

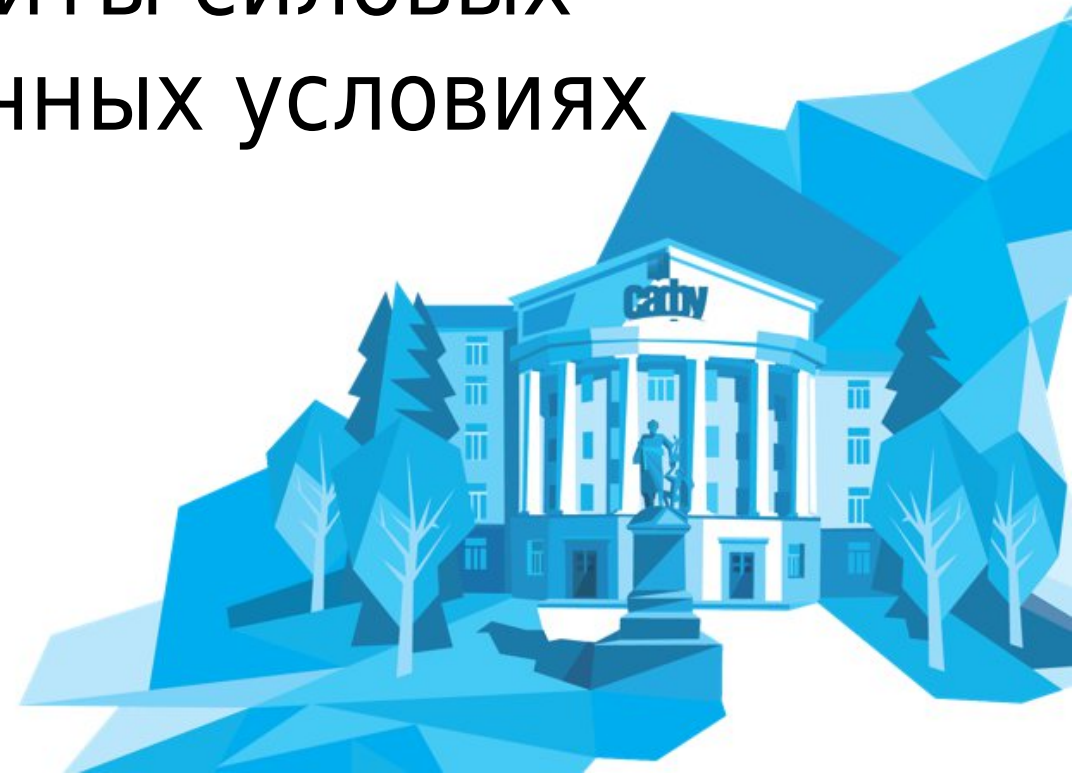


NOTHERN (ARCTIC)  
FEDERAL UNIVERSITY  
NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

# Исследование проблем надёжности дифференциальной защиты силовых трансформаторов в различных условиях

Назаров Никита Федорович,  
студент (магистрант) 1 курса, САФУ  
Инженер ООО «Инженерный центр «Энергосервис»

Научный руководитель – Мокеев Алексей  
Владимирович, д.т.н., доцент, профессор



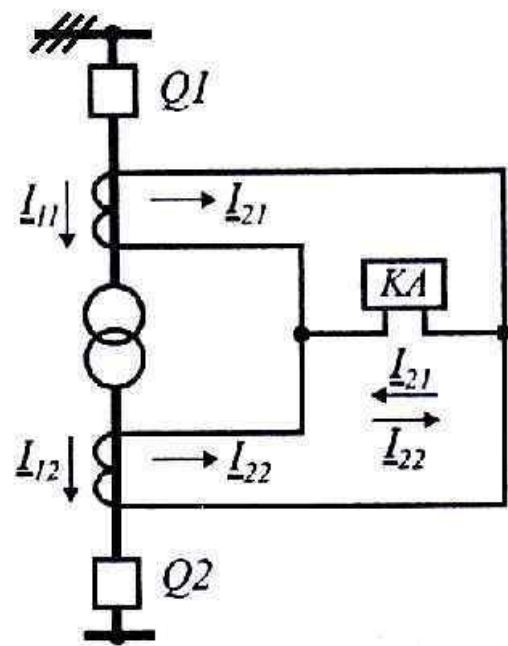
# Дифференциальная защита силовых трансформаторов

Назначение:

Основная быстродействующая защита от внутренних повреждений и на выводах

Требования:

- Чувствительность ко всем видам внутренних КЗ (витковых, междувитковых, на выводах)
- Отсутствие ложных срабатываний при внешнем КЗ, насыщении сердечников трансформаторов тока (ТТ), БНТ, перегрузках и регулировании напряжения (РПН)



