

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 220 КВ

Е.А. Коновалова  
Томский политехнический университет  
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ2Р

Для современной электроэнергетики России наиболее характерной проблемой является недостаточная пропускная способность высоковольтных линий. Большой охват территории, многоконтурные сети различного класса напряжения, объединенные сложными трансформаторными связями, не единственные, но достаточные характерные черты энергосистемы России в целом. В связи с этим существует потребность в переходе на новые технические средства и технологии. Среди них выделяются устройства FACTS, которые представляют собой комплекс технических инновационных средств автоматического управления параметрами электрического режима. Оснащение энергосистемы устройствами FACTS не должно приводить к снижению надежности энергосистемы в целом, поэтому должны быть выполнены работы по анализу взаимодействия устройств с остальным оборудованием энергосистем. То есть при вводе данных устройств должны быть определены условия работы релейной защиты, в зоне действия которых находится данное устройство FACTS.

Устройства продольной компенсации позволяют повышать предел передаваемой мощности по условию статической апериодической устойчивости за счет уменьшения эквивалентного сопротивления электропередачи, а также позволяют распределять потоки мощности по параллельным связям, тем самым разгружать перегруженные по току ЛЭП, загружая менее загруженные и повышая пропускную способность опасных сечений. Продольная компенсация приводит к появлению ошибки в измеренном дистанционным органом защиты линии электропередачи расстояния до места замыкания, так как конденсатор уменьшает индуктивное сопротивление электропередачи на величину своего емкостного сопротивления.

Как известно, основной защитой линий электропередачи 220 кВ и выше является дистанционная защита. УПК, как было указано выше, оказывает прямое воздействие на сопротивление электропередачи, поэтому есть необходимость анализа влияния УПК на работу дистанционной защиты линии электропередачи.

В рамках исследования выбрана линия электропередачи Л5 высокого напряжения 220 кВ и комплект дистанционной защиты ДЗ10 (рисунок 1). В ходе работы производится моделирование радиальной схемы электрической сети с двусторонним питанием прикладном программном комплексе *MATLAB Simulink*, где в качестве защиты от междуфазных замыканий используется дистанционная защита (рисунок 1).

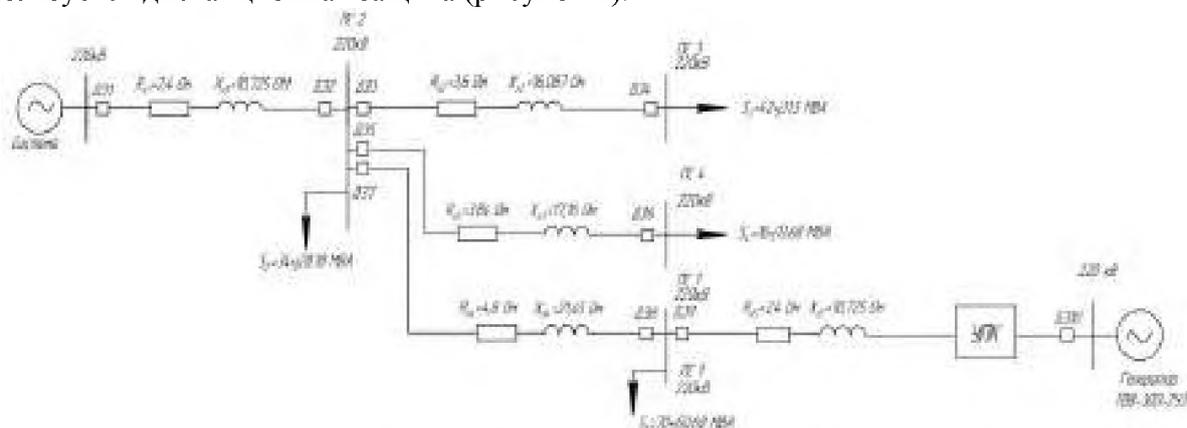


Рис. 1. Схема замещения исследуемой электрической сети

Для исследования работы дистанционной защиты выбрана полигональная характеристика срабатывания, реализованная в шкафу ШЭ2607 021 «ЭКРА» [2]. Расчет параметров характеристик срабатывания выполняется по следующим формулам [1].

$$z_{л5}^I = k_n z_{уд} l_{л} = k_n z_{л5}; z_{л5}^{II} = 0,85 z_{л5} + \frac{0,66}{k_T} z_{л4}^I; z_{л5}^{III} = 0,85 z_{л5} + \frac{0,66}{k_T} z_{л4}^{II}; \quad (1)$$

$$t_{ср}^I = 0; t_{ср}^{II} = t_{ср}^I + \Delta t; t_{ср}^{III} = t_{ср}^{II} + \Delta t. \quad (2)$$

