

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
«Академия электротехнических наук Чувашской Республики»
Ассоциация «Инновационный территориальный
электротехнический кластер Чувашской Республики»

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭНЕРГЕТИКИ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

**Материалы
IV Международной научно-технической
конференции**

Чебоксары
2020

ОСОБЕННОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛНОВОГО ОМП

Фёдоров Алексей О., ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.

Петров В.С., Антонов В.И., Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.

Романов Д.П., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия.

***Аннотация:** Точность оценки моментов прихода волн к месту установки устройства волнового определения места повреждения от места короткого замыкания на ЛЭП во многом определяется уровнем фронта волн. Целью настоящей статьи является определение ограничений волновых методов электрических сетей разных классов напряжения на основе анализа уровня фронтов волн.*

***Ключевые слова:** линия электропередачи, волновое определение места повреждения, короткое замыкание*

Введение

Эффективность волнового ОМП зависит от множества факторов. Необходимо принять во внимание саму структуру контролируемой ЛЭП с учетом наличия ответвлений, кабельных вставок, класс напряжения и конфигурацию примыкающей к ЛЭП электрической системы. Может оказаться, что в одной электрической сети в качестве контролируемой величины нужно использовать измерения тока, а в другой – измерения напряжения. Для надлежащего выбора алгоритма волнового ОМП необходим тщательный анализ волновых процессов в электрической сети и определение ограничений, накладываемых на алгоритмы волнового ОМП.

Целью настоящей работы является определение ограничений волновых методов ОМП на основе анализа режимов ЛЭП с ответвлениями разных классов напряжения.

Контролируемая величина

При выборе контролируемой волновым ОМП электрической величины анализируют соотношение между эквивалентным волновым сопротивлением части электрической систе-

мы, примыкающей к контролируемой линии электропередачи в месте установки ОМП, с волновым сопротивлением ЛЭП. Если волновое сопротивление электрической системы меньше волнового сопротивления ЛЭП, то в месте установки устройства это приводит к росту величины волны тока и уменьшению величины волны напряжения, иначе – к росту величины волны напряжения и уменьшению величины волны тока. В первом случае в качестве контролируемой величины используют измерения тока, а во втором случае – измерения напряжения [0], [0].

Использование фазных величин в качестве контролируемого сигнала нежелательно по той причине, что при замыканиях на землю в них появляется составляющая нулевой последовательности, приводящая к ухудшению фронта волны. Поэтому контролируемой волновым ОМП электрической величиной традиционно являются составляющие междуфазных волновых каналов, так как они меньше затухают по сравнению с составляющей нулевого канала [0], [0].

Постановка задачи и принятые допущения

Очевидно, что принципиальную возможность использования волнового ОМП в сетях разной конфигурации нужно характеризовать оценкой величины максимального уровня фронта волны в междуфазном канале в месте установки устройства в наихудшем с точки зрения функционирования ОМП режиме. Или, другими словами, если максимальный уровень фронта в данной сети недостаточен для устойчивого функционирования ОМП, то делается вывод о недопустимости использования в ней волнового ОМП.

Для определения максимального уровня фронта волны в междуфазном волновом канале примем, что контролируемая ЛЭП является симметричной и не имеет потерь (составляющие в волновых каналах не затухают).

В расчете контролируемых величин используется преобразование Кларк [0].

Величины волн в месте КЗ

В месте повреждения максимальный уровень фронта волны напряжения u_f и, следовательно, тока i_f в междуфазном канале возникает при двухфазном КЗ [0]:

$$\begin{cases} u_f = -\frac{1}{\sqrt{3}\left(1+\frac{R_f}{z_c}\right)}u_{pr}; \\ i_f = -\frac{1}{\sqrt{3}(1-k_{pc})(z_c+R_f)}u_{pr}, \end{cases} \quad (1)$$

где u_{pr} – напряжение между фазами в предаварийном режиме; z_c – собственное фазное волновое сопротивление ЛЭП, R_f – сопротивление в месте КЗ, k_{pc} – геометрический коэффициент связи (для ВЛ $k_{pc} < 0,3$).

Влияние ответвлений

Величина фронтов волны напряжения u_i и волны тока i_i , падающих на место установки устройства волнового ОМП при КЗ за q -ым ответвлением (все ответвления имеют волновое сопротивление $z_{таp}$), определяется как

$$\begin{cases} u_i = \frac{1}{\left(1+\frac{z_c}{2z_{таp}}\right)^q}u_f; \\ i_i = \frac{1}{\left(1+\frac{z_c}{2z_{таp}}\right)^q}i_f. \end{cases} \quad (2)$$

Волны в месте измерения

Устройство измерит волну, представляющую совокупность падающей и отраженной волн:

$$\begin{cases} u_{TW} = (1+k_r)u_i; \\ i_{TW} = (1-k_r)i_i. \end{cases} \quad (3)$$

где $k_r = \frac{z_e - z_c}{z_e + z_c}$ – коэффициент отражения волны, z_e –

эквивалентное волновое сопротивление смежных элементов сети.