Принципиальная схема



Разрушение витковой изоляции – наиболее частое повреждение

# Влияние насыщения ТТ на работу дифференциальных защит

## Проблема:

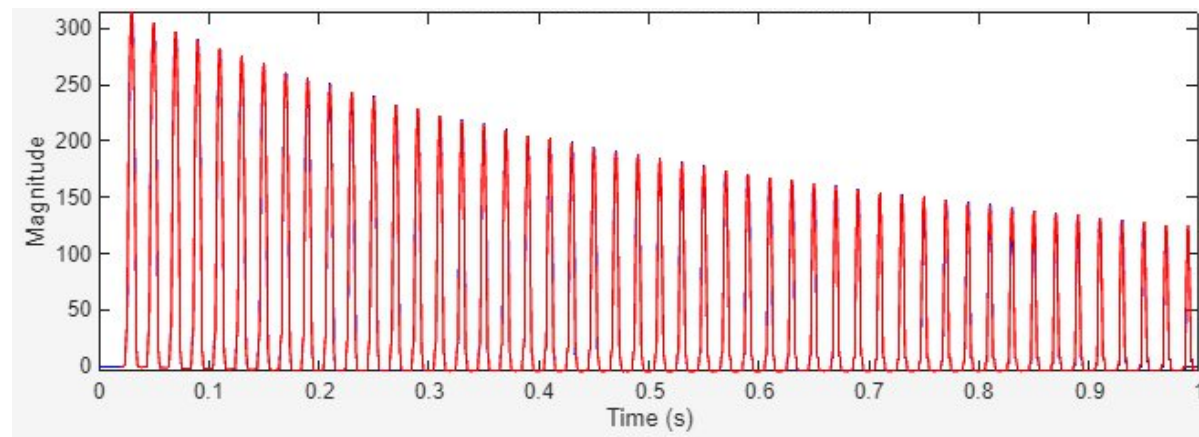
Наличие апериодической составляющей и остаточной индукции в токе первичной цепи



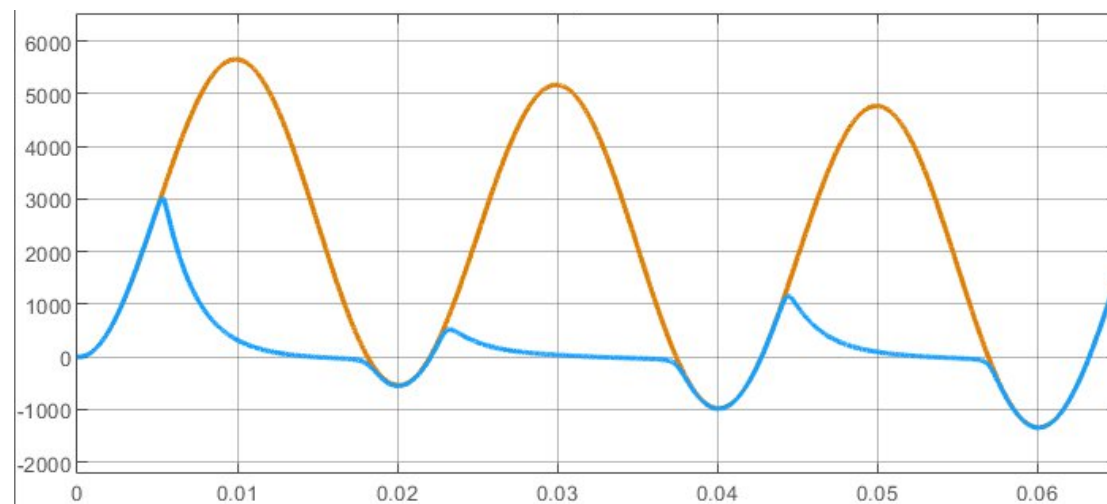
Насыщение магнитопровода ТТ и искажение вторичного тока

## Опасные последствия:

- Ложное срабатывание: рост дифференциального тока и уменьшение тормозного тока
- Отказ/Замедление: снижение амплитуды измеряемого тока и появление гармоник (2-я, 5-я), как следствие, ложная блокировка защиты от БНТ

