

Значения интегральных показателей K исследуемых КНС представлены в порядке возрастания в табл. 1.

Таблица 1. Ранги КНС в зависимости от производительности

Производительность, $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	Итоговый интегральный показатель приоритетности отключения K	Назначен- ный ранг	Рекомендуемая схема питания КНС
$Q < 2700$	0,467	1	Магистральная двухцепная ВЛ 35 кВ с реклоузерами
$2700 < Q < 4200$	0,533	2	Кольцевая двухцепная ВЛ 35 кВ с проходной ПС 35 кВ или магистральная двух- цепная ВЛ 35 кВ с реклоу- зерами
	0,533		
	0,533		
$Q > 4200$	0,567	2–3	
	0,600		

Таким образом, разработана методика по определению приоритета отключений при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме с учетом надежности, производительности и технического состояния насосного агрегата КНС. При расчете учитывались вероятностные характеристики возникновения ущерба и техническое состояние насосного агрегата КНС, произведена экспертная оценка наступления основных негативных последствий при аварийном останове технологического объекта КНС. Применение данной методики дает возможность более обоснованно подходить к составлению графиков ограничения мощности нагрузки при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме. Ранговый подход по приоритетности отключений позволяет применить принцип адресности, что является предпосылкой создания и практического применения адаптивной АЧР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фархадзаде Э.М., Фарзалиев Ю.З., Мурадалиев А.З., Исмаилова С.М. Методы и алгоритмы сравнения и ранжирования надежности и экономичности работы объектов электроэнергетических систем // Электричество. – 2017. – № 8. – С. 4–13.
2. Назаров А.А., Кавченков В.П. Разработка методики оценки надежности и приоритетности ремонтов в региональной энергосистеме с учетом возможного риска // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2020. – № 3. – С. 50–57.
3. РД 153-39.1-046-00. Положение о системе технических обслуживаний и ремонта энергомеханического оборудования ОАО «Самотлорнефть» по фактическому состоянию. – Тюмень, 2000. – 181 с.
4. Романов В.С., Гольдштейн В.Г., Васильева Н.С. Разработка методики оценки надежности и приоритетности ремонтов для электрооборудования нефтяной промышленности с учетом возможного риска // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 3 (66). – С. 106–116.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – Москва: Радио и связь, 1993. – 278 с.

РАСЧЁТ ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

Д.Д. Сарнаков

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ41

Научный руководитель: В.Е. Рудник, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

В данной работе была рассмотрена релейная защита автотрансформаторов подстанции «№ 4». В ходе выполнения данной работы, была спроектирована токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП) автотрансформатора. Данная защита предназначена для защиты трансформатора от коротких замыканий на землю. На рис. 1 представлен район автотрансформаторов с первой и второй периферией.

