

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ: ПОДХОД К ФИКСАЦИИ УТЯЖЕЛЕНИЯ РЕЖИМА

Бухаров Д. С., Гусев Р. А.

Служба автоматизированных систем диспетчерского управления, Филиал АО «СО ЕЭС» Иркутское РДУ  
Иркутск, Российская Федерация  
E-mail: bukharovds@gmail.com

Рассматривается подход к фиксации приближения точки нагрузки к области срабатывания дистанционной защиты. Представленный подход реализован в виде программного обеспечения, используемого для оперативного оповещения диспетчерского персонала об ухудшении электроэнергетического режима.

## ВВЕДЕНИЕ

Ключевая проблема в мониторинге нахождения точек нагрузки (ТН) относительно области срабатывания (ОС) дистанционной защиты (ДЗ) – отсутствие визуального отображения ТН, ОС ДЗ и необходимой телеметрической информации (ТМ) с энергообъектов (ЭО), на которой установлена ДЗ, защищающая некоторую линию электропередачи.

Осуществление контроля режима по величине перетоков активной  $P$  и реактивной  $Q$  мощности и напряжению  $U$  не позволяет диспетчеру в полной мере определить необходимые управляющие воздействия на силовое оборудование для предупреждения возможного ложного срабатывания ДЗ.

Программное обеспечение (ПО), обеспечивающее прием необходимой ТМ, моделирование работы ДЗ по заданным уставкам и визуализацию в реальном времени текущей ситуации на энергообъекте, позволяет диспетчеру оперативно оценить текущую ситуацию и уменьшить время принятия решения на изменение режима работы энергосистемы.

## I. ПО МОНИТОРИНГА ДЗ

В разрабатываемом ПО реализованы следующие функции:

- Прием данных ТМ из оперативно-информационного комплекса (ОИК) (реализован посредством стандартной динамической библиотеки ОИК OICDAS.dll [1]).
- Вычисление ТН на основе ТМ.
- Фиксация приближения ТН к ОС ДЗ.
- Фиксация схожести изменения текущей нагрузки с нагрузкой в режиме, который привел к работе ДЗ.
- Отображение информации в графическом виде (реализовано посредством графической библиотеки ZedGraph.dll [2]).

Необходимыми параметрами для мониторинга ДЗ являются мощности  $P, Q$  и напряжение  $U$ , которые преобразуются в активное  $R$  и реактивное  $X$  сопротивления в разрабатываемом ПО (рис. 1). Эти параметры могут не приниматься в диспетчерском центре (ДЦ) в силу отсутствия

ЭО устройств телемеханики, способных передать значения  $P, Q$  и  $U$  в ДЦ. Данная проблема решается только путем модернизации системы сбора и передачи информации ЭО.



Рис. 1 – ПО мониторинга ДЗ

Каждый параметр ТМ в ОИК подвергается достоверности по описателю качества, времени поступления, физическим пределам, проверяется физическая доступность сервера телемеханики (ring) и устанавливается сессия с его ПО.

Так, например, при выходе (необходимого для мониторинга ДЗ) параметра ТМ за физические пределы (т.е. наблюдается выброс ТМ из-за сбоя системы телемеханики на ЭО) выполняется «замораживание» значения этого параметра до момента восстановления его достоверности. При «замораживании» ПО работает по последнему достоверному значению.

## II. ВЫЧИСЛЕНИЕ ТОЧКИ НАГРУЗКИ

Для визуализации точки нагрузки  $TН(t) = f\{P(t), Q(t), U(t)\}$  необходимо вычислить активное  $R(t)$  и реактивное  $X(t)$  сопротивление [3]:

$$R(t) = \frac{3 \cdot P(t) \cdot U^2(t)}{P^2(t) + Q^2(t)}, X(t) = \frac{3 \cdot Q(t) \cdot U^2(t)}{P^2(t) + Q^2(t)}.$$

Расчетная точка  $TН(t)$  необходима для определения принадлежности ТН к ОС ДЗ.

### III. ПОСТРОЕНИЕ ОС ДЗ

ОС может иметь простую (треугольник, четырехугольник, окружность, эллипс) и сложную геометрическую форму. Рассмотрим пример с эллиптической ОС (рис. 2, синяя область).

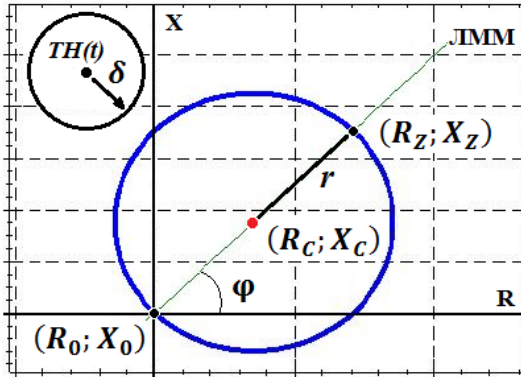


Рис. 2 – Фиксация приближения ТН к ОС ДЗ

Построение ОС выполняется на основе пяти уставок: величины полного сопротивления  $Z$ , угла максимальной чувствительности  $\varphi \in [0; 180]$  линии максимальных моментов (ЛММ), коэффициента смещения  $\Delta \in [-1; 1]$  и полуосей эллипса  $a \in (0; 1]$  и  $b \in (0; 1]$ .