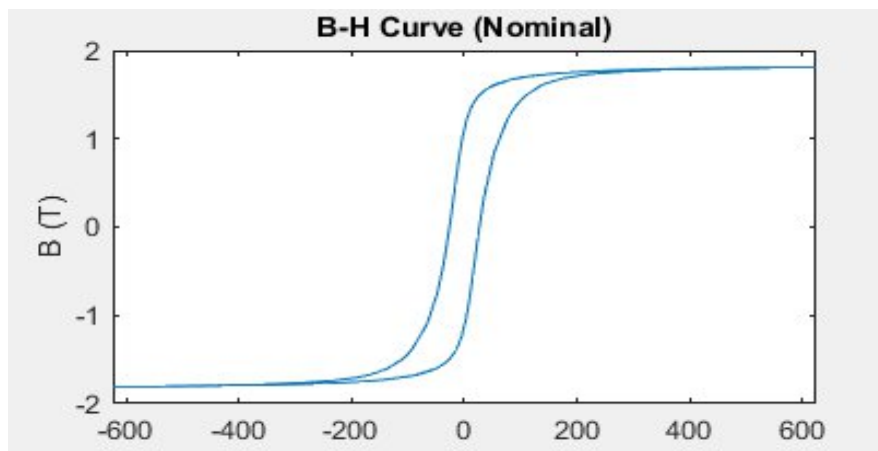


Осциллограмма тока при БНТ



Осциллограмма первичного тока при КЗ  
и вторичного при насыщении

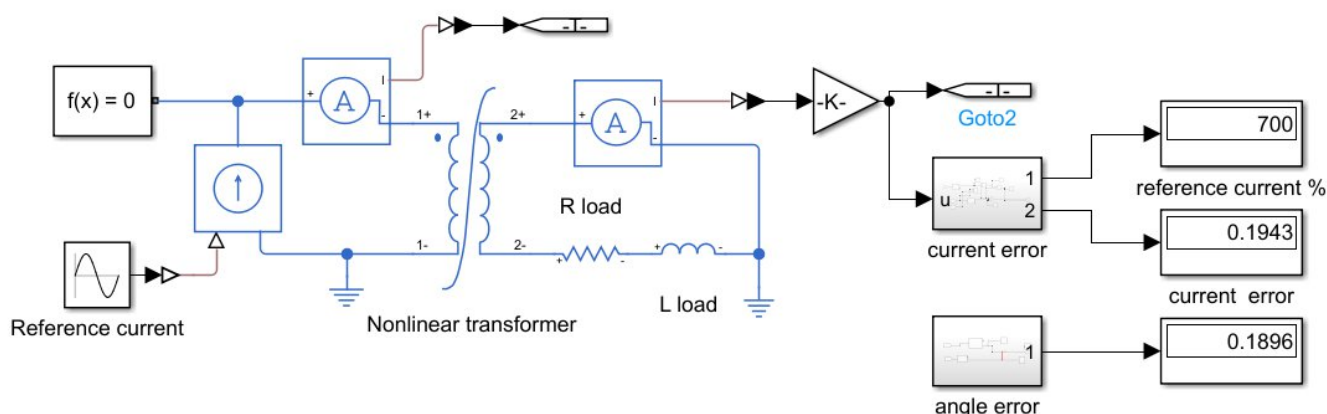
# Математическое моделирование трансформатора тока



## Параметры релейной обмотки ТПЛ-10 0,5/10Р-300/5

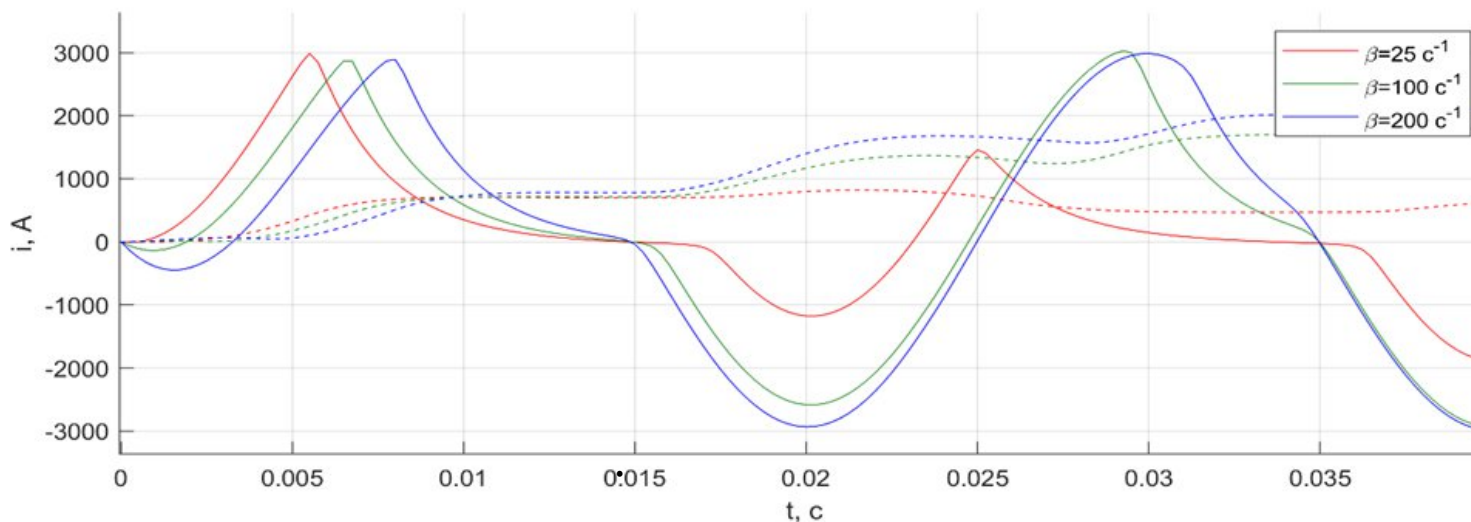
Параметр	Значение
Количество витков (первичных/вторичных)	2/119
Активное сопротивление вторичной обмотки	0,18 Ом
Индуктивность рассеяния вторичной обмотки	0,0007 Гн
Длина средней линии магнитопровода	0,48 м
Площадь поперечного сечения магнитопровода	$7,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$
Предельная кратность при вторичной нагрузке 1,2 Ом	9
Токовая погрешность при предельной кратности, полученная при моделировании	7%

