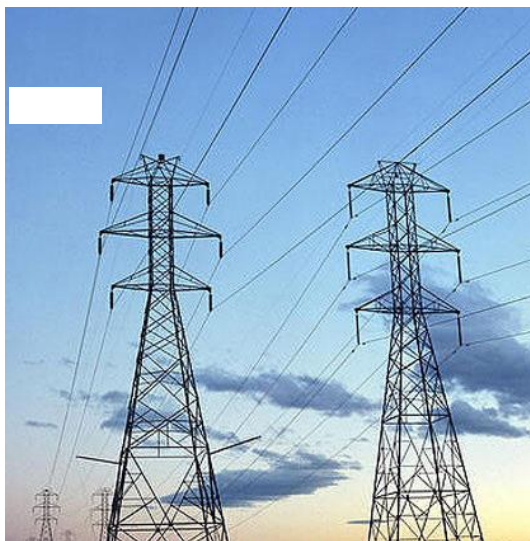


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

М. А. Кузнецов, П. В. Крючин, М. Р. Фатхутдинов

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА

Практикум



Кинель 2015

УДК 631.371(07)
ББК 40.76(07)
К75

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. кафедры «Энергетика» Азово-Черноморского
инженерного института ФГБОУ ВО Донского ГАУ

И. В. Юдаев;

канд. техн. наук, начальник Кинельского отделения ПАО «Самараэнерго»

О. В. Мушкатов

Кузнецов, М. А.

К75 Релейная защита : практикум / М. А. Кузнецов, П. В. Крючин,
М. Р. Фатхутдинов. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – 110 с.

ISBN 978-5-88575-396-8

Практикум содержит теоретический материал и рекомендации по выполнению практических занятий по дисциплине «Релейная защита».

Предназначен для бакалавров, обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия».

ISBN 978-5-88575-396-8

УДК 631.371(07)
ББК 40.76(07)

© Кузнецов М. А., Крючин П. В., Фатхутдинов М. Р., 2015
© ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Релейная защита – неременная и обязательная составная часть всех электроэнергетических объектов, установок, систем, имеющая особое и самостоятельное функциональное назначение.

Релейная защита формирует базовую подготовку специалиста по системам электроснабжения.

Практикум «Релейная защита» знакомит обучающихся с существующими устройствами релейной защиты и автоматики, управления, сигнализации и телемеханики.

Цель издания – помочь студентам приобрести практические навыки в проведении моделирования, освоить методики расчета уставок защит объектов, способов настройки и проверки релейной защиты.

Пособие «Релейная защита» содержит большое количество схем, позволяющих лучше усвоить принцип действия релейной защиты.

Контрольные вопросы после каждой практической работы позволяют проверить знания обучающихся.

В процессе изучения данного практикума у студентов должны формироваться следующие профессиональные компетенции:

- ✓ готовность к использованию технических средств автоматики и систем автоматизации технологических процессов;
- ✓ способность и готовность анализировать научно-техническую информацию;
- ✓ способность контролировать режимы работы оборудования объектов электроэнергетики;
- ✓ готовность к участию в проектировании технических средств и технологических процессов производства, систем электрофикации и автоматизации сельскохозяйственных объектов;
- ✓ способность осуществлять оперативные изменения схем, режимов работы энергообъектов.

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ

При работе на стендах необходимо соблюдать «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

При проведении практических работ сборка схем и изменения в исследуемых схемах проводятся только при отключенном напряжении питания.

К выполнению лабораторных работ допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

При замене предохранителей или перед снятием задней стенки стенда необходимо отключить стенд от питающей сети.

Корпус стенда должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не более 4 Ом.

Включение питания стенда и выполнение работ производить только после разрешения преподавателя.

Лабораторно-практическая работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА (ТТ)

Цель работы: ознакомиться с конструктивными особенностями трансформаторов тока. Изучить сведения о трансформаторах тока, используемых в схемах релейной защиты. Провести испытание трансформаторов тока.

