



II Международная научно-практическая конференция
«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

**Экспериментальное
получение характеристик для
разработки моделей
трансформаторов тока и
определения времени до
насыщения магнитопровода**

Петров Алексей Евгеньевич,
usetheforcealex@yandex.ru

16-18 сентября 2020 г
Воронеж, Россия





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

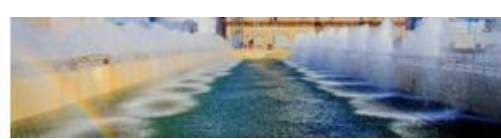
Введение

Явления насыщения и остаточной намагниченности магнитопровода трансформаторов тока оказывают существенное влияние на работу устройств релейной защиты и автоматики.

Например, 4-го ноября 2014-го года на Ростовской АЭС (Россия) произошла подача напряжения на заземляющие ножи из-за неправильных действий оперативного персонала, отработала защита и отключила данное короткое замыкание, но параллельно с ней ошибочно сработала дифференциальная защита шин (ДЗШ), в следствии чего генераторы на атомной электростанции (АЭС) начали разгоняться и их пришлось отключить.

Следует отметить случай блэкаута Крыма, 13 июня 2018-го года на ПС 500 кВ «Тамань» были отключены первая и вторая секции 500 кВ и автотрансформаторы 1 и 2 из-за неправильной работы дифференциальной защиты ошиновок (ДЗО) ввиду влияний остаточной намагниченности ТТ.

Экспериментальное
получение характеристик
для разработки моделей
трансформаторов тока и
определения времени до
насыщения магнитопровода

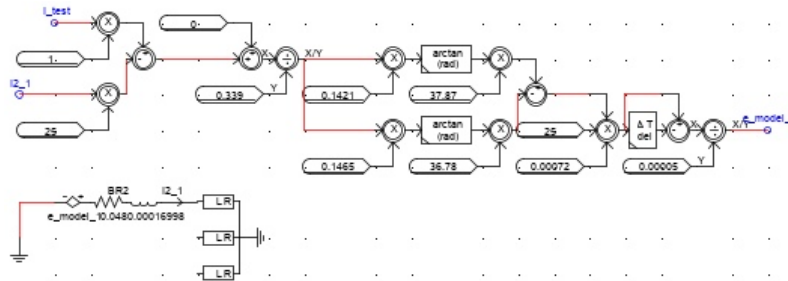


Математические модели ТТ

Экспериментальное получение характеристик для разработки моделей трансформаторов тока и определения времени до насыщения магнитопровода

В ходе работы были разработаны и исследованы три модели ТТ:

1) Имитационная модель ТТ на основе уравнений электромагнитной индукции Фарадея. Основные соотношения для расчета выходной величины (ЭДС вторичной обмотки ТТ) представлены ниже:



$$F_{\text{сум}} = I_1 \cdot w_1 - I_2 \cdot w; \quad H = \frac{F_{\text{сум}}}{L_{\text{ср}}}; \quad H \rightarrow B ;$$

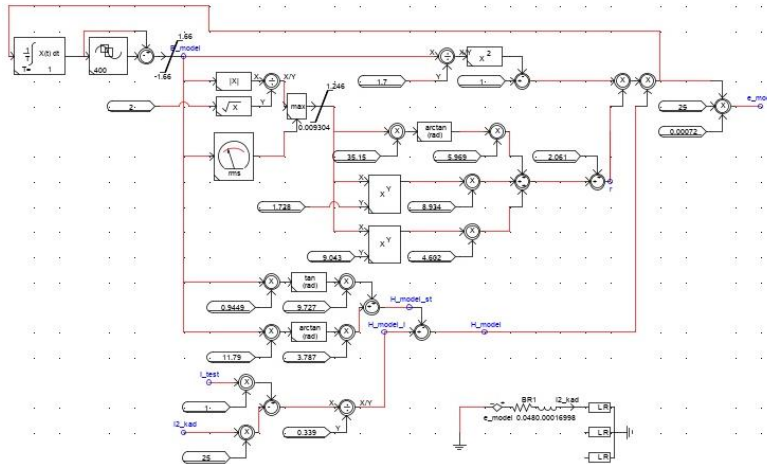
$$\Phi = B \cdot S; \quad \Psi_2 = \Phi \cdot w_2; \quad E_2 = -\frac{d\Psi_2}{dt}.$$