Таблица 1. Результаты расчета характеристик срабатывания и выдержек времени комплекта ДЗ10 Л5

№ Ступени	Z, Ом	$t_{ср}, с$	$k_{ч}$
1 ступень	2,04+j9,116	0	-
2 ступень	5,508+j24,613	0,3	2,295 $\geq$ 1,2
3 ступень	6,722+j30,037	0,6	2,801 $\geq$ 1,2

В ходе исследования в целях четкого отображения и визуального представления на рисунках приведены совмещенные характеристики срабатывания комплекта защиты и годографа сопротивления при двухфазном замыкании (фаза А и В). Моделирование коротких замыканий в прикладном программном комплексе *MATLAB Simulink* производится в начале, на расстоянии 66 % линии, в конце и на смежной линии Л4. При этом рассматривается четыре случая: УПК выведено из эксплуатации; УПК в начале ЛЭП; УПК в середине ЛЭП; УПК в конце ЛЭП (на ПС 1 220 кВ).

**Отсутствие устройства продольной компенсации на линии.** Результат, представленный ниже (рисунок 2), позволяет убедиться в правильности работы моделируемой сети. Срабатывание первой ступени защиты происходит при междуфазном КЗ в начале и середине линии, что соответствует требованиям селективности. Срабатывание второй ступени защиты происходит при междуфазном КЗ в конце линии Л5 и КЗ в начале и середине смежной линии Л4, охватывая шины ПС 1 220 кВ, что также соответствует требованиям селективности. Срабатывание третьей ступени защиты происходит при междуфазном КЗ в конце смежной линии Л4, что также соответствует требованиям селективности.

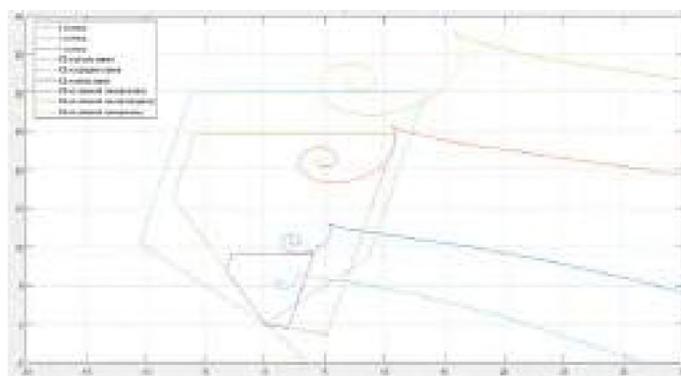


Рис. 2. Совмещенная характеристика срабатывания при двухфазном КЗ

**Устройство продольной компенсации в начале линии.** Полученный результат, представленный ниже (рисунок 3), демонстрирует, при установке УПК уровня компенсации 30% в начало исследуемой линии срабатывание первой ступени защиты происходит при КЗ в начале, в середине и в конце линии Л5. Срабатывание второй ступени защиты происходит при коротком замыкании в начале, в середине линии Л4. Срабатывание третьей ступени происходит при КЗ в конце линии Л4. Такое поведение защиты связано с тем, что сопротивление УПК при междуфазном КЗ до устройства не входит в контур КЗ, а при междуфазном КЗ за ним входит. При увеличении уровня компенсации до 60 % включительно наблюдается почти аналогичная картина, но за исключением того, что при КЗ на середине линии Л5 годограф не попадает в зону действия первой ступени. При сравнении графиков, представленных на рисунке 3, увеличение степени компенсации приводит к смещению годографа вниз.

