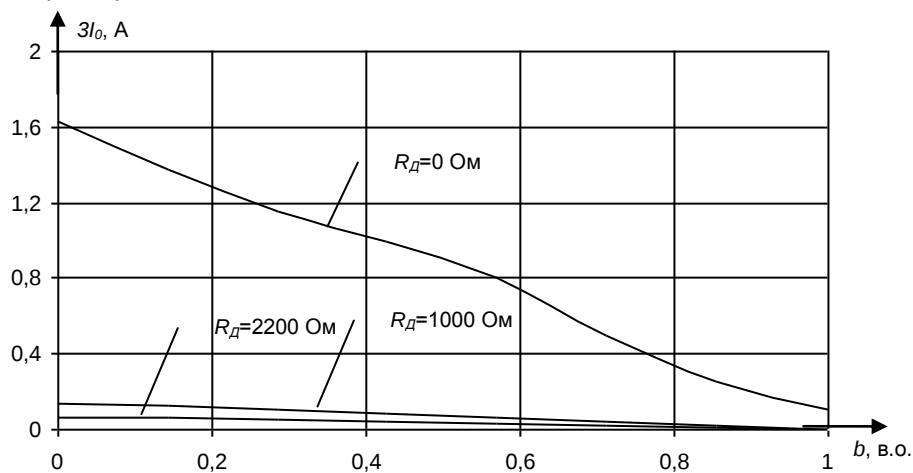


В ході проведення експериментальних досліджень отримані залежності струму нульової послідовності приєднання (первинний $3I_0$ і вторинний $3I_{0в}$), напруги нульової послідовності $3U_0$, а також кута ϕ між вектором цього струму нульової послідовності $3I_0$ і вектором лінійної напруги U_{AB} , від місця замикання та дефектів в обмотці трансформатора. Отримані результати наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

Пара- метр	Опір дефект- ту, Ом	Місце виникнення замикання, %							
		0	14,3	28,6	42,6	56,9	71,2	85,5	100
$3I_0$, А	0	1,625	1,375	1,15	1,0	0,8	0,5	0,255	0,11
$3I_{0в}$, А		0,052	0,049	0,041	0,033	0,025	0,017	0,0085	0,001
$3U_0$, В		150	137	117	94	72	51	29,5	8,5
φ , град		120	120	120	120	120	120	120	120
$3I_0$, А	1000	0,14	0,128	0,109	0,086	0,064	0,044	0,023	0,004
$3I_{0в}$, А		0,005	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001	0,0
$3U_0$, В		18,5	17,3	15,3	13,0	10,8	9,0	7,3	5,9
φ , град		39	40	40	40	41	42	47	-
$3I_0$, А	2200	0,066	0,061	0,051	0,042	0,031	0,021	0,011	-
$3I_{0в}$, А		0,002	0,003	0,002	0,0015	0,001	0,001	0,001	0,0
$3U_0$, В		10,7	10,3	9,4	8,5	7,7	7,0	6,4	5,7
φ , град		32	34	37	37	36	43	45	-

При зміні місця точки металевого замикання на землю від лінійних виводів обмотки до нульових величина струму нульової послідовності $3I_0$ знижується (рис.2). Характер залежності близький до лінійної.

Рисунок 2 – Залежності струму нульової послідовності $3I_0$ від місця замикання в обмотці трансформатора при різних значеннях опору дефекту R_d

Амплітуда напруги нульової послідовності $3U_0$ при переміщенні точки дефекту від початку до кінця обмотки знижується від максимального значення до нуля. Залежність практично лінійна (рис.3).

Кут між вектором струму нульової послідовності $3I_0$ і вектором лінійної напруги U_{AB} залежить від величини опору дефекту ізоляції, від режиму нейтралі, а також від ступеня несиметрії ємностей фаз приєднання стосовно землі і практично не залежить від відстані точки замикання чи дефекту ізоляції при будь-якому режимі нейтралі (рис.4).

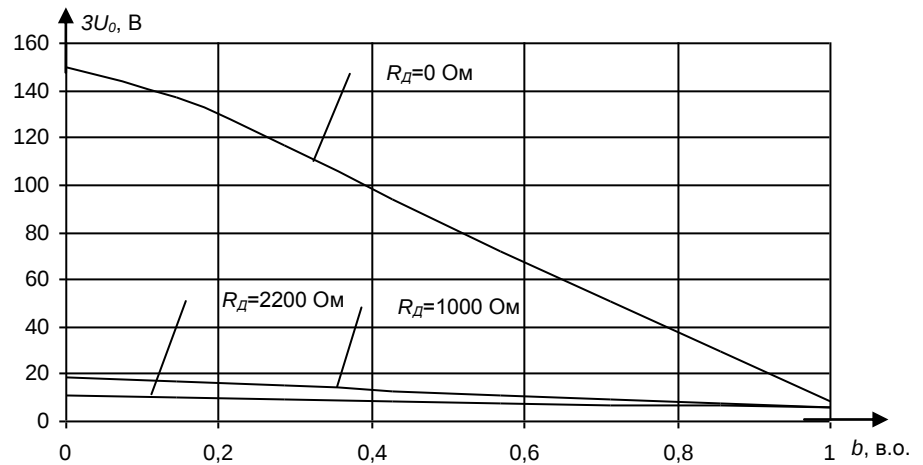


Рисунок 3 – Залежності напруги нульової послідовності $3U_0$ від місця замикання в обмотці трансформатора при різних значеннях опору дефекту R_d