Измерительные приборы, аппараты релейной защиты и автоматики включают через измерительные трансформаторы тока. Они являются наиболее распространенной разновидностью первичных преобразователей тока и позволяют:

- 1) отделить первичные цепи защищаемых элементов от вторичных цепей измерения и контроля, что обеспечивает безопасность измерений и удобство обслуживания приборов и реле;
- 2) стандартизовать приборы и реле, рассчитывая их обмотки на определенный ток (номинальный вторичный ток трансформаторов тока обычно равен 5А);
- 3) защитить от протекания токов короткого замыкания (КЗ) непосредственно по последовательно включенным обмоткам измерительных приборов и реле;
- 4) существенно снизить сечение и стоимость контрольных кабелей и проводов;
- 5) устанавливать приборы и реле на значительном расстоянии от первичных цепей, в которых производятся измерения.

Принцип действия ТТ. Трансформатор тока состоит из замкнутого магнитопровода, на котором расположены первичная W_1 и вторичная W_2 обмотки. Первичная обмотка последовательно включается в контролируемую цепь и обтекается током I_1 . Ко вторичной обмотке подключаются измерительные приборы и реле. Токовые обмотки измерительных приборов и реле включаются между собой, последовательно по ним протекает вторичный ток I_2 .

Для трансформаторов тока характерным является то, что число витков вторичной обмотки W_2 больше числа витков первичной обмотки W_1 , а значение первичного тока I_1 не зависит от нагрузки во вторичной цепи и определяется только параметрами и нагрузкой первичной цепи. Соответственно и магнитный поток первичной цепи Φ_1 создаваемый током I_1 остается постоянным

при изменениях во вторичной цепи. Сопротивление нагрузки вторичной цепи (токовые обмотки реле, приборов, соединительных проводов) невелико и поэтому трансформатор тока работает в режиме, близком к короткому замыканию.

Следует отметить, что под нагрузкой трансформаторов тока обычно понимают или полное сопротивление Z_H его внешней вторичной цепи (Ом), равное сумме сопротивлений всех последовательно соединенных обмоток приборов, и других элементов, а также соединительных проводов и контактов, или мощность (В·А), потребляемую нагрузкой $S_H = I_2^2 Z_H$.

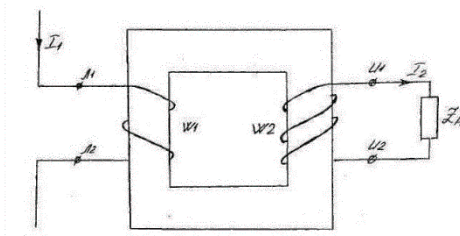


Рис. 1.1. Схема включения трансформатора тока

Работа трансформатора тока характеризуется уравнением намагничивающих сил, согласно которому намагничивающие силы (Н.С.) первичной $I_1 W_1$ и вторичной $I_2 W_2$ обмоток и создаваемые ими магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 геометрически складываются, создавая результирующий поток Φ_T в трансформаторе тока $I_1 W_1 + I_2 W_2 = I_{нам} W_1$ или $\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_T$.

Рабочий магнитный поток Φ_T пронизывает обе обмотки TT и наводит во вторичной обмотке электродвижущую силу (ЭДС) E_2 , которая создает в замкнутой цепи вторичной обмотки ток I_2 .

Магнитный поток Φ_T создается намагничивающей силой, равной $I_{нам} W_1$ иначе говоря, током намагничивания $I_{нам}$, который является частью первичного тока I_1 . Таким образом, во вторичный ток трансформируется лишь часть первичного тока:

$$I_2 = -(I_1/n_a - I_{нам}/n_a), \quad (1.1)$$

где $n_a = W_2/W_1$ – витковый коэффициент трансформации трансформатора тока.

В нормальном режиме при рабочих токах значение намагничивающего тока $I_{\text{нам}}$ невелико (0,5-3)% и поэтому коэффициент трансформации трансформатора тока можно определять как отношение первичного тока ко вторичному и он приблизительно равен витковому коэффициенту $n_e = I_1/I_2 \approx W_2/W_1$.

При расчетах релейной защиты, если ток намагничивания не превышает 10% первичного тока, коэффициент трансформации TT принимают равным $I_T = I_1/n_T$ и через него вычисляют вторичные токи (токи в реле) $I_2 = I_1/n_T$.

Погрешности трансформаторов тока. У трансформаторов тока различают три вида погрешностей: токовую, полную и угловую. Погрешности TT зависят от степени насыщения магнитопровода и тесно связаны друг с другом.

