

В таблице приведены параметры трансформаторов, характерные для различных неисправностей.

Существенно изменяющиеся параметры трансформаторов, характерные для различных неисправностей

Неисправность	Опыт холостого хода	Измерения с помощью <i>RLC</i> -метра
1. Деформация магнитопровода	$P_0 \uparrow, r_0 \downarrow$	–
2. Механическая деформация обмоток	–	$L \uparrow, r_L \uparrow, C \downarrow$
3. Межвитковые короткие замыкания	$P_0 \uparrow \uparrow, r_0 \uparrow \uparrow$	$L \downarrow$
4. Междофазное замыкание обмоток	–	$r_L \uparrow \uparrow, C \downarrow \downarrow$

Примечание. r_L – активное сопротивление проволоки катушки индуктивности.

Таким образом, анализируемая математическая модель трансформатора, построенная на основе *T*-образной схемы замещения, позволит обучать нейронную сеть и применять этот метод диагностики к абсолютно любому трансформатору.

Литература

1. Пехота, А. Н. Диагностика трансформаторов с помощью сверточных нейронных сетей / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громько // Энергоэффективность. – 2021. – № 2. – С. 30–36.
2. Паздников, И. Л. Определение короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов и дросселей / И. Л. Паздников // Радио. – 1990. – № 7. – С. 68–69.
3. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций : учеб. пособие / А. И. Хальясмаа [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 64 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ОСТАТОЧНОМУ НАПРЯЖЕНИЮ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ

А. С. Исанов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. О. Г. Широков

Изменения параметров входного напряжения в электросети во многих случаях связаны с провалами напряжения. Так, в соответствии с ГОСТ 32144–2013 определяется кратковременное снижение напряжения в конкретной точке электрической системы, когда оно опускается ниже порогового значения. После понижения, которое длится от 10 мс до одной минуты, напряжение восстанавливается до исходного значения.

Провалом считают понижение напряжения ниже 90 % от номинального. Безопасным будет уровень, который не превышает отклонение напряжения на 10 %. Очень часто провалы носят случайный характер, а регулярность их появления зависит от конструкции электрической системы, мощности и типа потребителей, точки наблюдения и природных явлений.

В среднем производственное предприятие от 10 до 30 раз в году сталкивается с провалами напряжения, причем в распределительной воздушно-кабельной сети они возникают в три раза чаще, чем в кабельной.

Причины появления провалов

Токи включения. Вызывают мощные электродвигатели, конденсаторы и другие устройства. При их включении резко увеличивается сила тока на короткое время, а сопротивление остается прежним, поэтому на такое же время напряжение уменьшается до критической отметки (возникает провал).

Короткое замыкание (КЗ) в сети низкого напряжения. В этом случае в электросети возникает ток КЗ. Его величина напрямую зависит от суммарного значения сопротивлений и длины кабеля – чем оно больше, тем меньше сила тока. При КЗ происходит падение напряжения по полному сопротивлению, в результате чего появляется кратковременный провал напряжения.

Короткое замыкание в сети среднего напряжения. Если в предыдущем случае последствия от кратковременного провала напряжения минимальные, в сетях среднего напряжения вреда от них намного больше. Здесь причинами провалов могут быть земляные работы, механические повреждения соединительной муфты, естественный износ кабеля, КЗ в воздушных сетях. Ток большой силы, который возникает в результате КЗ, приводит к провалу напряжения во всей сети.

Короткое замыкание в сети высокого напряжения. Наиболее частая причина – грозы и ошибочные включения (человеческий фактор).

Проблемы в распределительных цепях. Провалы напряжения возникают в случае повреждения участка цепи. Продолжительность и глубина провала зависят от топологии цепи, суммарного сопротивления на поврежденном участке и мощности подключенной нагрузки.

Меры защиты от провалов

До 75 % провалов напряжения возникают в результате КЗ в сетях среднего напряжения, вторая по популярности причина – пусковые токи. В большинстве этих случаев КЗ невозможно предотвратить, а вот в местах, где оно возникает по другим причинам, можно снизить его вероятность. Например, использовать системы АПВ (автоматического повторного включения). Они помогают избежать критических последствий от провалов. АПВ повторно подключают отключенный участок сети под напряжение, в случае неуспеха повторяют попытку, и так несколько раз в зависимости от конфигурации цепи.