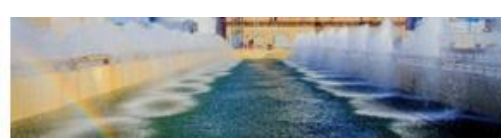
Математические модели ТТ

Экспериментальное получение характеристик для разработки моделей трансформаторов тока и определения времени до насыщения магнитопровода

2) Имитационная модель ТТ на основе уравнений динамики перемагничивания магнитопровода Кадочникова:



$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dB}{dt} &= r \cdot \left(1 - \frac{B^2}{B_s^2}\right) \cdot [H(t) - H_{cm}(B)] \\ H(t) &= \frac{F_{сум}(t)}{L_{ср}}; \\ H_{cm} &= f(B); \\ F_{сум}(t) &= I_1(t) \cdot w_1 - I_2(t) \cdot w_2; \\ \Phi &= B(t) \cdot S; \\ \Psi_2 &= \Phi(t) \cdot w_2; \\ E_2 &= -\frac{d\Psi_2}{dt} \end{aligned} \right.$$



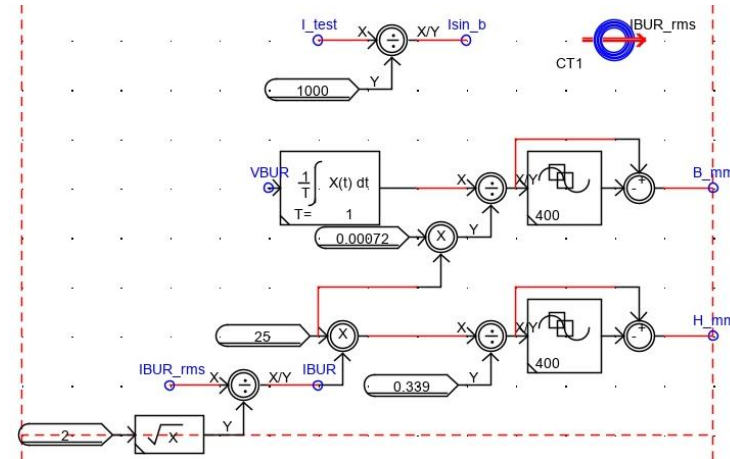
«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Математические модели ТТ

Экспериментальное
получение характеристик
для разработки моделей
трансформаторов тока и
определения времени до
насыщения магнитопровода

3) Имитационная модель на основе уравнений Джилса-Атертона (встроенная модель программной среды RSCAD, блок Current Transformer).

Физические условия однозначности – количество витков первичной и вторичной цепи, длина средней магнитной линии, площадь поперечного сечения.



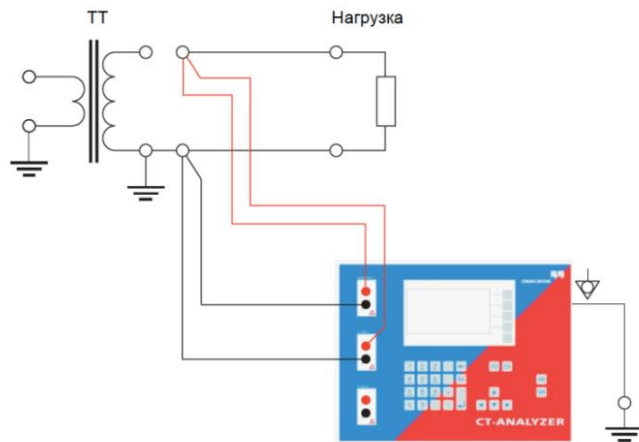


«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

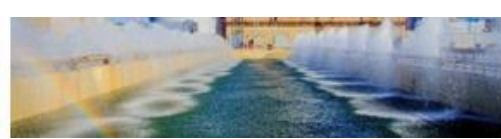
Определение параметров для моделей ТТ

1. Снятие характеристик ТТ с помощью Omicron CT Analyzer

CT Analyzer — это испытательная система для защитных и измерительных трансформаторов тока (ТТ), соответствующая стандартам IEEE и IEC.



