

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311

Р.А. Буйный, канд. техн. наук

И.В. Дихтярук, инженер

А.В. Красножон, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

УСТРАНЕНИЕ ЗОНЫ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОСНОВНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 10 КВ ПРИ ПОМОЩИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ-РАЗЪЕДИНИТЕЛЯ ПРВТ-10

Рассмотрена возможность использования предохранителя-разъединителя ПРВТ-10 в качестве секционирующего устройства линий напряжением 10 кВ. Описан метод проверки чувствительности основной защиты линий 10 кВ при изменении нагрузки сети. Предложено использовать ПРВТ-10 для резервирования основной защиты отдаленных участков распределительной сети 10 кВ и трансформаторов. Рассмотрены возможные варианты места установки ПРВТ-10, а также положительные и отрицательные стороны предложенных вариантов.

Розглянуто можливість використання запобіжника-роз'єднувача вихлопного типу ПРВТ-10 як секціонуючий пристрій ліній напругою 10 кВ. Описано метод перевірки чутливості основного захисту ліній 10 кВ при зміні навантаження в мережі. Запропоновано використовувати ПРВТ-10 для резервування основного захисту віддалених ділянок розподільної мережі 10 кВ та трансформаторів. Розглянуто можливі варіанти місць установки ПРВТ-10, а також позитивні та негативні сторони запропонованих варіантів.

The possibility of using fuse-switch-disconnector ПРВТ-10 in the capacity of the device of the sectionalization of the lines with the voltage of 10 kV has been considered. The method of testing of the sensitivity of the main protection of lines 10 kV when the network load is changing has been described. The using of ПРВТ-10 for backing of main protection of remote areas of the distribution networks with the voltage of 10 kV and transformers have been suggested. Possible options of the place of installation of ПРВТ-10, positive and negative sides of the proposed options have been considered.

Вступление. Секционирование как один из самых эффективных способов повышения надёжности распределительных сетей давно зарекомендовал в распределительных сетях. Секционирующие устройства позволяют довольно быстро и достаточно эффективно определить поврежденный участок и локализовать его, тем самым уменьшая ущербы от недоотпуска электрической энергии потребителям.

Электрическая сеть напряжением 10 кВ, как правило, состоит из взаимно резервирующих линий древовидной конфигурации с сечениями проводов, которое ступенчато уменьшается к концу линий. Учитывая то, что большинство из них было построено в 60-70 годах прошлого столетия и в данный момент уже полностью отработали свой ресурс, сети напряжением 10 кВ требуют значительных инвестиций для обеспечения надлежащего уровня надежности электроснабжения потребителей.

В условиях современного рынка одним из важнейших факторов является экономический, который очень часто ограничивает применение современных высокопроизводительных коммутационных аппаратов и секционирующих устройств, таким образом способствуя внедрению более простых устройств автоматики (автоматические отделители, разъединители, оснащенные простейшими устройствами РЗ и т. п.).

Основные материалы исследований. Одним из значительных недостатков существующих защит линий напряжением 10 кВ является наличие «мертвой зоны» как в новых, так и в уже существующих сетях. Действующие распределительные сети имеют значительную протяженность и очень сложную структуру. С момента сооружения нагрузка в распределительных сетях значительно изменилась и часто установленная в начале линии защита является малочувствительной к коротким замыканиям (КЗ) на удаленных участках линии.

Согласно требованиям, изложенным в [1], первая ступень защиты выполняется в виде токовой отсечки, а вторая в виде максимальной токовой защиты (МТЗ) с зависимой от тока характеристикой выдержки времени. Из электромеханических реле наиболее рас-

розрахунком є індукційне реле типу РТ-85 з обмежено-залежною характеристикою часу спрацювання. Ці реле складаються з трьох елементів: індукційного, електромагнітного миттєвого дієвства (токова відсічка) і вказувального. Схеми максимальної токової захисти (МТЗ) на реле типу РТ-85 показані на рисунку 1.

