

2. *Круглов В. В., Борисов В. В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия–Телеком, 2001. 382 с.

3. *Саттон Ричард С., Барто Эндрю Г.* Обучение с подкреплением. Reinforcement Learning. 2-е издание. М.: ДМК Пресс, 2020. 552 с.

Кочетов И.Д., Лямец Ю.Я.
(Чебоксары, ЧГУ, ООО «Релематика»)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА ПО ЛОКАЛЬНЫМ КОМПОНЕНТАМ НАБЛЮДАЕМЫХ ВЕЛИЧИН

Режимы наблюдаемого энергообъекта, несущие информацию о том или ином его состоянии, можно разделить на две группы. К первой группе относятся те режимы, которые наблюдаются непосредственно в самом энергообъекте, – это предшествующий и текущий режимы, сменяющие друг друга в момент возникновения возмущения в энергообъекте. Ко второй группе можно отнести так называемые виртуальные режимы, к которым относятся чисто аварийный режим и обнаруженный относительно недавно локальный режим. Отличительной особенностью второй группы режимов является то, что они действуют в пассивной модели наблюдаемого объекта и активируются источником в месте возникновения этого возмущения. Особую информационную ценность несёт в себе локальный режим наблюдаемого энергообъекта, поскольку концентрирует в себе информацию о месте повреждения и не зависит от внешних связей объекта с остальной энергосистемой.

Рассмотрим режим энергообъекта, наблюдаемого с двух сторон, который обусловлен коммутацией, произошедшей в некотором месте f . Внешние связи объекта, содержащие источники, на рис.1 не показаны. В местах s и r регистрируются векторы токов и напряжений $\mathbf{i}_s, \mathbf{u}_s; \mathbf{i}_r, \mathbf{u}_r$. Помимо этих величин на рис. 1 показаны неизвестные векторы токов и напряжений \mathbf{i}_f и \mathbf{u}_f в ком-

мутируемой ветви. Рассматриваемые величины могут быть представлены в виде четырёх пар известных источников, активирующих модель объекта: 1) u_s, u_r , 2) u_s, i_r , 3) i_s, u_r , 4) i_s, i_r . В свою очередь неизвестные величины также могут быть представлены либо как источником тока i_f , либо как ЭДС u_f .

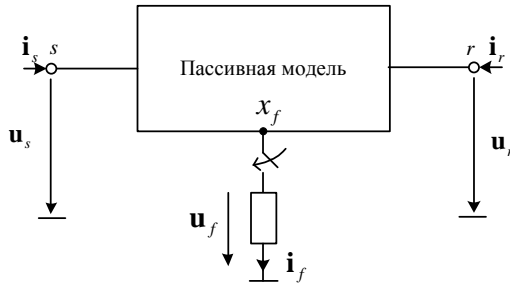


Рис. 1. Модель объекта в наблюдаемом режиме

Действие каждой из четырёх пар известных источников и одного из неизвестных порождает четыре пары виртуальных режимов, получивших название нормальных и локальных режимов. Каждый из четырёх возможных типов нормальных режимов создаётся известными источниками, воздействующими на входы модели. Каждому типу нормальных режимов отвечают разные реакции модели 1) $i_{1s\text{ нм}}, i_{1r\text{ нм}}$, 2) $i_{2s\text{ нм}}, u_{2r\text{ нм}}$, 3) $u_{3s\text{ нм}}, i_{3r\text{ нм}}$, 4) $u_{4s\text{ нм}}, u_{4r\text{ нм}}$, где в индексах указан порядковый номер пары нормальных и локальных составляющих наблюдаемого режима. Локальные режимы создаются источником неизвестного тока i_f , действующим из неизвестного места f . При этом источники, создающие нормальные режимы, обнуляются. Место источника напряжения занимает шунт, а источника тока – разрыв (рис. 2). Реакцией моделей будут четыре типа локальных величин: 1) $i_{1s\text{ лк}}, i_{1r\text{ лк}}$, 2) $i_{2s\text{ лк}}, u_{2r\text{ лк}}$, 3) $u_{3s\text{ лк}}, i_{3r\text{ лк}}$, 4) $u_{4s\text{ лк}}, u_{4r\text{ лк}}$, определяемые из наблюдаемых величин как

$$u_{k\text{ лк}} = u_k - u_{k\text{ нм}}, \quad i_{k\text{ лк}} = i_k - i_{k\text{ нм}}. \quad (1)$$

Задача идентификации режимов работы трансформатора состоит в том, чтобы на основе локальных составляющих наблю-

даемого процесса разграничить всевозможные режимы его работы. При этом если режим создаётся извне, то локальные составляющие будут на нулевом уровне, поскольку локальный режим возникает только при возмущениях в самом энергообъекте. Поэтому к числу рассматриваемых режимов отнесём витковые замыкания в обмотках трансформатора и режим броска намагничивающего тока (БНТ) при его включении. Данные режимы возникают в трансформаторе и связаны с процессами, источники которых находятся в нём самом. Однако в режиме броска намагничивающего тока действие источника, создающего возмущение, обусловлено насыщением стали магнитопровода трансформатора, в то время как при витковых замыканиях их источником становятся короткозамкнутые витки.