Системы, в которых возможно появление пусковых токов, дорабатывают таким образом, чтобы включение потребителей не провоцировало критического падения напряжения. Оптимизация выражается в компенсировании провалов при резком падении и в возвращении нагрузки к номинальному значению. В отдельных случаях эффективным будет установить стабилизирующее оборудование на стороне потребителей.

Там, где реализовать перечисленные методы дорого или невозможно по техническим причинам, внедряют инструменты, фиксирующие провалы. Полученные с их помощью данные анализируют и используют для определения причины провала. В этом случае целесообразно использовать источники бесперебойного питания, которые в течение определенного времени (зависит от емкости аккумуляторных батарей) обеспечивают потребителей качественной электроэнергией без провалов и других отклонений.

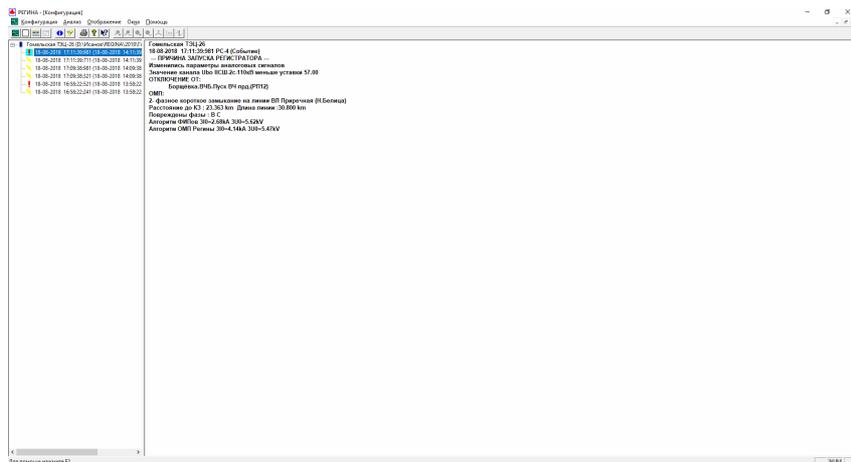


Рис. 1. Описание события

На рис. 1 видно зарегистрированное событие и его описание. В данном случае программа зарегистрировала двухфазное КЗ на линии 110 кВ Приречная.

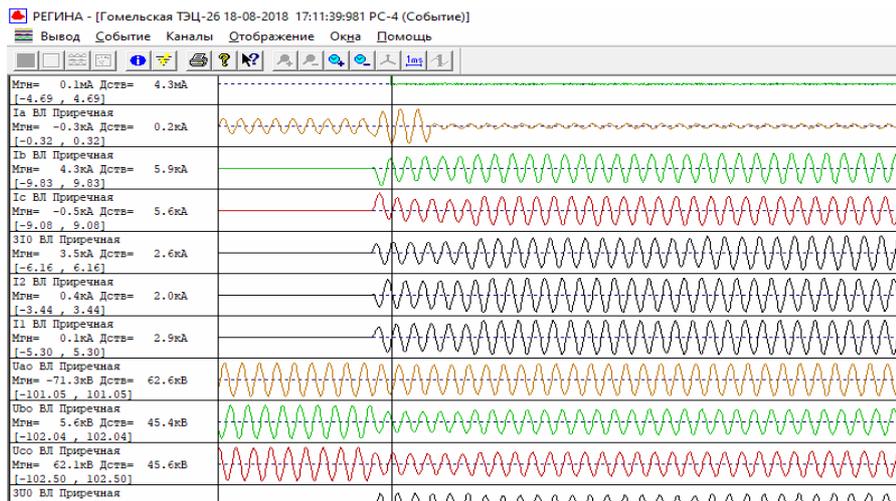


Рис. 2. Токовые осциллограммы

На рис. 2 показаны зарегистрированные провалы по току на второй и третьей фазах.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

М. В. Каминский

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководителем канд. техн. наук, доц. А. О. Добродей

Выбор режима заземления нейтрали в сети 6–35 кВ является важным вопросом при проектировании, эксплуатации и реконструкции электрических распределительных сетей.

Режим заземления нейтрали в сети 6–35 кВ определяет бесперебойность электроснабжения потребителей, безопасность персонала и электрооборудования при