Экспериментальное
получение характеристик
для разработки моделей
трансформаторов тока и
определения времени до
насыщения магнитопровода

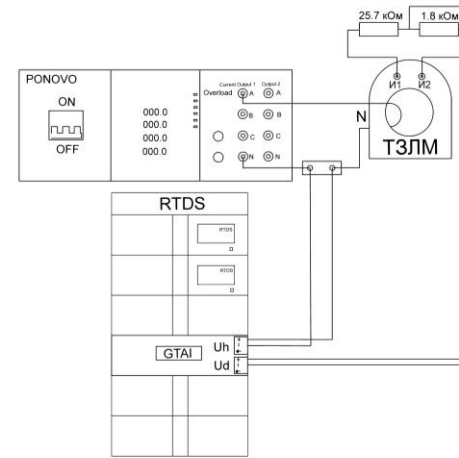
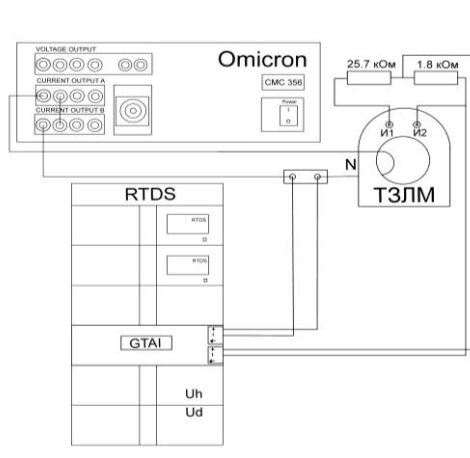


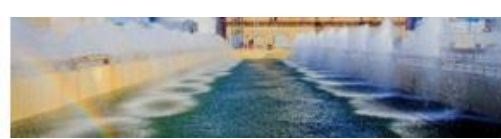
Определение параметров для моделей ТТ

2. Снятие характеристик ТЗЛМ с помощью системы моделирования в режиме реального времени RTDS

RTDS – это цифровой симулятор реального времени, рекомендованной комитетом IEEE для симулятора реального времени, применяемого для энергетических систем.

Экспериментальное получение характеристик для разработки моделей трансформаторов тока и определения времени до насыщения магнитопровода

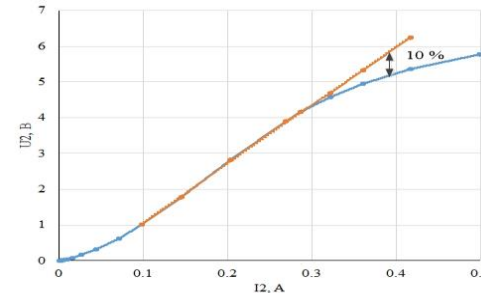
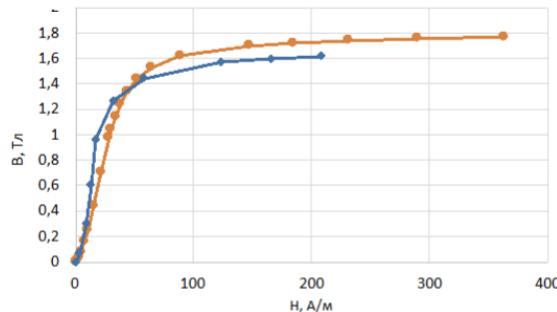




Определение параметров для моделей ТТ

3. Определение индукции насыщения по полученным ОКН

При насыщении магнитопровода ТТ происходит значительное изменение формы сигнала, что может привести к большим погрешностям коэффициента передачи, при этом, чем выше ток, тем больше погрешность. Поэтому при расчете уставок устройств РЗА и оценке правильности действия РЗ, подключаемых к ТТ, необходимо знать, когда трансформатор работает на линейном участке ВАХ, а когда – на участке, отклонение которого от линейного превышает 10% в момент наступления насыщения магнитопровода



Экспериментальное
получение характеристик
для разработки моделей
трансформаторов тока и
определения времени до
насыщения магнитопровода



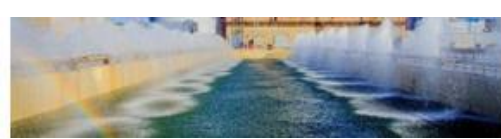
«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Верификация моделей ТТ

Для верификации моделей ТТ:

- 1 Собирается схема эксперимента;
- 2 Подаются токи при помощи RTDS и усилителей (Omicron CMC 356 и PONOVO PAC60Ci)
- 3 Сравниваются выходные сигналы исследуемого ТТ (физический сигнал) и имитационных моделей ТТ.
- 4 Расчет моделей ТТ на основе полученных исходных данных и характеристик. Проведение вычислительных экспериментов для получения ОКН или ВАХ ТТ, вторичных токов ТТ при заданных режимах и вторичных нагрузках.
- 5 Исходя из расчета модели ТТ определение времени до насыщения ТТ, с целью обеспечения пра-вильной работы РЗА.