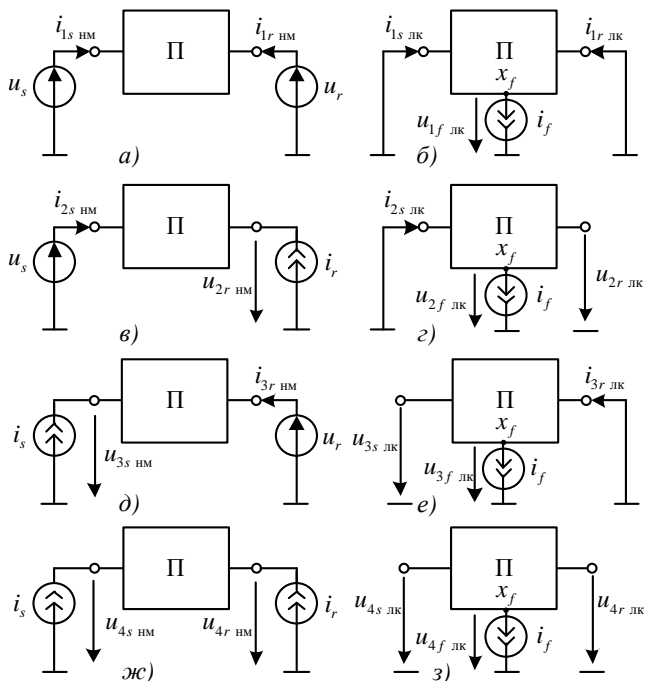


Рис. 2. Разновидности нормальных и локальных режимов наблюдаемого объекта

Рассмотрим в качестве примера однофазный трансформатор мощностью 10 МВА и параметрами обмотки ВН $U_{\text{ном.фВН}} = 63,5 \text{ кВ}$, $Z_{\text{ВН}} = 7,02 + j63,14 \text{ Ом}$ и обмотки НН $U_{\text{ном.фНН}} = 6,35 \text{ кВ}$, $Z_{\text{НН}} = 0,07 + j0,63 \text{ Ом}$. Модели трансформатора для текущего, нормального и локального режимов при витковом замыкании на стороне НН трансформатора и при БНТ, а также характеристика намагничивания представлены на рис. 3.

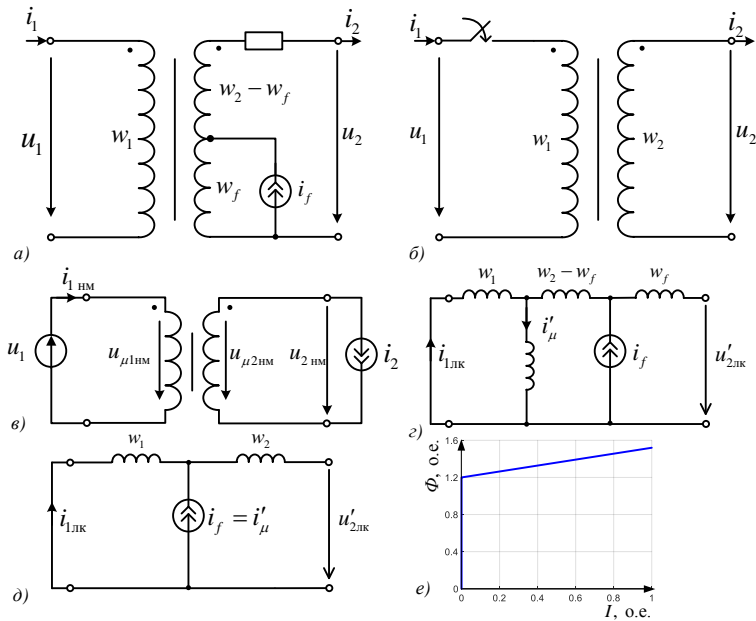


Рис. 3. Модели трансформатора: *а* – в режиме виткового замыкания; *б* – в режиме БНТ; *в* – модель нормального режима; *г* – модель локального режима при витковом замыкании; *д* – модель локального режима при БНТ; *е* – характеристика намагничивания

