

## РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

А.В. Андриенко

Томский политехнический университет ЭНИН, каф. ЭЭС

В настоящее время все большее внимание уделяется разработке нового поколения адаптивных устройств релейной защиты и автоматики [1, 2, 3]. Основной особенностью данных устройств является учет текущих условий работы энергосистемы (ЭС) или максимально полного множества возможных состояний ЭС при выборе управляющих воздействий. При этом повышается сложность разработки, как самого алгоритма, так и методики расчета уставок, так как условия работы адаптивной защиты могут отличаться в зависимости от специфики как ЭС в целом, так и отдельного узла подключения защиты. Чтобы упростить задачу разработчика существует практика использования тестовых схем [4], представляющих собой универсальные схемы, учитывающие специфичные условия работы различных энергосистем и позволяющие наиболее полно определить требования к функциональным возможностям новых устройств.

Наибольшее распространение получили тестовые схемы для исследования методов определения опасных сечений, максимально допустимых перетоков мощности и устойчивости энергосистем. В то же время, примеры разработки схем для исследования адаптивной релейной защиты не известны. Тот факт, что устойчивость энергосистемы во многом зависит от селективности и скорости срабатывания устройств релейной защиты и автоматики (УРЗА)[5], и, наоборот, требования к алгоритмам работы и выбору уставок защиты во многом могут зависеть от границ устойчивости ЭС, обуславливает целесообразность выбора одной из таких схем в качестве основы для разработки тестовой схемы адаптивной защиты.

На данном этапе работы автором рассматривается только один вид защиты – дистанционная, а в качестве исходной тестовой схемы была выбрана ReliabilityTestSystem 1996 (RTS-96), в которой произвольным образом был выбран защищаемый объект – одноцепная ВЛ 110 кВ с двухсторонним питанием, связывающая электростанцию «102 - Адамс» и подстанцию «106 - Альбер», рисунок 1.

Выбор именно RTS-96 был обусловлен открытым доступом и рекомендациями разработчика – международного Института инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Отчет IEEE [6] содержит все необходимые для расчетов исходные данные, разработчики рекомендуют тестовую схему для исследований в области определения надежности энергосистем, сравнения результатов новых и существующих методов оценки надежности. Кроме того, IEEE приветствуется разработка новых модификаций для схемы RTS-96, что в перспективе позволяет рассчитывать на интерес к результатам работы со стороны международного сообщества.