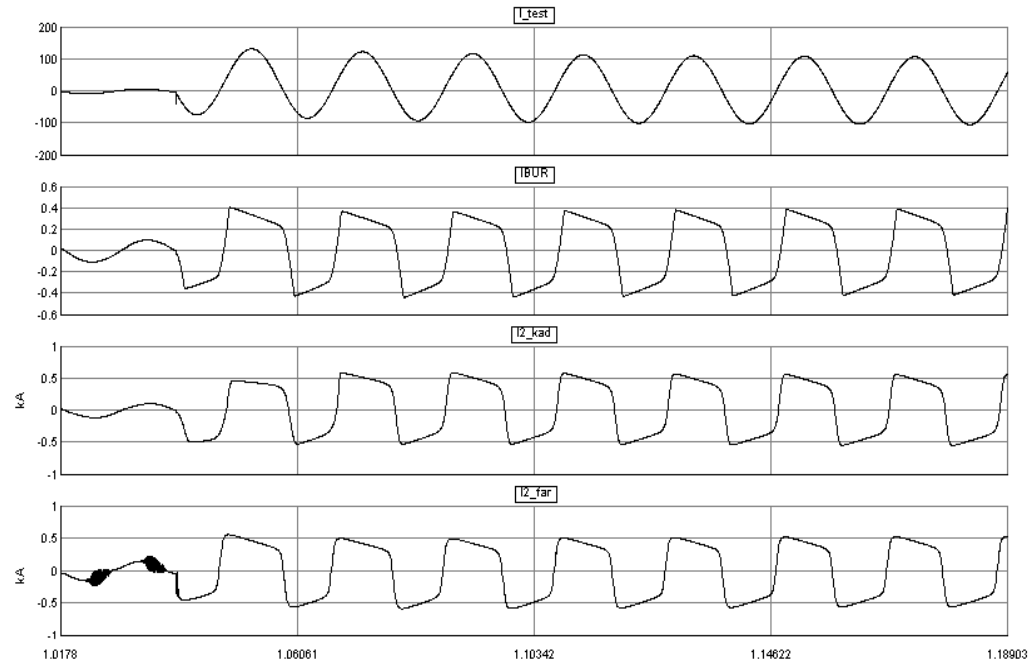
Экспериментальное
получение характеристик
для разработки моделей
трансформаторов тока и
определения времени до
насыщения магнитопровода



Верификация моделей ТТ

Экспериментальное получение характеристик для разработки моделей трансформаторов тока и определения времени до насыщения магнитопровода

В исследуемых режимах (ХХ и вторичной нагрузки ТТ 1 Ом) вторичные токи всех моделей различаются не более чем на 10 %. Модели приняты достоверными. Их можно использовать, например, для получения ОКН и последующего расчета индукции насыщения, когда проведение физического эксперимента невозможно.





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Общий алгоритм определения времени до насыщения

Экспериментальное
получение характеристик
для разработки моделей
трансформаторов тока и
определения времени до
насыщения магнитопровода

- 1 Получение исходных данных ТТ от производителя. При наличие образца ТТ – снятие экспериментальных характеристик (кривых намагничивания или ВАХ, сопротивлений обмоток) при помощи Omicron CT Analyzer и RTDS.
- 2 Получение исходных данных о режиме работы ТТ – токах КЗ (максимальные значения амплитуды тока КЗ и постоянной затухания аperiodической составляющей), вторичной нагрузке ТТ.
- 3 Ввод полученных исходных данных в имитационные модели ТТ (п.2).
- 4 Расчет моделей ТТ на основе полученных исходных данных и характеристик. Проведение вычислительных экспериментов для получения ОКН или ВАХ ТТ, вторичных токов ТТ при заданных режимах и вторичных нагрузках.
- 5 Исходя из расчета модели ТТ определение времени до насыщения ТТ, с целью обеспечения правильной работы РЗА.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Выводы

1 На основе проведённых исследований был разработан алгоритм определения времени до насыщения.

2 Модели могут быть использована для определения времени насыщения с учётом реальных характеристик электромагнитных трансформаторов тока, остаточной намагниченности, кратности тока КЗ и т.д.

3 С использованием данных моделей также можно производить проверку устойчивости работы различных алгоритмов РЗА при насыщении и остаточной намагниченности ТТ



Спасибо за внимание