Наглядное представление о таком процессе дает схема замещения TT . В схеме замещения магнитная связь между обмотками заменяется электрической, а все первичные величины приведены к значениям вторичной стороны трансформатора тока через коэффициент трансформации $I'_1 = I_1/n_T$, $I'_{\text{нам}} = I_{\text{нам}}/n_T$.

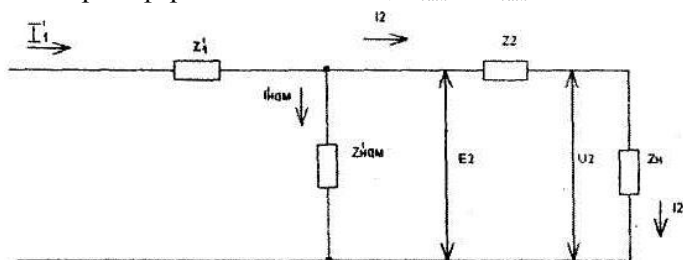


Рис. 1.2. Схема замещения трансформатора тока

Приведенные сопротивления первичной обмотки TT : $Z'_1 = Z_1/n_T^2$ и ветви намагничивания $Z'_{\text{нам}} = Z_{\text{нам}}/n_T^2$.

Чем больше значение первичного тока I_1 тем больше насыщение магнитопровода и тем меньше сопротивление ветви намагничивания $Z'_{\text{нам}}$. Вследствие этого тем больше будет ток в этой ветви $I'_{\text{нам}}$ и тем меньший ток I_2 попадает в нагрузку.

Из схемы замещения видно, что рост намагничивающего тока может произойти не только при глубоком насыщении магнитопровода, но и при непредусмотренном увеличении сопротивления

нагрузки Z_n . При этом происходит не только уменьшение тока I_2 , но и искажается форма кривой этого тока.

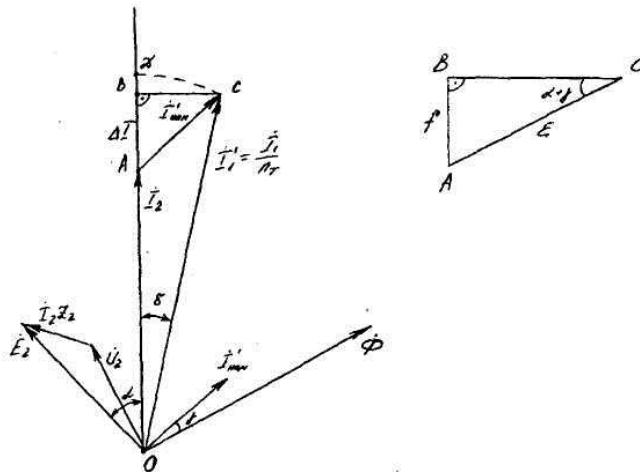


Рис. 1.3. Векторная диаграмма и «треугольник погрешностей» трансформатора тока

На основе схемы замещения строится векторная диаграмма трансформатора тока. При построении векторной диаграммы за исходный принят вектор вторичного тока I_2 .

Вектор напряжения U_2 на диаграмме опережает вектор вторичного тока I_2 на угол полного сопротивления вторичной нагрузки Z_n , $U_2 = I_2 \cdot Z_n$.

Электродвижущая сила вторичной обмотки отличается от U_2 за счет падения напряжения в сопротивлении вторичной обмотки оттока I_2 , $E_2 = U_2 + I_2 \cdot Z_n$. Вектор E_2 опережает I_2 на угол α . Вектор магнитного потока трансформатора Φ отстает от вектора наведенной им ЭДС на 90° . Намагничивающий ток трансформатора тока $I_{нам}$, создающий поток Φ , опережает последний на угол γ , обусловленный потерями в стали магнитопровода. Вектор приведенного первичного тока I'_1 на диаграмме получен как сумма векторов вторичного тока I_2 и тока намагничивания $I'_{1нам}$, $I'_1 = I_2 + I'_{1нам}$. Величина ΔI , равная арифметической разности между $I'_1 = I_1/n_T$ и I_2 называется токовой погрешностью, (отрезок AD по векторной диаграмме) обозначается буквой f и вычисляется по формуле

$$f = ((I_2 + I'_{1нам})/I'_1) \times 100, \% \quad (1.2)$$

где $I'_1 = I_1/n_1$,
отсюда

$$f = ((n_1 \cdot I_2 - I_1)/I_1) \times 100.$$

Под угловой погрешностью понимается угол δ между векторами токов I_2 и I'_1 . Угловая погрешность δ показывает, насколько действительный ток I_2 сдвинут относительно «идеального тока» рассчитанного по формуле $I_2 = I_1/n_1$.