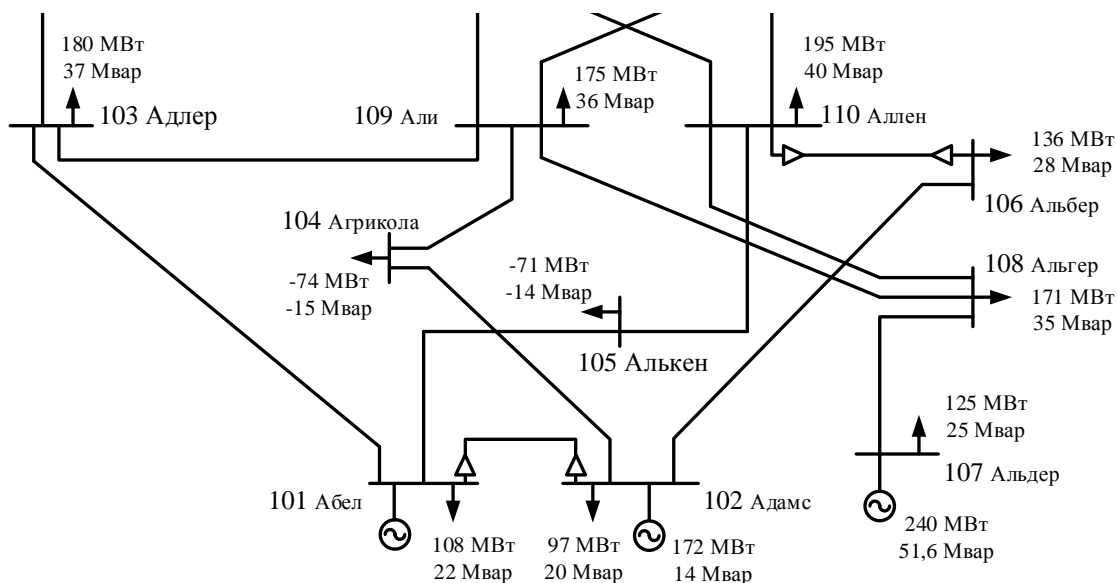


Рис. 7 Фрагмент схемы RTS-96

Расчет режимов работы тестовой ЭС в RastrWin и параметров срабатывания дистанционной защиты (ДЗ) линии показал, что, не смотря на рекомендации, стандартная модификация сети RTS-96 не подходит для учета возможных специфических условий работы устройств защиты. В частности, ДЗ линии не улавливает разницы между возмущениями в максимальном и минимальном режимах работы, В то же время, учет влияния доаварийного режима на параметры срабатывания является одним из основных требований к адаптивной защите. Определяемые защитой сопротивления представлены в таблице 1.

Изучив топологию сети RTS-96 и отчеты о системных авариях, в которых неверная работа ДЗ стала причиной их возникновения, либо усугубления сложившейся ситуации [3, 7], было принято решение модернизировать схему для моделирования возможных наиболее неблагоприятных условий работы дистанционной защиты.

Таблица 1 - Расчетные сопротивления, определяемые дистанционной защитой в максимальном и минимальном режимах

Тип и место КЗ	Максимальный режим		Минимальный режим	
	$Z_{BC}, \text{ Ом}$	$\varphi^0$	$Z_{BC}, \text{ Ом}$	$\varphi^0$
-	359,797	67,545	373,005	71,494
$K^{(3)} - 106$	37,974	75,327	37,977	75,328
$K^{(3)} - 110$	51,032	75,446	51,01	75,444
$K^{(3)} - 105$	418,507	56,97	442,787	62,454
$K^{(3)} - 104$	215,677	-117,743	220,92	-114,668

Определение сопротивления защитой происходит на основании данных о напряжении на шинах и токе в линии по выражению 1.

$$\underline{Z}_{\phi_1\phi_2} = \frac{(\underline{U}_{\phi_1} - \underline{U}_{\phi_2})}{(\underline{I}_{\phi_1} - \underline{I}_{\phi_2})}; \quad (1)$$

Следовательно, изменение этих параметров приводит к изменению определяемого защитой сопротивления. Очевидно, что напряжение в узле тем больше подвержено изменению, чем дальше от этого узла находится источник питания (генератор) и/или источник реактивной мощности (управляемое компенсирующее устройство), способные поддерживать заданный уровень напряжения. В этом случае изменение напряжения в узле установки защиты будет сильно зависеть от величины падения напряжения на участках сети между источником и точкой короткого замыкания. При значительной удаленности точки короткого замыкания от источника питания и наличии мощной нагрузки, в узлах между источником питания (напряжение в которых поддерживается в пределах допустимых

отклонений) и точкой короткого замыкания, составляющая тока, питающего точку короткого замыкания может быть сравнима с током нагрузки. В этом случае падение напряжения в сети между источником питания и местом короткого замыкания будет зависеть от нагрузочного режима и, соответственно, оказывать влияние на условия работы дистанционной защиты.

Изменение топологии сети, наиболее распространенным из которых является отключение линии электропередачи, также может привести к неправильной работе дистанционной защиты. В связи с указанными выше причинами часть схемы была изменена, а именно: подстанции на стороне 110 кВ связаны в «кольцо», добавлена узловая подстанция «100 – Альфа», соединенная с шинами электростанции «102 – Адамс» двухцепной воздушной линией, рисунок 2.

Результаты анализа причин системных аварий, позволяют установить, что влияние отключения линий на работу дистанционной защиты в подавляющем большинстве случаев проявляется в максимальном режиме. Отключение линии может быть следствием ложного срабатывания: из-за перегрузок напряжение в узлах сети может значительно снизиться, и определяемое реле сопротивление, и без того сниженное увеличением тока в линии, уменьшается до уровня сопротивления срабатывания.