Ограничения применения устройства

Фронты волн напряжения и тока в месте установки устройства волнового ОМП для ЛЭП без ответвлений ($q=0$) достигают максимальных значений

$$u_{TW}^{\max} = 2\sqrt{\frac{2}{3}}U_{\max} = 1,633U_{\max},$$

$$i_{TW}^{\max} = 2\sqrt{\frac{2}{3}}\frac{U_{\max}}{(1-k_{pc})z_c^{\min}} = 2,332\frac{U_{\max}}{z_c^{\min}}$$

при следующих условиях:

$$\begin{cases} R_f = 0; \\ u_{pr} = \sqrt{2}U_{\max}; \\ k_{pc} = k_{pc}^{\max} = 0,3; \\ z_c = z_c^{\min}; \\ k_r = 1, \text{ т.е. } z_e \square z_c \text{ (для напряжения);} \\ k_r = -1, \text{ т.е. } z_e \square z_c \text{ (для тока).} \end{cases} \quad (4)$$

Здесь U_{\max} – наибольшее линейное длительно допустимое рабочее напряжение электрической сети, z_c^{\min} – минимально возможное волновое сопротивление ЛЭП.

Из выражений (1) – (3) при учете условий (4) можно определить максимальный фронт волн в междуфазном волновом канале в месте установки устройства при любом количестве ответвлений на ЛЭП.

Выводы

Расчеты по выражениям (1) – (3) показывают, что при КЗ на ЛЭП в сетях 6-35 кВ максимальный уровень фронта волны тока i_{TW}^{\max} не высок, в связи с чем использование методов волнового ОМП по току нецелесообразно. В то же время уровень волн напряжения u_{TW}^{\max} высок, поэтому в сетях 6-35 кВ более выигрышным является использование волнового ОМП по напряжению. Однако при этом нужно учесть, что на измерение волны напряжения значительно влияет АЧХ электромагнитных ТН [0] и [0].

Расчеты подтверждают интуитивно ясный вывод, что число ответвлений ЛЭП между местом КЗ и местом установки устройства уменьшает максимальный уровень волн тока и напряжения в междуфазном волновом канале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *D. Cole, M. Diamond and A. Kulshrestha* "Challenges and Solutions for Fast and Accurate Fault Location and System Restoration", – Qualitrol LLC.

2. *T. Hensler, C. Pritchard and N. Fischer* "Testing Superimposed-Component and Traveling-Wave Line Protection", 72nd Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, May 2018.

3. *E. O. Schweitzer, A. Guzmán, M. V. Mynam, V. Skendzic, B. Kasztenny and S. Marx* "Locating faults by the traveling waves they launch," 2014 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, 2014, pp. 95-110.

4. *V. Alekseev, V. Petrov and V. Naumov* "Invariance of Modal Transformations of Electrical Values in Traveling Wave Fault Locator", 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2020, pp. 1-5.

5. *A. Fedorov, V. Petrov, O. Afanasieva and I. Zlobina* "Limitation of traveling Wave Fault Location", Ural Smart Energy Conference (USEC), Yekaterinburg, Russia, 2020.

6. *D. Xinzhou, G. Yaozhong and X. Bingyin* "Fault position relay based on current travelling waves and wavelets," 2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.00CH37077), Singapore, 2000, pp. 1997-2004 vol.3.4.

Авторы:

Фёдоров Алексей Олегович, инженер-исследователь 3 кат. департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА». Окончил в 2020 г. факультет энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова, получил степень магистра по направлению «Электроэнергетические системы, сети, электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность». E-mail: fedorov_a@ekra.ru.

Петров Владимир Сергеевич, руководитель группы научного сопровождения внешних НИОКР департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», доцент кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики ЧГУ им. И.Н. Ульянова. Окончил в 2010 г. электроэнергетический факультет ЧГУ

им. И.Н. Ульянова. В 2015 г. защитил в Чувашском государственном университете имени И.Н. Ульянова кандидатскую диссертацию «Цифровая система автоматического ограничения повышения напряжения сетей 110-750 кВ». E-mail: petrov_vs@ekra.ru.

Антонов Владислав Иванович, главный специалист департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», профессор кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова. В 2018 г. защитил докторскую диссертацию «Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике». E-mail: antonov_vi@ekra.ru.

Романов Дмитрий Петрович, магистрант ПНИПУ по направлению «Интегрированные системы управления производством». Окончил в 2020 г. электротехнический факультет ПНИПУ, получил степень бакалавра по направлению «Автоматизация технологических процессов и производств». E-mail: romanov-dp@bk.ru.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ТОКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ТУРБОГЕНЕРАТОРАХ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Кудряшова М.Н., ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.

Иванов М.О., Солдатов А.В., Антонов В.И., Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.

Аннотация: Селективность защиты генератора от однофазного замыкания на землю повышается при использовании в качестве контролируемых величин высшие гармоники в дифференциальном токе. Расчетным режимом защиты от однофазных замыканий на землю является режим работы генератора на холостом ходу. В работе анализируются уровни высших гармоник для случая, когда генератор является единственным их источником.

Ключевые слова: защита от однофазных замыканий на землю высшие гармоники тока, турбогенератор.

Известно, что высшие гармоники тока представляют собой широкий информационный базис для релейной защиты от однофазных замыканий на землю [1]. В случае работы турбогене-