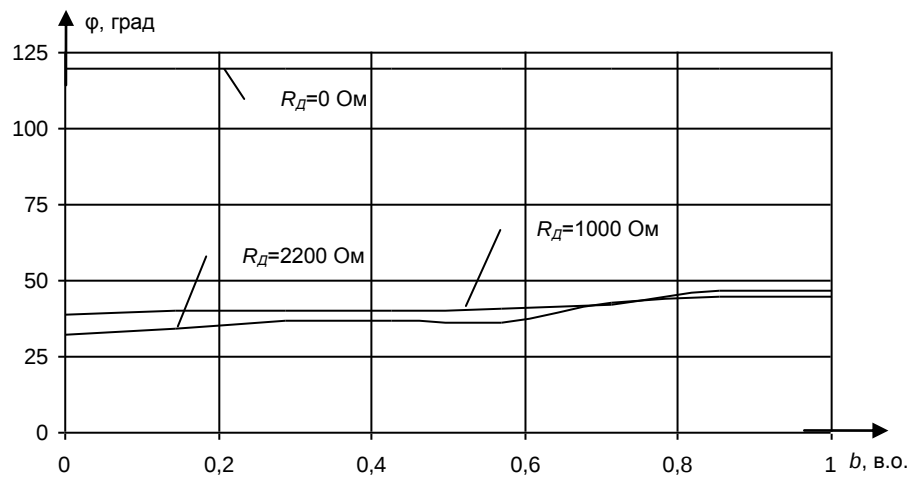


Рисунок 4 – Залежності кута між вектором струму нульової послідовності $3I_0$ і вектором лінійної напруги U_{AB} від місця замикання в обмотці трансформатора при різних значеннях опору дефекту R_d

При виконанні досліджень ємність фази приєднання по відношенню до землі складала 0,1 мкФ, а усієї мережі – 10 мкФ. Дефекти ізоляції моделювались в різних фазах з різним ступенем несиметрії ємностей фаз по відношенню до землі.

Проведені на фізичній моделі (рис.1) дослідження підтвердили адекватність математичної моделі вузла електричної системи з електродвигунами [6]. Розроблена модель дозволяє виконувати моделювання робочих режимів приєднань навантаження у випадку виникнення розподілених і локальних дефектів ізоляції.

Результати фізичного і математичного моделювання різного ступеня дефектів ізоляції приєднань навантаження приведено в табл.2.

Таблиця 2 – Результати фізичного і математичного моделювання різного ступеня дефектів ізоляції

R_d , Ом	I_0 , А		U_0 , В		φ , град	
	Експеримент	Розрахунок	Експеримент	Розрахунок	Експеримент	Розрахунок
0	1,625	1,526	150	142	120	120
23	1,325	1,218	153	139	104	102
46	1,225	1,147	138	134	93	85
76	1,1	1,039	121	117	81	71
100	1,025	0,964	131	114	78	63
255	0,495	0,459	57	68	50	47
355	0,38	0,349	46	52	45	42
401	0,34	0,314	40	49	43	41

Висновки.

1. Математична модель вузла електричної системи з електродвигунами, у якій навантаження приєднання (двигун, трансформатор) представлено в узагальненому виді (не враховуються взаємні індуктивності у двигуні й трансформаторі), дозволяє виконувати моделювання робочих режимів при наявності дефектів ізоляції. Результати математичного моделювання відрізняються від результатів, отриманих на фізичній моделі, не більш ніж на 20 %.

2. Достойнством фізичної й математичної моделей є можливість визначення параметрів робочого режиму у випадку виникнення дефекту ізоляції в будь-якій точці обмотки навантаження й різного ступеня дефекту ізоляції.

3. Кут між вектором струму нульової послідовності та вектором лінійної напруги майже не залежить від місця дефекту ізоляції і визначається тільки активним опором цього дефекту. Завдяки цьому відстань місця дефекту ізоляції не впливає на дію спрямованого захисту

Список літератури

1. Борухман В.А. Об эксплуатации селективных защит от замыканий на землю в сетях 6-10 кВ и мероприятиях по их совершенствованию. – Энергетик, 2000, № 1, С. 20-22.
2. Лебедев Г.М., Бахтин Н.А., Брагинский В.И. Математическое моделирование локальных дефектов изоляции силовых кабелей 6-10 кВ. – Электричество, 1998, № 12, С. 23-27.
3. Корогодский В.И., Кужеков С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 248 с.
4. Айдаров Ф.А., Савицкий В.Н. Особенности функционирования направленных защит нулевой последовательности при дуговых замыканиях фазы на землю в сетях 6-10 кВ. – Промышленная энергетика, 1982, № 12.
5. Дударев Л.Е., Зубков В.В., Стасенко В.И. Комплексная защита от замыканий на землю. - Электрические станции, 1981, № 7.
6. Гребченко Н.В. Математическое моделирование локальных и распределенных дефектов электрической изоляции в узлах электрических систем с двигателями // Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія "Електротехніка і енергетика", випуск 79. – Донецьк: ДонНТУ, 2004.– С. 55-62.