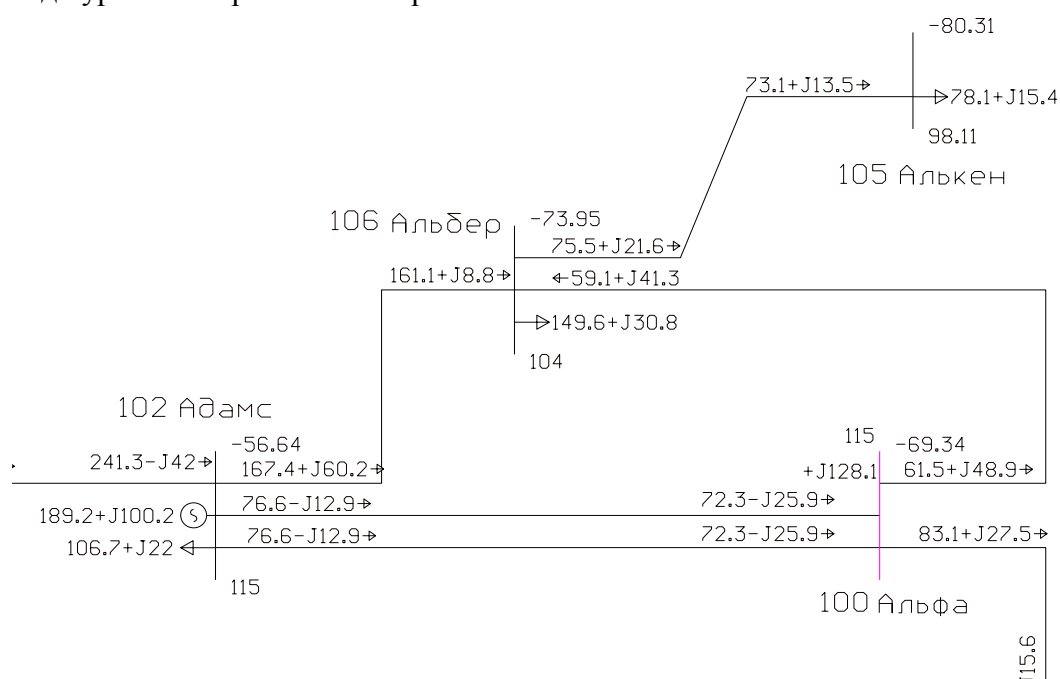
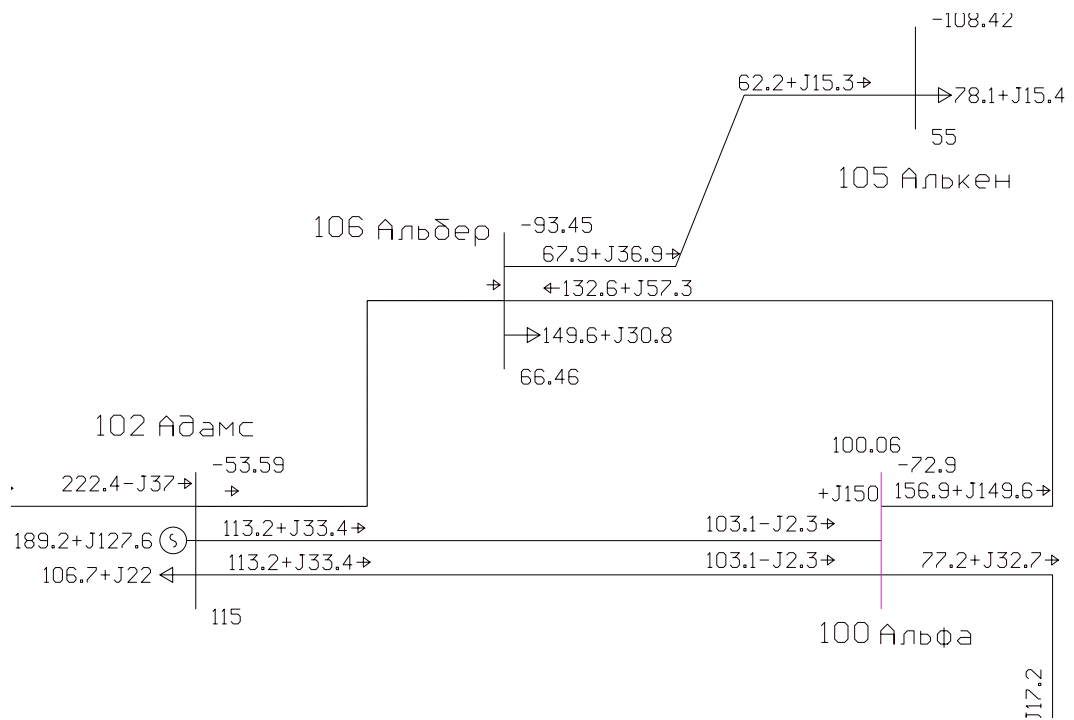