Применение метода локальных компонентов для определения места повреждения (ОМП) линии электропередачи было рассмотрено ранее [1]. Как оказалось, для задачи ОМП востребована модель локального режима с короткозамкнутыми выходами (рис. 2, б), в то время как для энергообъекта, содержащего

в своём составе магнитную цепь, оказались востребованы модели локального режима с разомкнутым с одной стороны и замкнутым с другой выводами (рис. 2, з, е) [2]. Тогда в качестве критерия, разграничивающего рассматриваемые разнородные режимы, выберем оценку подобию мгновенных локальных токов и напряжений

$$\hat{\sigma} = \frac{\int_0^t u'_{2\text{лк}}(\xi) \frac{di_{\text{лк}}(\xi)}{d\xi} d\xi}{\int_0^t \left(\frac{di_{\text{лк}}(\xi)}{d\xi} \right)^2 d\xi}, \quad (2)$$

где $i_{\text{лк}}$ – мгновенный локальный ток обмотки ВН трансформатора; $u'_{r\text{лк}}$ – приведённое мгновенное локальное напряжение обмотки НН.

Процедура разграничения режимов витковых замыканий и БНТ в трансформаторе приведена на рис. 4.

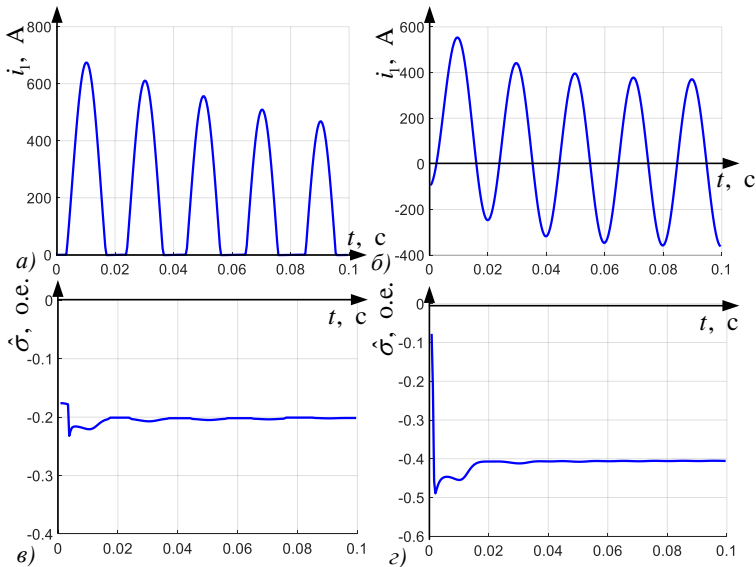


Рис. 4. Идентификация режимов БНТ и витковых замыканий:
 а, б – наблюдаемые токи на стороне ВН трансформатора;
 в, г – оценка подобию локальных компонентов

Таким образом, оценка подобия локальных компонент (2) для режима БНТ (рис. 4, а, в) и режима виткового замыкания (рис. 4, б, г) позволяет отличить их друг от друга и, соответственно, идентифицировать каждый из рассматриваемых наблюдаемых режимов работы трансформатора.

Литература

1. Кочетов И. Д., Лямец Ю. Я., Макашкин Ф. А. Распознающая способность локальных токов при двухстороннем наблюдении линии электропередачи // Электрические станции. 2020. № 6. С. 54–58.

2. Кочетов И. Д., Лямец Ю. Я. Распознавание витковых замыканий в обмотке трансформатора по локальным составляющим наблюдаемых напряжений и токов // Известия РАН. Энергетика. 2022. № 1. С. 57–65.

Дементий Ю.А., Шорников Е.В.
(Чебоксары, ООО «Релематика»)

АКТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ. МНОГОМЕРНЫЕ ИНТЕРВАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ

Одна из основных задач при построении алгоритма параметрической идентификации – наиболее полное использование имеющейся информации о режиме работы объекта для определения его параметров. Имеющиеся в настоящее время алгоритмы не используют доступную информационную базу в полной мере, что является причиной уменьшения эффективности их работы. Несмотря на то, что существуют различные адаптивные модификации алгоритмов, их результативность не всегда достигает предела, соответствующего используемой информационной базе [1]. Кроме того, методы построения подобных алгоритмов не универсальны и подходят только для одного конкретного типа задач. Это является следствием того, что принципы построения алгоритмов параметрической идентификации зависят от доступной информационной базы и представляют собой лишь