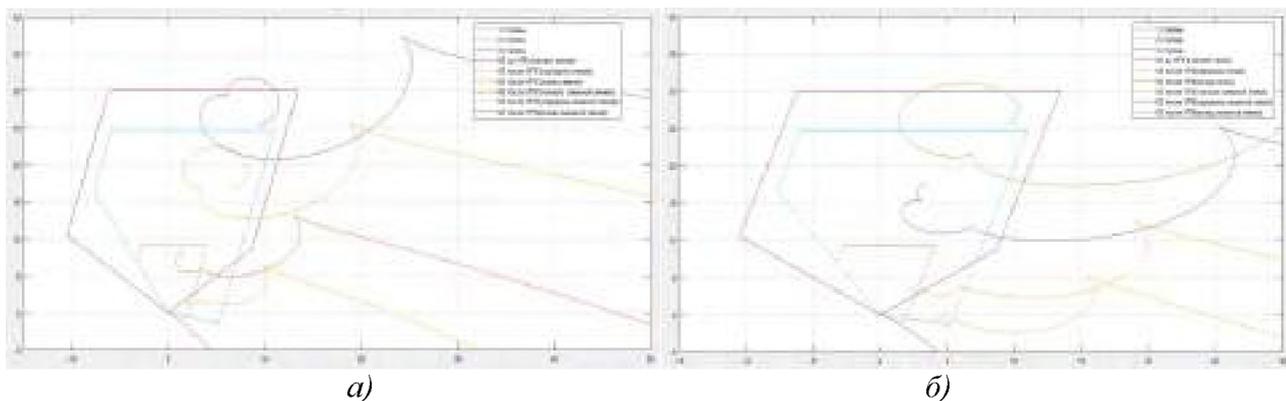


Рис. 3. Совмещенная характеристика срабатывания при двухфазном КЗ:  
 а) степень компенсации 30 %; б) степень компенсации 60 %

**Устройство продольной компенсации в середине линии.** Полученный результат, представленный ниже (рисунок 4), показывает при установке УПК уровня компенсации 30 % в середину исследуемой линии срабатывание первой ступени дистанционной защиты происходит при КЗ в начале, в середине вблизи до и после УПК и в конце исследуемой линии электропередачи Л5. КЗ в начале смежной линии Л4 также приводит к срабатыванию первой ступени дистанционной защиты линии Л5. Срабатывание второй ступени дистанционной защиты линии электропередачи происходит при КЗ в середине смежной линии Л4. Срабатывание третьей ступени дистанционной защиты линии происходит при КЗ в конце смежной линии электропередачи Л4. При увеличении уровня компенсации срабатывание первой ступени защиты происходит при КЗ в начале, середине, в конце исследуемой линии Л5 и при КЗ в начале смежной линии Л4. Срабатывание второй ступени защиты происходит при КЗ в середине смежной линии Л4. Срабатывание третьей ступени защиты происходит при КЗ в конце смежной линии Л4. При сравнении графиков, представленных на рисунке 4, увеличение степени компенсации приводит к смещению годографа вниз.

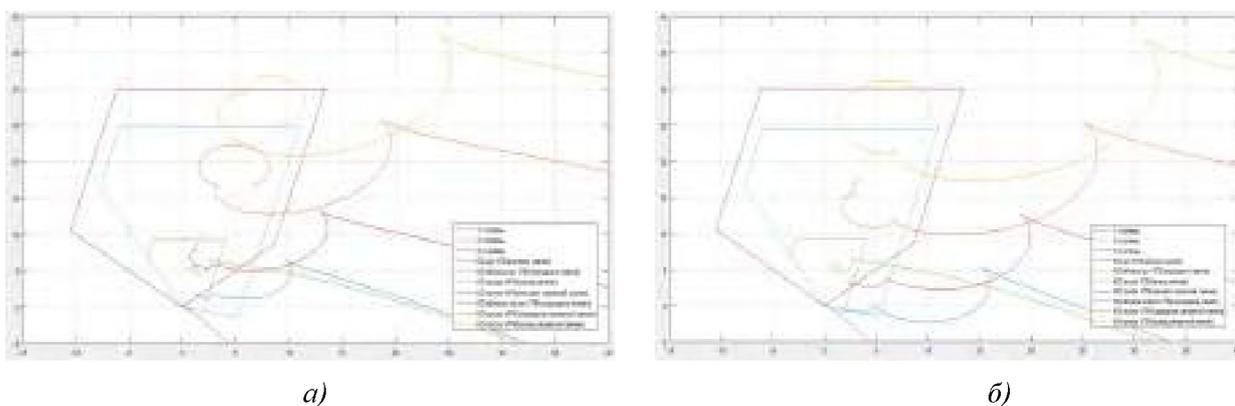


Рис. 4. Совмещенная характеристика срабатывания при двухфазном КЗ:  
 а) степень компенсации 30 %; б) степень компенсации 60 %

**Устройство продольной компенсации в конце линии.** Полученный результат, представленный ниже (рисунок 5), показывает при установке УПК в конце линии электропередачи Л5 уровня компенсации 30 % срабатывание первой ступени дистанционной защиты линии при КЗ в начале, в середине, в конце исследуемой линии Л5, при КЗ в начале смежной линии Л4 также приводит к срабатыванию первой ступени защиты. Срабатывание второй ступени дистанционной защиты происходит при КЗ в конце линии Л5, в начале и в середине смежной линии Л4. Срабатывание третьей ступени дистанционной защиты происходит при КЗ в конце смежной линии Л4. При увеличении уровня компенсации наблюдается аналогичная ситуация. При сравнении графиков, представленных на рисунке 5, увеличение степени компенсации приводит к смещению годографа вниз.

