

АЛГОРИТМЫ БЛОКИРОВКИ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ. СРАВНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ЗВЕЗДЫ И РАЗОМКНУТОГО ТРЕУГОЛЬНИКА

Воробьев Е.С., Иванов Н.Г., Глазырин А.В., Антонов В.И., Солдатов А.В., Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия

Аннотация. Одним из главных требований, предъявляемых к блокировке при неисправностях цепей напряжения (БНН) является ее срабатывание при повреждениях во вторичных цепях трансформатора напряжения (ТН), и несрабатывание при КЗ в первичной сети. В статье излагаются принципы реализации БНН отечественных и иностранных производителей РЗА.

Ключевые слова: релейная защита, БНН, цепи напряжения, неисправность.

БНН на принципе сравнения напряжений звезды и разомкнутого треугольника

Рассмотрим принцип БНН на примере ТН, схема соединения обмоток и векторная диаграмма которого приведены рис. 1.

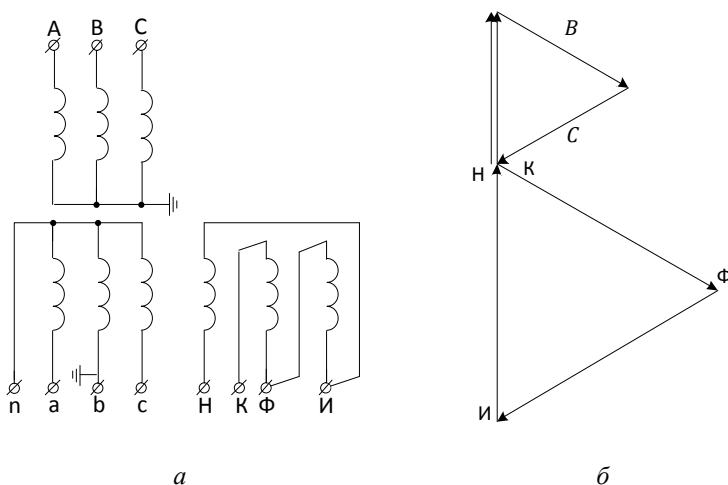


Рис. 1. Принцип принцип БНН на примере ТН: а – схема соединения обмоток трансформатора с особой фазой А; б – векторная диаграмма

В классической реализации (например, в реле КРБ-12М) БНН реагирует на напряжение небаланса [1].

$$\dot{U}_{\text{нб}} = 2\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C - \frac{\dot{U}_{\text{НК}}}{\sqrt{3}} - \frac{\dot{U}_{\text{НИ}}}{\sqrt{3}} = \dot{U}_{\text{нб1}} + \dot{U}_{\text{нб2}},$$

где $\dot{U}_{\text{нб1}} = \left(3\dot{U}_{0Y} - \frac{3\dot{U}_{0\Delta}}{\sqrt{3}} \right)$, $\dot{U}_{\text{нб2}} = \left(\dot{U}_A - \frac{\dot{U}_{\text{НИ}}}{\sqrt{3}} \right)$.

Схема выявления повреждения в цепях напряжения представлена на рис. 2.

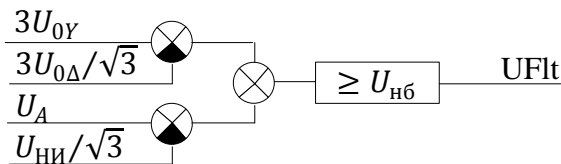


Рис. 2. Схема выявления повреждения в цепях напряжения по принципу КРБ-12М

В случае повреждения в цепи ТН баланс нарушается: при замыканиях на землю и обрывах возникает первая составляющая $\dot{U}_{\text{нб1}}$, а при повреждениях фазы А – вторая составляющая $\dot{U}_{\text{нб2}}$.

Рассмотренный принцип предусматривает выбор особой фазы, для которой рассчитывается вторая составляющая напряжения небаланса. Блокировка срабатывает при всех видах КЗ в цепях ТН, за исключением междуфазного КЗ не затрагивающего особую фазу (для особой фазы А – это междуфазное КЗ фаз ВС). В этом случае блокировка действует с замедлением до срабатывания предохранителя или автоматического выключателя ТН и переходе КЗ в режим обрыва цепи.

Для облегчения поиска поврежденной цепи может использоваться алгоритм с отдельным контролем составляющих небаланса (рис. 3-4).

