

БЫСТРОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ БРОСКОВ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ТОКА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРА

Лукина К.В.¹, ООО «Релематика», Чебоксары

Воронов П.И., ООО «Релематика», Чебоксары

Широкин М.Ю., ООО «Релематика», Чебоксары

Аннотация: Дифференциальная токовая защита трансформатора должна максимально быстро отключить витковое замыкание, отличив его от режима броска намагничивающего тока. В работе разрабатывается алгоритм быстрого распознавания режима виткового короткого замыкания и броска намагничивающего тока.

Ключевые слова: релейная защита, витковое замыкание, бросок намагничивающего тока, трансформатор.

Abstract: The differential current protection of the transformer should as soon as possible trip the winding fault, distinguishing it from the mode of the magnetizing current. In this paper an algorithm is developed for the rapid distinction of the winding fault modes and of a magnetizing current.

Keywords: relay protection, winding fault, magnetizing (current) inrush, transformer.

В качестве основной защиты трансформатора применяются газовая защита и дифференциальная токовая защита. Существенным недостатком последней является возможная ложная работа в режиме броска намагничивающего тока (БНТ) ввиду формирования значительного дифференциального тока, вызванного неучетом намагничивающего тока при получении замера ДТЗ, причем наиболее неблагоприятным является БНТ при включении трансформатора. В качестве блокировок, предотвращающих нежелательное срабатывание ДТЗ, на практике широкое распространение получили блокировка по форме тока и блокировка по второй гармонике. Указанные блокировки обладают собственным временем срабатывания, тем самым замедляя время работы ДТЗ.

Вместе с тем, витковые замыкания в обмотках силовых трансформаторов представляют серьезную опасность с точки зрения термической стойкости проводника. Особенностью токораспределения при указанном виде повреждения является то, что при малой доле замкнувшихся витков дифференциальная токовая защита оказывается нечувствительной. Задача ликвидации подобных повреждений возлагается на газовую защиту, время срабатывания которой может достигать 150-300 мс [1].

¹ Лукина Кристина Витальевна: lykina_kv@relematika.ru

В связи с изложенным, для обеспечения максимально быстрой ликвидации виткового замыкания необходимо за кратчайший срок распознать наблюдаемый режим, то есть различить режим виткового замыкания от режима БНТ.

В качестве объекта исследования был выбран трансформатор типа ТДН 63000/110/38,5, обмотки которого соединены по схеме Y0/Y. Для исследования режимов БНТ при включении трансформатора (рис. 2) и виткового КЗ (рис. 3), возникающего при работе трансформатора на холостом ходу (XX) были построены две имитационные модели однофазной сети, каждая из которых включает в себя модель энергосистемы напряжением 110 кВ с варьируемым внутренним сопротивлением $X_c=4..10$ Ом, а также одну фазу выбранного трансформатора. Отличие моделей заключается в том, что в режиме БНТ модель трансформатора является нелинейной в виду учета ветви намагничивания, аппроксимированной спрямленной характеристикой намагничивания (СХН) $\psi = f(i_\mu)$ (рис. 1).

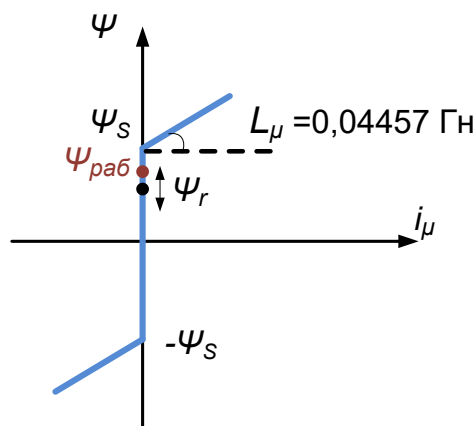


Рис. 1. Спрямленная характеристика намагничивания

Модель трансформатора при витковых замыканиях является линейной, параметры которой были рассчитаны согласно методике, изложенной в [2].

В модели режима БНТ варьировались значения потокосцепления насыщения $\Psi_s=(0,5..1,2)$, Вб, от величины рабочего потокосцепления ($\Psi_{раб}$), Вб, и остаточное потокосцепление $\Psi_r=(0..0,7)$ от $\Psi_{раб}$, Вб, [3], а индуктивность на участке насыщения (L_μ) принята равной 0,04457 Гн на участке насыщения.

В модели режима виткового замыкания, возникающего в трансформаторе в режиме XX, варьировалось количество замкнутых витков $x_f=0..100$ % от общей доли витков, в то время как активное переходное сопротивление в месте замыкания оставалось неизменным ($R_f=0,1$ Ом) (рис. 3).

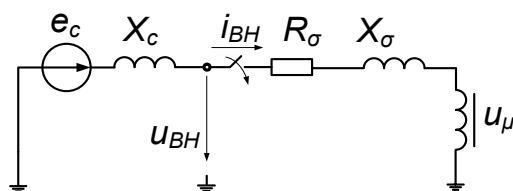


Рис. 2. Имитационная модель однофазного двухобмоточного трансформатора, в случае возникновения БНТ, возникающего при включении трансформатора

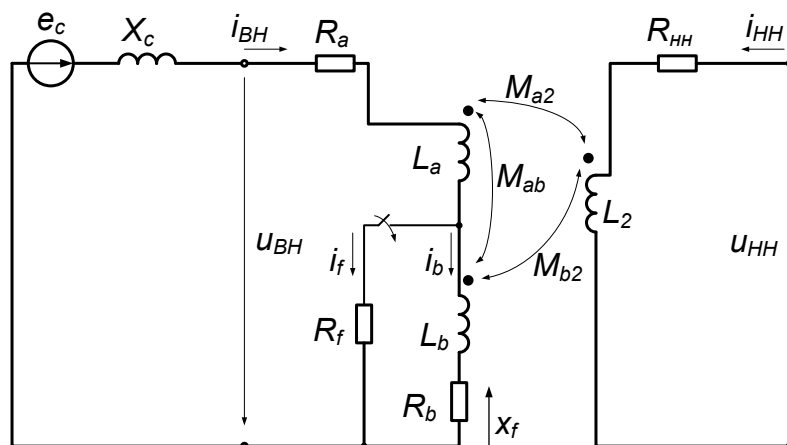


Рис. 3. Имитационная модель однофазного двухобмоточного трансформатора, работающего в режиме витковых замыканий.