Абсолютное значение вектора тока намагничивания $I_{\text{нам}}$ (равного геометрической разности вектора приведенного первичного тока I'_1 и вектора действительного вторичного тока I_2) называется полной погрешностью TT , обозначается греческой буквой ε , выражается в процентах и вычисляется по формуле

$$\varepsilon = (I_{\text{нам}} / |I'_1|) \cdot 100, \%, \quad (1.3)$$

где $|I_{\text{нам}}|$ и $|I'_1|$ – действующие значения тока намагничивания и приведенного первичного тока.

Из векторной диаграммы трансформатора тока видно, что при $\delta > 0$ всегда $\varepsilon > f$. Следует отметить, что при $\varepsilon < 10\%$ токовая погрешность $f < 9\%$, а угловая $\delta < 7^\circ$, что является допустимым для нормальной работы большинства защит.

Классы точности TT . Измерительные трансформаторы тока выпускаются пяти классов точности: 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Указанные цифры представляют собой токовую погрешность в процентах от номинального тока при нагрузке первичных обмоток током $100 \div 120\%$ для первых трех классов и $50-120\%$ для двух последних. Для трансформаторов тока классов точности 0,2; 0,5 и 1 нормируется также и угловая погрешность.

Трансформаторы тока класса 0,2 используют для лабораторных измерений, класса 0,5 для включения счетчиков электроэнергии и проведения коммерческих расчетов, класса 1 и 3 для подключения других измерительных приборов и реле, класса 10 для питания токовых реле и оперативных цепей релейных защит.

Большинство трансформаторов тока выполняют с двумя сердечниками, на каждом из которых размещают свою вторичную обмотку. Первичная обмотка у них общая. Трансформаторы тока с двумя вторичными обмотками могут иметь как одинаковые, так и разные классы точности.

При разных классах точности, к одной обмотке с более высоким классом присоединяют измерительные приборы (обмотки для измерений), а к другой – реле защиты (обмотка для защиты).

Шкала номинальных токов первичных обмоток трансформаторов тока $I_{н1}$: 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 250; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 1000 А и более.

Опасность размыкания вторичной обмотки ТТ. В нормальных условиях намагничивающий ток трансформатора тока мал (меньше 10%), так как он заранее подбирается таким по допустимому значению сопротивления нагрузки Z_n исходя из условия работы ТТ с малыми погрешностями.

При случайном размыкании вторичной обмотки первичный ток I_1 является током намагничивания и магнитный поток трансформатора Φ_t резко возрастает. В результате повышения потерь в стали магнитопровода (сердечника ТТ) происходит его сильный нагрев вплоть до пожара. При этом мгновенные значения, наведенные потоком Φ_t ЭДС E_2 могут оказаться очень большими опасными для изоляции ТТ и для жизни обслуживающего персонала, даже при нормальных рабочих токах, защищаемого элемента.

Поэтому при эксплуатации запрещается разрывать вторичную цепь работающего трансформатора тока, тем более что это может совпасть с режимом КЗ первичной цепи. Перед отключением какого-либо прибора от трансформатора тока необходимо предварительно замкнуть накоротко его вторичную обмотку и после этого отключить прибор или реле.

Обозначение выводов. При изготовлении трансформаторов тока выводы их первичной и вторичной обмоток условно обозначаются (маркируются) так, чтобы при помощи этих обозначений можно было определять направления вторичного тока по направлению первичного.

Выводы первичной обмотки могут обозначаться произвольно: один из них принимается за начало и обозначается буквой L_1 , а второй за конец обмотки и обозначается буквой L_2 . Маркировка выводов вторичной обмотки выполняется по следующему правилу. При прохождении тока в первичной обмотке от начала L_1 к концу L_2 за начало вторичной обмотки U_1 принимается тот ее вывод, из которого в этот момент ток вытекает в цепь нагрузки.