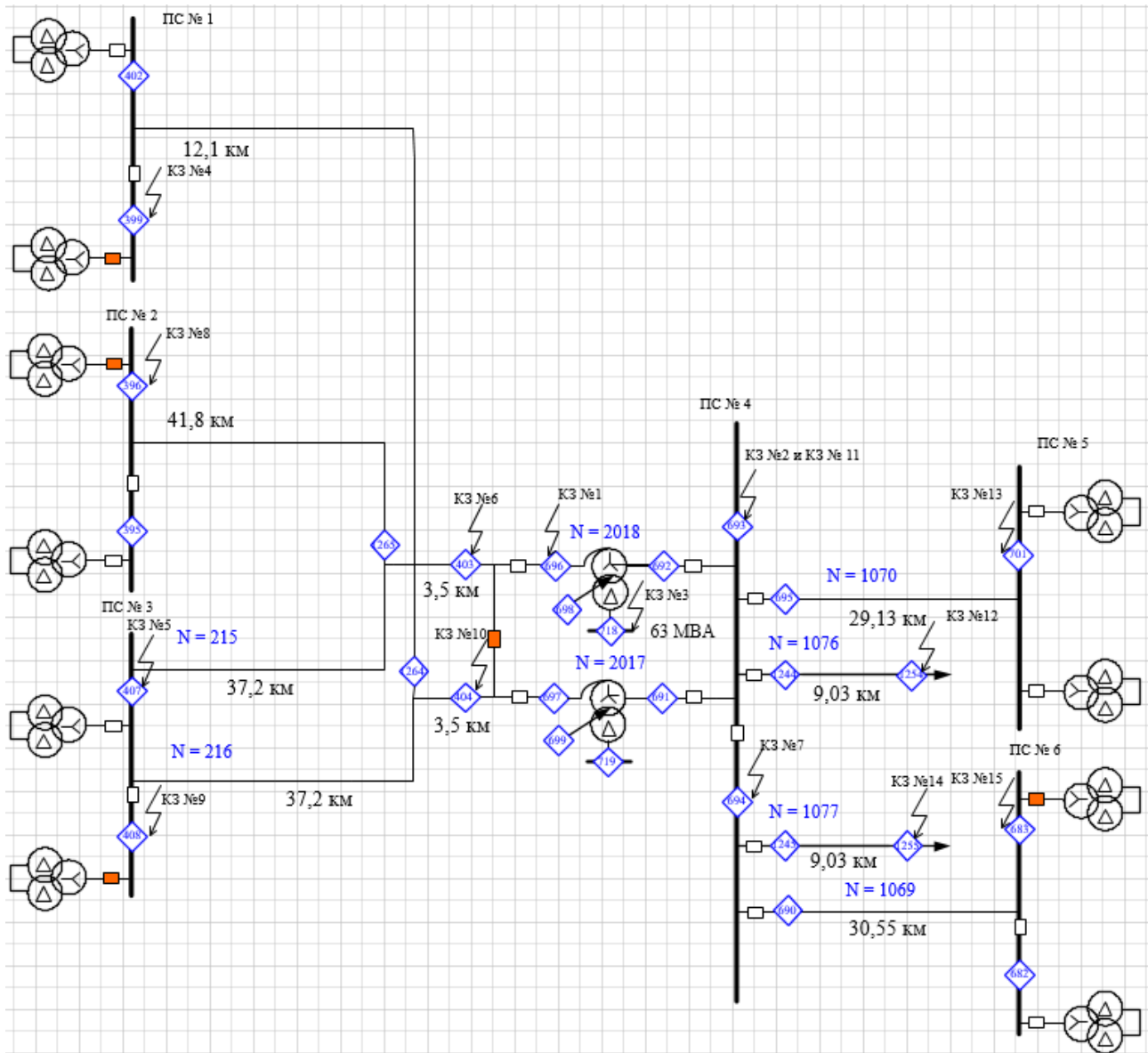


Рис. 1. Схема района подстанции «№ 4н»

Токовая направленная защита трансформатора в данной конфигурации состоит из 5 ступеней, часть из них имеют направленную защиту в сторону сети, а часть в сторону трансформатора. 1-я ступень направлена в трансформатор и отстраивается от КЗ на шинах защищаемой стороны. 2-я ступень также направлена в трансформатор, но отстраивается от КЗ на шинах смежной стороны. 3-я и 4-я ступень направлены в сеть, они же отстраиваются от первой и второй ступеней защит соответственно, стоящих на линиях, отходящих от данных шин. 5-ая ступень направлена в сеть отстраивается от тока небаланса в рабочем режиме. Каждая из ступеней выполняется с выдержкой времени. В табл. 1 представлены токи короткого замыкания, необходимые для расчёта защиты ТНЗНП, рассчитанные в программе АРМС РЗА.

Для примера представим расчёт для высшей стороны напряжения (ВН) автотрансформатора. Ток срабатывания 1-й ступени отстраивается от максимального тока короткого замыкания, из токов представленных в таблице, $K_{отс} = 1,3$. Чувствительность же первой ступени не проверяется. 2-я ступень защищаемого АТ необходимо согласовать с уставкой 3-й ступени защит линий, отходящей от средней стороны. Для данной ступени используем $K_{отс} = 1,1$. В дальнейших расчётах получим $I_{сзат(110)}^{III} = 526,3 \text{ А}$.

Таблица 1. Расчет токов короткого замыкания в программе АРМС РЗА

	Номер КЗ	Место КЗ	Вид КЗ	I1, А	I2, А	3I0, А
Токовая защита нулевой последовательности ВН АТ1	8	396	A0	152	152	457
			BC0	287	111	534
	9	408	A0	154	154	463
			BC0	290	111	546
	10	404	A0	98	98	560
			BC0	186	72	651
	11	693	A0	322	322	576
			BC0	602	194	731
Токовая защита нулевой последовательности СН	12	1254	A0	579	579	1646
			BC0	1103	439	1887
	13	701	A0	406	406	1219
			BC0	835	447	1163
	14	1255	A0	606	606	1230
			BC0	1135	375	1543
	15	683	A0	322	322	966
			BC0	691	403	865
	11	693	A0	640	640	2129
			BC0	1199	394	2680