Вычисляются координаты «опорных» точек ОС, которые в конечном итоге соединяются прямыми для схематичного отображения эллипса на плоскости:

$$R_{OC} = a \cdot r \cdot \cos(\alpha),$$

$$X_{OC} = b \cdot r \cdot \sin(\alpha),$$

где  $\alpha \in [0; 360]$ ,  $r$  – радиус ОС ДЗ.

Для этих точек выполняются аффинные преобразования (перемещение в точку  $(R_C; X_C)$  и поворот системы координат на угол  $\varphi$ ):

$$R_{OC}^* = R_{OC} \cdot \cos(\varphi) - X_{OC} \cdot \sin(\varphi) + R_C,$$

$$X_{OC}^* = R_{OC} \cdot \sin(\varphi) + X_{OC} \cdot \cos(\varphi) + X_C.$$

где  $(R_C; X_C)$  – центр ОС с координатами

$$R_C = \frac{R_Z + R_0}{2}, X_C = \frac{X_Z + X_0}{2}.$$

$R_Z$  и  $X_Z$  – координаты «фиксированной» точки, лежащей на ЛММ, расположенной под углом  $\varphi$  к оси  $OR$  и проходящей через точку  $(0; 0)$ ;  $R_0$  и  $X_0$  – координаты «смещающейся» точки.

$$R_O = |\Delta| \cdot Z \cdot \cos(\varphi + 180 \cdot p(\Delta)),$$

$$X_O = |\Delta| \cdot Z \cdot \sin(\varphi + 180 \cdot p(\Delta)),$$

где  $p(\Delta) = 1$  при  $\Delta < 0$ , иначе  $p(\Delta) = 0$ .

### IV. ФИКСАЦИЯ ПРИБЛИЖЕНИЯ ТН К ОС ДЗ

$TH(t)$  перемещается в комплексной плоскости активного  $R$  и реактивного  $X$  сопротивлений. Если  $TH(t)$  попадает в ОС, то фиксируется работа ДЗ. Для предупреждения этой ситуации необходима сигнализация о факте приближения  $TH(t)$  к ОС ДЗ (рис. 3).

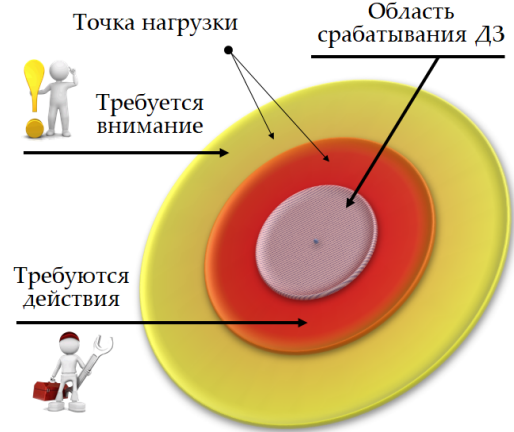


Рис. 3 – Области сигнализации

Если  $TH(t)$  попадает в желтую область, то выдается сообщение об утяжелении электроэнергетического режима. Если  $TH(t)$  попадает в красную область, то выдается сообщение о необходимости принятия управляющих воздействий для предотвращения срабатывания ДЗ.

Красная область сигнализации фиксируется, если расстояние между  $(R_C; X_C)$  и точкой  $TH(t)$  меньше или равно  $r + \delta$ .

Радиус ОС  $r$  напрямую зависит от величины угла  $\alpha$ . Величина  $\delta = \mu \cdot Z_{TH(t)}$  – радиус отстройки от нагрузки  $TH(t)$ ,  $\mu$  – коэффициент отстройки,  $Z_{TH(t)}$  – полное сопротивление в  $TH(t)$ .

Алгоритмически желтая область сигнализации фиксируется идентично красной, отличие заключается лишь в наличии увеличивающего коэффициента для радиуса  $r$ .

### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное ПО мониторинга ДЗ позволяет наглядно представить ОС ДЗ на комплексной плоскости и отобразить изменение ТН в режиме реального времени.

Сигнализация о факте приближения ТН к ОС ДЗ позволяет диспетчеру оперативно получить информацию о возможном риске изменения режима работы энергосистемы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оперативно-информационный комплекс СК-2007. Расширение функциональности. Том 9. Пятигорск: АО «Монитор Электрик», 2018. – 140 с.
2. Шпаргалка ZedGraph. – Режим доступа: <https://jenuay.net/Programming/ZedGraph> – Дата доступа: 20.09.2019.
3. Электротехника / Б. А. Волынский, Е. Н. Зейн, В. Е. Шатерников – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 528 с.