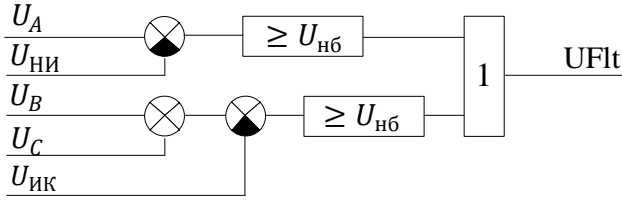


Рис. 3. Схема выявления повреждения в цепях напряжения с отдельным контролем составляющих небаланса

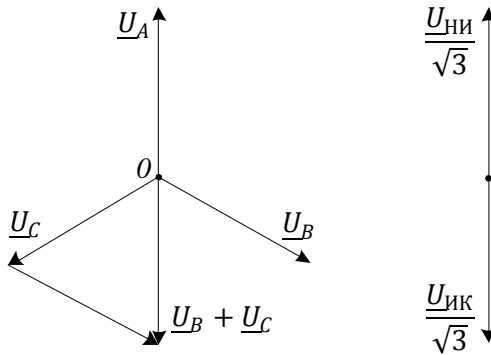


Рис. 4. Векторные диаграммы напряжений

Выводы

При реализации БНН на основе сравнения напряжений звезды и разомкнутого треугольника ТН для выявления междуфазных замыканий (в том числе междуфазного замыкания, не затрагивающего особую фазу) в цепях «звезды» необходимо использовать контроль величин напряжений и тока обратной последовательности.

При использовании ТН с «разомкнутым треугольником» сложно контролировать целостность соединительных цепей выводов «Н» и «К». В нормальном режиме $U_{HK} \approx 0$, и нельзя однозначно сказать – обрыв это или нормальный режим. Обычно для контроля используют факт наличия составляющей третьей гармоники напряжения.

Преимущества и недостатки рассмотренных алгоритмов, основанных на сравнении напряжений звезды и разомкнутого треугольника (данная работа) и одновременном мониторинге напряжений и токов [2] сведены в таблицу.

Таблица

Достоинства и недостатки алгоритмов БНН

Принцип БНН	Достоинства	Недостатки
Обнаружения составляющих обратной и нулевой последовательностей	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не требует дополнительной обмотки ТН. 2. Позволяет выявить неисправность в первичной обмотке ТН. 3. Весь необходимый набор сигналов доступен в цифровой подстанции по протоколу МЭК 61850–9.2LE. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не контролируется обрыв нулевого провода. 2. Кратковременная ложная работа при внешнем КЗ в условиях малой нагрузки. 3. Требуется расчет уставок.
Сравнения напряжений звезды и разомкнутого треугольника ТН	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявляет все виды повреждений. 2. Не требует расчета режимов электрической сети при выборе уставок. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не позволяет выявить обрыв в первичной обмотке ТН. 2. Замедление срабатывания при междуфазном замыкании, не затрагивающем особую фазу, в цепях звезды 3. Если одновременно срабатывают защитные автоматические выключатели и в цепи звезды, и в цепи треугольника, то БНН отказывает в действии. 4. Требуется ТН с дополнительной обмоткой. 5. Сложность контроля обрыва цепи НК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по эксплуатации ЭКРА.656453.049 РЭ. Шкаф дистанционной и токовой защит линии типа ШЭ2607 021021, ШЭ2607 021.

2. Воробьев Е.С. Алгоритмы БНН. Одновременный мониторинг напряжений и токов / Е.С. Воробьев, Н.Г. Иванов и др. // Сборник работа V Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности, Чебоксары, 2021

Авторы:

Воробьев Евгений Сергеевич, инженер 3 категории департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА». Окончил в 2019 г. Электроэнергетический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, получил степень магистра по направлению «Автоматика энергосистем». E-mail: vorobev_es@ekra.ru.

Иванов Николай Геннадьевич, руководитель группы разработки ИЭУ НПП «ЭКРА». Получил степень магистра техники и технологии по направлению «Электроэнергетика и электротехника» в 2013 г. на кафедре ТОО и РЗА электроэнергетического факультета ЧГУ им. И.Н. Ульянова. E-mail: ivanov_ng@ekra.ru.

Глазырин Анатолий Вячеславович, инженер департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА». Окончил в 2020 г. Электроэнергетический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, получил степень бакалавра по направлению «Релейная защита и автоматика». E-mail: glazyrin_av@ekra.ru.

Антонов Владислав Иванович, доцент кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики ЧГУ им. И.Н. Ульянова, главный специалист департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА». Получил диплом инженера-электрика в 1978 г. на факультете электрификации и автоматизации промышленности ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 2018 г. защитил докторскую диссертацию «Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике» в ЧГУ им. И.Н. Ульянова. E-mail: antonov_vi@ekra.ru.

Солдатов Александр Вячеславович, заместитель директора департамента автоматизации энергосистем по научному сопровождению продукции ООО НПП «ЭКРА». Окончил в 2006 г. электроэнергетический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова. E-mail: soldatov_av@ekra.ru.