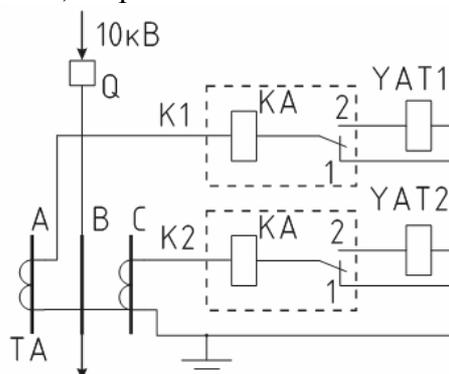


Рис. 1. Схеми максимальної токової захисти, виконані на реле типу РТ-85: К.1, К.2 – реле току типу РТ-85; Q – вимикач в лінії 10 кВ; ТА – трансформатор току

Розв'язок вище викладеної проблеми може бути досягнутий різними способами, такими як встановлення додаткових захистів в лінії, використання пунктів секціонування, зміна параметрів уже існуючих захистів і т. п. Одним з варіантів рішення вище викладеної проблеми може бути використання секціонуючих пристроїв, обладаних простішими видами захистів. Одним з них є предохранитель-разъединитель ПРВТ-10 (рис. 2). ПРВТ-10 призначений для зовнішньої установки на номінальне напругу 10 кВ, номінальні токи від 5 до 50 А, для захисту силових трансформаторів і розподільних мереж напругою 10 кВ від коротких замикань і перегрузок, включення і відключення ділянок мережі з відключеною навантажкою [2].



Рис. 2. Зовнішній вигляд предохранитель-разъединителя ПРВТ-10, встановленого на опорі повітряної лінії

Для рішення проблеми нечутливості захисти в мережах 10 кВ необхідно визначити умову, при якій захист не буде реагувати на короткі замикання. В мережах 10 кВ і нижче МТЗ є основним видом захисти від КЗ. При виборі току спрацювання захисти виходять з умови повернення вимірювального органу в початкове положення після його спрацювання при відключенні зовнішнього КЗ. Для цього необхідно, щоб ток повернення захисти був більше максимального можливого току в лінії після відключення зовнішнього КЗ. Ток спрацювання захисти визначається за формулою [3]:

$$I_{c.з} = \frac{k_{зан} \cdot k_{сз}}{k_6} \cdot I_{раб\ max}, \quad (1)$$

где $k_{зан}$ – коэффициент запаса, который обеспечивает надежное срабатывание защиты, вследствие учета погрешности реле ($k_{зан} = 1,2$);

$k_{сз}$ – коэффициент самозапуска нагрузки, отражающий увеличение рабочего максимального тока $I_{раб\ max}$ за счет одновременного пуска всех тех электродвигателей, которые затормозились при снижении напряжения во время КЗ. Максимальное значение коэффициента самозапуска при значительной доле двигательной нагрузки определяется расчетным путем для конкретных условий, но обязательно при наиболее тяжелом условии пуска полностью заторможенных электродвигателей. Коэффициент самозапуска может принимать значения от 1 до 3 для различных условий [1].

k_6 – коэффициент возврата пусковых органов реле,

$I_{раб\ max}$ – рабочий максимальный ток линии, А.

Для схемы сети 10 кВ максимальный рабочий ток с учетом перегрузки определяется по формуле:

$$I_{раб\ max} = \frac{1,4 \cdot S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (2)$$

где S_{Σ} – суммарная максимальная мощность, протекающая через головной выключатель, кВА;

U – номинальное напряжение сети, кВ.

Чувствительность защиты определяется коэффициентом чувствительности при КЗ в зоне ее действия:

$$K_{ч.} = \frac{I_k}{I_{c.з}}, \quad (3)$$

где I_k – минимальный ток КЗ в зоне действия защиты, А.

Для основной зоны защиты чувствительность обеспечивается при $K_{ч.} > 1,5$, а для резервной – $K_{ч.} > 1,2$. [1].

МТЗ не будет срабатывать при значениях тока короткого замыкания меньше тока срабатывания защиты, поскольку значение тока КЗ для замыканий в различных точках сети будет разным. Следовательно, для определения условия нечувствительности защиты будем использовать сопротивление линии до точки КЗ, при котором ток не будет превышать максимально допустимый.

Для расчета тока короткого замыкания схему замещения можно представить в виде эквивалентной ЭДС $E_{экв}$ и эквивалентного сопротивления до точки КЗ (рис. 3).

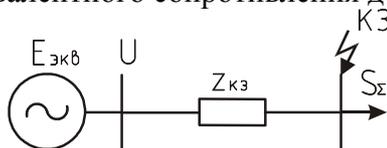


Рис. 3. Эквивалентная схема замещения для расчета токов КЗ

В таком случае ток трехфазного КЗ для участка сети можно определить по формуле:

$$I_{кз} = \frac{1,05 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot z_{кз}}, \quad (4)$$

где $z_{кз}$ – эквивалентное сопротивление до точки КЗ, Ом;

U – номинальное напряжение сети, кВ.