Отстраиваемся от данной ступени с учётом коэффициента трансформации и коэффициента отстройки, и получаем уставку второй ступени равную 290 А. Чувствительность данной ступени проверяется по минимальному току КЗ, на отходящих линиях от данной секции шин. Коэффициент чувствительности рассчитывается по выражению (1).

$$K_{\text{ч}} = \frac{3I_{0\text{М}}}{I_{\text{с.з.АТ}}''} = \frac{576}{290} = 1,98. \quad (1)$$

3-я ступень АТ необходимо согласовать с уставкой 1-х ступеней защит линий, отходящей от высшей стороны, а 4-ю ступень с уставкой 2-х ступеней защит линий, отходящих от АТ1. Данные ступени были согласованы в программе АРМС РЗА, получившиеся уставки данных ступеней можно увидеть в табл. 2. 5-я ступень автотрансформатора отстраивается от тока небаланса в автотрансформаторе в нормальном режиме. Расчёт данного тока был произведён в программе АРМС РЗА, уставка была отстроена от данного тока и принята в 100 А. Чувствительность данной уставки также выполняется. Все итоговые значения уставок и коэффициентов чувствительности, а также время срабатывания данных ступеней можно наблюдать в табл. 2.

Таблица 2. Уставки срабатывания и коэффициенты чувствительности для каждой ступени трансформатора АТ1

Ступень защиты трансформатора АТ1	Уставка по току, А	Коэффициент чувствительности, о.е.	Время срабатывания, с
Сторона ВН			
1 – в АТ	965,9	–	0
2 – в АТ	290	2,02	0,95
3 – в сеть	398	4,8	0,35
4 – в сеть	162,3	2,52	1
5 – в сеть	100	4,09	3,8
Сторона СН			
1 – в АТ	1690	–	0
2 – в АТ	276	4,05	0,65
3 – в сеть	526,3	4,04	0,65
4 – в сеть	209	4,2	0,95
5 – в сеть	100	8,65	3,5

В результате можно сказать, что все уставки проходят по коэффициенту чувствительности, что позволяет установить данную защиту на реальный объект, то есть, на автотрансформаторы подстанции № 4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М.: Высшая школа, 2008. – 252 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В АЛГОРИТМЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

И.Н. Гусаров

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ31

Научный руководитель: А.Б. Аскаров, к.т.н., ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Введение

Источники возобновляемых источников энергии (ВИЭ) традиционно работают в режиме максимальной выдачи активной мощности в электросеть. Такая стратегия управления определяет функционирование ВИЭ в ведомом режиме относительно сети и ограничивает их возможность регулирования напряжения и частоты [1]. С уменьшением доли генерирующих установок, активно участвующих в регулировании частоты, наблюдается ухудшение общего инерционного отклика системы, а также сокращение резервов активной и реактивной мощности. Это, в свою очередь, снижает общую устойчивость сети. Кроме того, высокий процент ВИЭ в энергосистеме создает трудности для нормальной работы устройств релейной защиты и систем автоматического управления в аварийных ситуациях.

Таким образом, одной из ключевых задач в области электроэнергетики становится разработка системы автоматического управления (САУ) для инверторов, подключенных к ВИЭ. Эта система должна быть способна регулировать выдаваемую мощность, напряжение и частоту, а также перейти от ведомого режима к ведущему. Многие авторитетные научные группы [2–4] активно исследуют эту тему и рассматривают концепцию виртуального синхронного генератора (ВСГ) как одно из перспективных решений для устранения вышеупомянутых проблем.

Концепция ВСГ для инверторов ВИЭ

Концепция ВСГ заключается в воспроизведении характеристик и свойств реальной синхронной машины с помощью применения соответствующих уравнений и аппаратных решений в САУ инвертора. Это позволяет значительно повысить эффективность работы объектов ВИЭ в электрических сетях, а также улучшить их надежность как в обычных, так и в аварийных режимах.

Поскольку параметры алгоритма ВСГ не зависят от конкретных характеристик синхронной машины, это открывает широкие возможности для оптимизации алгоритмов управления силовыми преобразователями в различных схемах и режимах. Один из подходов к совершенствованию САУ ВСГ заключается в использовании адаптивных алгоритмов виртуальной инерции. В одной из работ [5] рассматривается возможность изменения момента инерции в