Применяя подход, изложенный в [4], в качестве инструмента, распознающего БНТ от виткового замыкания, предлагается использовать плоскость "оценка-невязка" применительно к индуктивности ветви намагничивания трансформатора (L_μ).

Исходя из рисунка 2, при известном напряжении и токе на вводе трансформатора перейдем к напряжению ветви намагничивания, которое, в свою очередь, может быть представлено как

$$u_\mu = \hat{L}_\mu \frac{di}{dt}.$$

По методу наименьших квадратов определяется оцениваемая величина (\hat{L}_μ).

$$\hat{L}_\mu = \frac{\int_0^{\Delta t} u_\mu \cdot \left(\frac{di}{dt}\right) dt}{\int_0^{\Delta t} \left(\frac{di}{dt}\right)^2 dt}.$$

"Невязка" представляет собой

$$\sigma = \int_0^{\Delta t} \left(u_\mu - \hat{L}_\mu \frac{di}{dt}\right) dt$$

На рисунке 4 приведены результаты построения замера "оценка-невязка" при различных интервалах наблюдения Δt виткового замыкания, а на рисунке 5 приведена

область годографов БНТ при включении трансформатора. По рисунку 5 видно, что "оценка" \hat{L}_μ совпала со значением индуктивности насыщения, заданным в имитационной модели. Таким образом, данный алгоритм позволяет максимально точно определить параметры ветви намагничивания трансформатора в режиме БНТ и отличить данный режим от виткового замыкания.

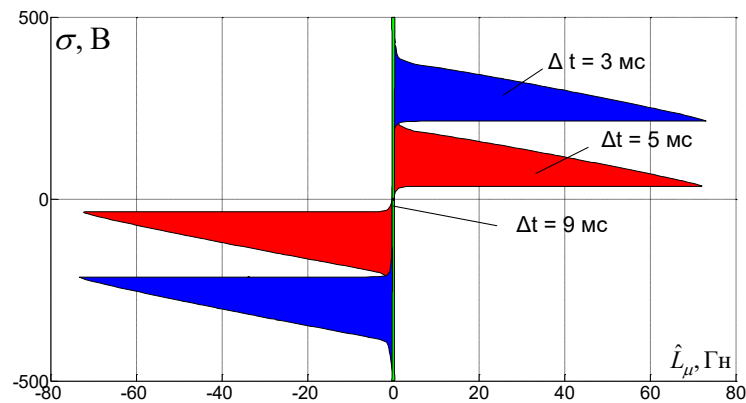


Рис. 4. Области годографов виткового замыкания при различных интервалах наблюдения.

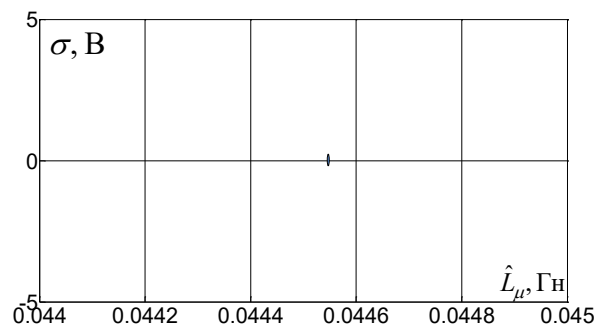


Рис. 5. Области годографов БНТ при включении трансформатора

Согласно рисункам 4 и 5 анализ распознающей способности показал, что области годографов БНТ при включении трансформатора и области годографов виткового замыкания не пересекаются на плоскости "оценка-невязка", т.е. область БНТ является «выколотой» из области витковых замыканий.

Выводы

1. Разработан алгоритм быстрого распознавания (за время не менее чем 3 мс) режима виткового замыкания от режима БНТ для однофазного трансформатора.
2. Анализ распознающей способности замера показал, что для однофазного двухобмоточного трансформатора новый алгоритм отстройки от БНТ обладает 100% распознающей способностью.
3. Использование плоскости "оценка-невязка" позволяет достаточно точно определить параметры ветви намагничивания при БНТ, что позволяет судить о режиме трансформатора.

Список литературы

1. *Засыпкин А.С.* Релейная защита трансформаторов. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
2. *P. Bastard, P. Bertrand, M. Meunier.* A transformer model for winding fault studies. – IEEE Transactions on Power Delivery, 1994, Vol. 9, №2, p. 690-699.
3. *Лурье А.И.* Электродинамическая стойкость трансформаторов и реакторов при коротких замыканиях. – М: ЗНАК, 2005. – 512 с.
4. *Лямец Ю.Я, Воронов П.И., Атнишкин М.Ю., Широкин М.Ю.* Модель неповрежденного энергообъекта как индикатор повреждения. – Электротехника, 2017, №7, С. 60-65.
5. *Федосеев А.М., Федосеев М.А.* Релейная защита электроэнергетических систем. – М: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.