Зная параметры защиты линии и, используя формулы (1), (2) и (4) и выполнив ряд преобразований, можно определить допустимое сопротивление присоединения:

$$z_{кз} = \frac{1,05 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{k_{зан} \cdot k_{сз}}{k_6} \cdot \frac{1,4 \cdot S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U} \right)}. \quad (5)$$

Упростив выражение, получаем:

$$z_{кз} = \frac{0,75 \cdot k_6 \cdot U^2}{k_{зан} \cdot k_{сз} \cdot S_{\Sigma}}. \quad (6)$$

Поскольку $k_{зан}, k_6, k_{сз}$ являются справочными величинами, то выражение $\frac{0,75 \cdot k_6}{k_{зан} \cdot k_{сз}}$ можно представить в виде некоторого коэффициента K . Следовательно формула (6) примет вид:

$$z_{кз} = \frac{K \cdot U^2}{S_{\Sigma}}. \quad (7)$$

В зависимости от параметров нагрузки защищаемой сети и конструктивного выполнения защиты значение коэффициента K может быть различным. Значение k_6 и $k_{зан}$ для защит, выполненных наиболее распространенных видах реле, приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1

Значения k_6 и $k_{зан}$ для наиболее распространенных видов реле

Вид реле	$k_{зан}$	k_6
МП реле	1,1	0,96
РТВ	1,3	0,65
РТ-80, РТ-40	1,2	0,8
РТС-11,13	1,15	0,9

Используя приведенные выше данные, можно определить допустимое значение сопротивления, которое может быть присоединено к защите. Формула (7) показывает, что значение сопротивления обратно пропорционально суммарной мощности, которая протекает через головной выключатель линии. Полученную зависимость (рис. 4) можно условно разделить на три зоны.

Первая является наиболее неблагоприятным вариантом выполнения защиты. В таком случае при росте нагрузки защита будет работать некорректно, защищая только небольшую часть линии, приближенную к месту установки защиты, при этом не реагируя на повреждения на удаленных участках.

Вторая зона построена для наиболее распространенных видов защит. Для приведенных в таблице 1 параметров защит было построено зону наиболее вероятного нахождения кривой зависимости допустимого сопротивления до точки КЗ от присоединенной мощности. Зависимость показывает, что с ростом нагрузки S_{Σ} зона действия защиты уменьшается и, следовательно, увеличивается зона нечувствительности.

Для предотвращения подобной ситуации необходимо выполнять защиту линии таким образом, чтобы график зависимости был максимально приближенным к третьей зоне, и стремился перейти из второй в третью зону. Она характеризуется большим значением допустимого сопротивления и практически исключает возможность возникновения мертвой зоны.

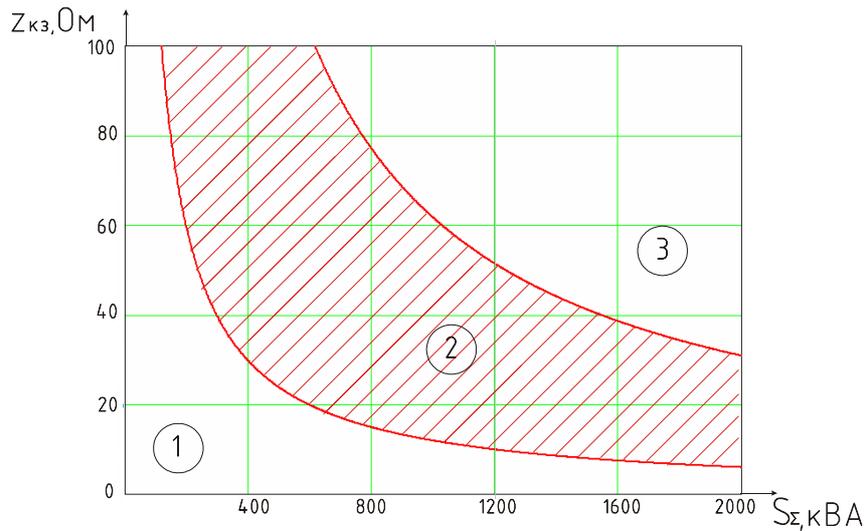


Рис. 4. Зависимость эквивалентного сопротивления до точки КЗ от суммарной максимальной мощности, протекающей через головной участок

При значении сопротивления короткого замыкания меньше допустимого, ток КЗ будет меньше тока срабатывания защиты, вследствие чего защита не будет чувствительной, что, как упоминалось выше, является актуальной проблемой в действующих распределительных сетях. Установка ПРВТ-10 дает возможность устранить зоны нечувствительности защиты. Рассмотрим возможность применения предохранителя-разъединителя ПРВТ-10 на примере сети, показанной на рисунке 5.