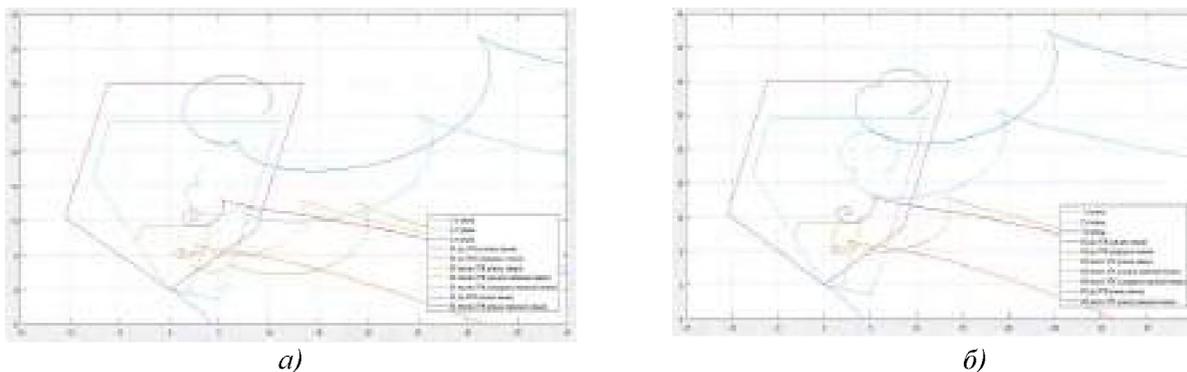


Рис. 5. Совмещенная характеристика срабатывания при двухфазном КЗ:  
 а) степень компенсации 30 %; б) степень компенсации 60 %

Поведение защиты обусловлено явлением инверсии напряжения – изменении фазового угла на  $180^\circ$ . Инверсия напряжения происходит при повреждении вблизи конденсаторов, то есть если сопротивление от места установки ДЗ до места повреждения является емкостным, при этом ток имеет индуктивный характер, а значит сопротивление от источника питания до места КЗ положительное. Поэтому происходит изменение направленности вектора сопротивления, что приводит к неселективному срабатыванию защиты.

Таким образом, результат исследования показывает, что установка УПК оказывает влияние на функционирование дистанционной защиты линии. Все зависит от места установки конденсаторных батарей в линию и сопротивление будет либо включено в контур КЗ, либо нет. Поэтому проявляется неоднозначность срабатывания первой и второй ступеней дистанционной защиты. В целом на работу третьей ступени дистанционной защиты наличие УПК на линии не оказывает, так как сопротивление конденсаторов находятся в пределах зоны ее действия. Сопротивление УПК, установленного в начале линии, будет входить в контур КЗ, а значит в зону срабатывания первой ступени дистанционной защиты, что требует ограничения зоны действия. Короткие замыкания между защитой и конденсаторной установкой сопротивление УПК будет находится вне зоны действия первой ступени дистанционной защиты линии, а при коротких замыканиях за УПК сопротивление входит в зону срабатывания первой ступени. То есть также необходимо производить ограничение зоны действия первой ступени дистанционной защиты. Если УПК установлено в конце линии сопротивление его находится вне зоны действия первой ступени, но при коротком замыкании за пределами зоны действия первой ступени защиты неверно может определить место короткого замыкания и сработать. Решением данной проблемы является ограничение зоны срабатывания первой ступени дистанционной защиты. Но такой подход не позволяет использовать дистанционную защиту при установке УПК на линии как основную защиту, так как первая ступень будет эффективна будет только при очень близких КЗ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35- 330 кВ. М.: издательство «Энергия», 1966 г. – 172 с. с черт.
2. СТО 56947007- 29.120.70.200-2015 Методические указания по расчете и выбору параметров настройки(уставок) микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики производства ООО НПП «ЭКРА», «ABB», «GE Multilin» и «ALSTOM Grid»/«AREVA» для воздушных и кабельных линий с односторонним питанием напряжением 110-330 кВ: Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС»: дата введения 27.04.2015 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – М.: 2015. – 356 с.

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.С. Васильев, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.