## Петля гистерезиса для стали магнитопровода ТТ



## Математическая модель ТТ в Matlab/Simulink

# Результаты моделирования



Ток вторичной обмотки ТТ, приведённый к первичной

Время насыщения магнитопровода ТТ при различных  $\beta$

$\beta, \text{с}^{-1}$	$\delta_i$	$t_{\text{нас}}, \text{мс}$
2	66%	5,25
25	62%	5,5
50	55%	6
100	44%	6,5
200	33%	8

- Ток КЗ:  $7I_{\text{ном}}$  (2100 А)
- Исследована зависимость степени искажения вторичного тока от величины экспоненциальной составляющей тока КЗ

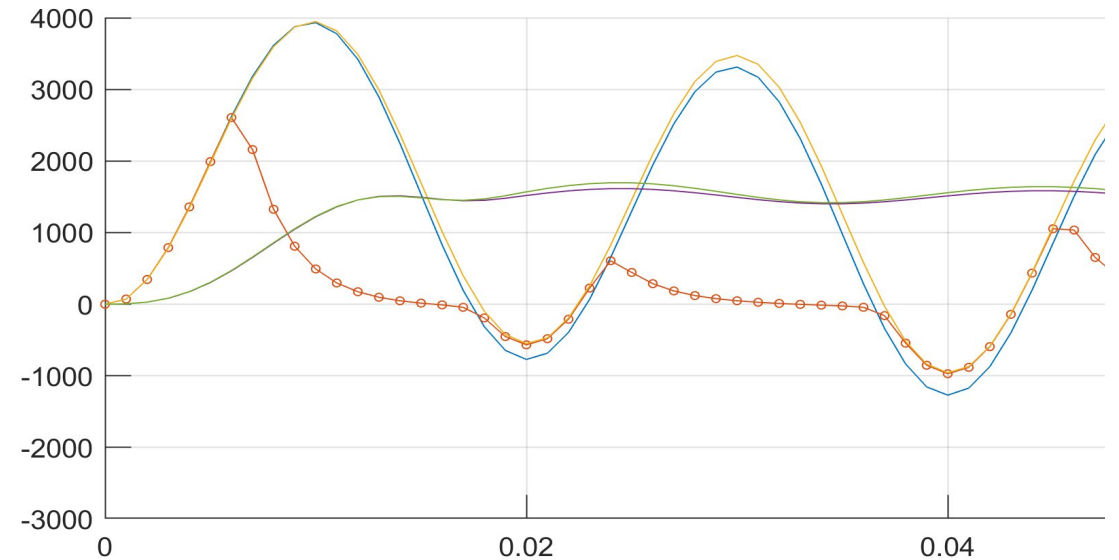
С уменьшением  $\beta$ :

- Увеличивается степень искажения вторичного тока
- Уменьшается время насыщения сердечника ТТ.

# Восстановление формы вторичного тока ТТ при насыщении магнитопровода

## Известные методы

- С использованием характеристик намагничивания
- Восстановление по участкам «правильной» трансформации
- Измерение синхровекторов высших гармоник тока ТТ



Нет универсального решения !

# Заключение

- Насыщение сердечников ТТ получило широкое распространение как причина некорректной работы дифференциальной защиты СТ
- Возможным способом решения - восстановление формы искажённого в результате насыщения тока ТТ
- Разработана математическая модель ТТ, позволяющая исследовать степень его насыщения в зависимости от различных параметров: А) параметры ТТ; Б) режим работы энергосистемы; В) характер переходных процессов
- В дальнейшем модель будет использована для исследования вопроса совершенствования систем дифференциальных защит трансформаторов, в том числе в части алгоритмов восстановления формы тока ТТ при насыщении магнитопровода.

Спасибо за внимание!