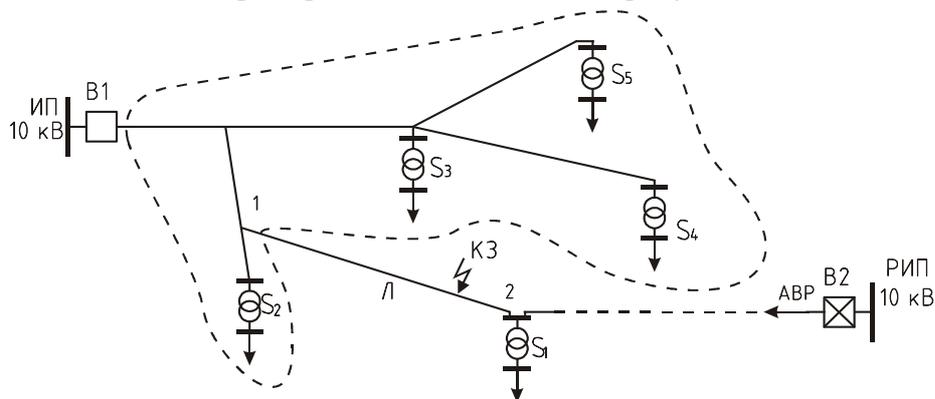


Рис. 5. Фрагмент электрической сети напряжением 10 кВ

Зону, выделенную пунктиром, представим в виде эквивалентного источника питания и эквивалентного сопротивления. После преобразования схема замещения для расчета токов КЗ будет иметь вид, представленный на рисунке 6.

Для различной конфигурации сети $z_{кз}$ может принимать разные значения.

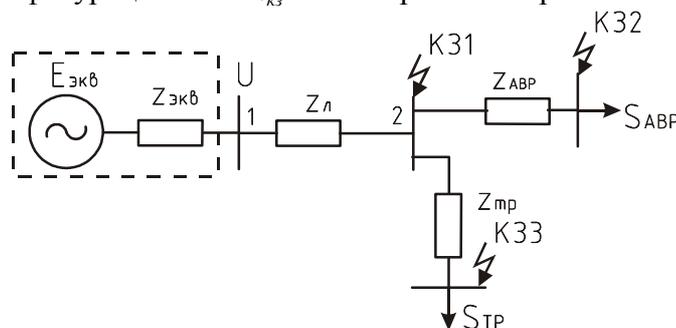


Рис. 6. Схема замещения фрагмента электрической сети напряжением 10 кВ для расчета тока КЗ

Защита будет нечувствительной, если хотя бы одно из следующих условий будет выполняться.

$$z_{кз} > \begin{cases} z_{экв} + z_{л} \\ z_{экв} + z_{л} + z_{ABP} \\ z_{экв} + z_{л} + z_{пр} \end{cases} \quad (8)$$

При использовании ПРВТ-10 для секционирования или защиты трансформаторов возникает проблема согласования времятоковых характеристик обычных предохранителей с уставками ПРВТ-10 и головной защитой. При защите трансформаторов (точка 2 рис. 5) ПРВТ-10 одновременно совмещает функции предохранителя и разъединителя и не нуждается в дополнительных устройствах защиты. Но при установке в начале линии (точка 1) возникает проблема в согласовании защиты трансформатора и ПРВТ. Наиболее приемлемым вариантом в таком случае будет отказ от использования предохранителя перед трансформатором. Плавкая вставка ПРВТ-10 будет резервировать основную защиту линии на участке 1-2 (рис. 5) и выполнять функции линейного разъединителя. В таком случае необходимо выполнять дополнительную проверку чувствительности защиты ПРВТ-10 при КЗ за трансформатором. В большинстве случаев уставки ПРВТ-10 позволяют обеспечить надёжную защиту трансформатора и линии. Карта селективности такого выполнения защиты будет иметь вид, представленный на рисунке 7.

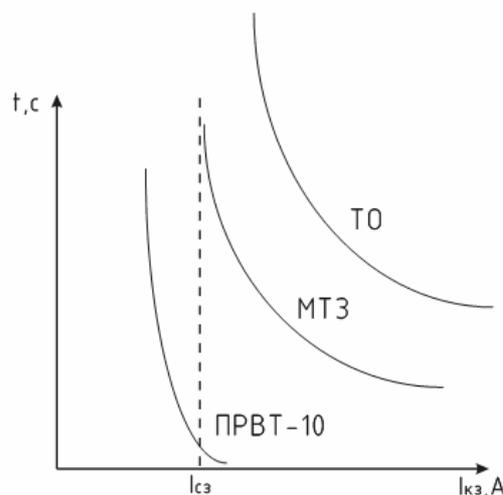


Рис. 7. Согласование времятоковых характеристик защиты линий напряжением 10 кВ с применением ПРВТ-10 в качестве защиты линии и трансформатора и резервирования основной защиты

Выводы. Постоянный рост потребляемых мощностей и дефицит средств, выделяемых на модернизацию действующих распределительных сетей, приводит к тому, что существующая релейная защита линий напряжением 10 кВ не обеспечивает необходимую чувствительность при КЗ на отдаленных участках линии.

Использование предохранителя-разъединителя ПРВТ-10 в качестве устройства секционирования позволяет обеспечить надежную защиту отдаленных участков линий 10 кВ, а так же обеспечить необходимую чувствительность основной защиты линии. В некоторых случаях, при установке ПРВТ-10 в начале линии, можно отказаться от предохранителей, установленных перед трансформатором, т. к. ПРВТ-10 будет полностью выполнять их функции.

Список использованных источников

1. Шабад М. А. Защита трансформаторов распределительных сетей / М. А. Шабад. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 136 с.

2. СОУ-Н ЕЕ 20.262:2007. Застосування запобіжника-роз'єднувача ПРВТ-10 для реконструкції, модернізації та нового будівництва розподільчих електричних мереж напругою 10 кВ. Настанова.

3. Шабад М. А. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – Л.: Энергоатомиздат, 2003. – 350 с.

УДК 621.039.56

М.В. Лапа, канд. техн. наук

К.Н. Маловик, канд. техн. наук

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, Украина

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ О РЕСУРСОСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

В статье проведен системный анализ и классификация знаний экспертов, принимающих решения о продлении срока эксплуатации оборудования АЭС в области ресурсоспособности оборудования для оценки их компетентности и квалификации в данной предметной области. Разработана структурная модель знаний экспертов о ресурсоспособности оборудования с использованием понятия гомоморфизма.

Ключевые слова: ресурсоспособность оборудования, экспертная оценка, гомоморфизм, инфологическая модель, оценка компетентности.

Проведено системний аналіз та класифікацію знань експертів, що приймають рішення щодо продовження строку експлуатації обладнання АЕС у галузі ресурсоспроможності обладнання для оцінки їх кваліфікації та компетентності в цій предметній сфері. Розроблено структурну модель знань експертів про ресурсоспроможність обладнання з використанням поняття гомоморфізму.

Ключові слова: ресурсоспроможність обладнання, експертна оцінка, гомоморфізм, інфологічна модель, оцінка компетентності.

The analysis and classification of expert knowledges, accepting decision about the extension of exploitation term of nuclear power plant equipment for the estimation of their competence and qualification in this subject domain is conducted in the article. The structural model of expert knowledges is developed with the use of concept of homomorphism.

Key words: resource of nuclear power plant equipment, expert knowledges, homomorphism, estimation of competence.

Постановка проблемы. Комплексная характеристика «ресурсоспособность оборудования» Y является функцией частных характеристик (в т. ч. индикаторов состояния объекта) $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$. Определить эту функциональную связь вряд ли является возможным, возможно лишь определить характер изменения комплексной характеристики Y в зависимости от изменения некоторой частной характеристики X_i ; определить ее степень влияния на Y . Поэтому используются экспертные методы оценки ресурсных характеристик (РХ) элементов энергоблоков, основанные на нечетких математических моделях [1], инфологическое моделирование предметной области и метод выбора аргументов, влияющих на ОР оборудования, изложенный в [2].

Анализ исследований и публикаций. Достоверность экспертной оценки РХ (а как следствие – безопасность АЭС) зависит от компетентности экспертов в данной предметной области. В [3] рассмотрена оценка компетентности экспертов на основе нечеткого отношения преимущества. Существуют современные методы оценки конкурентоспособности персонала [4], учета компетентности экспертов при оценке объектов интеллектуальной собственности [5]. Однако на практике в атомной энергетике отсутствуют и не применяются методики учета компетентности экспертов, принимающих решение о продлении срока эксплуатации оборудования АЭС, что влияет на достоверность оценки. Поэтому необходим системный анализ и классификация знаний экспертов в области ресурсоспособности оборудования, разработка моделей, критериев оценки компетентности экспертов, привлекаемых к принятию решений о продлении срока эксплуатации оборудования АЭС.

Цель статьи – системный анализ и классификация знаний экспертов в области ресурсоспособности оборудования, разработка моделей, критериев оценки компетентнос-