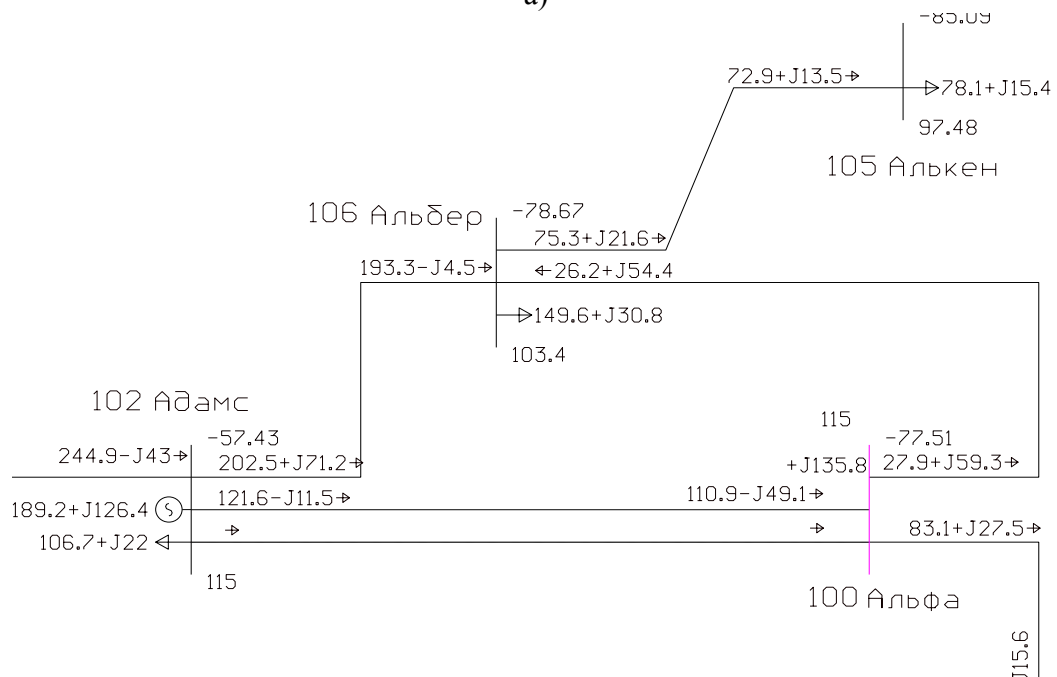
Рис. 8 «Кольцо» на стороне 110 кВ (все ЛЭП в работе)

Кроме того, нельзя исключать отключение линии в любом другом нагрузочном режиме, вследствие вывода в ремонт, или кражи проводов ЛЭП.

Независимо от причины, отключение линий приводит к одному результату – увеличению сопротивления сети, перераспределению потоков мощности, установлению нового режима работы ЭС, в чем можно убедиться из рисунков 2 и 3 (а, б): отключение одной из линий, примыкающей к электростанции «102 Адамс» приводит к увеличению потоков мощности по оставшимся в работе линиям, что может спровоцировать ложное определение короткого замыкания одной из ступеней дистанционной защиты.



а)



б)

Рис. 3. Изменение перетоков мощности при: а) отключена линия "Адамс - Альбер"; б) отключена линия "Адамс - Альфа"

Проведенные расчеты подтверждают повышение наглядности схемы после внесенных изменений. Так, например, в минимальном режиме определяемые органом сопротивления значения будут существенно выше, нежели в максимальном, таблица 2.

Таблица 2 - Расчетные сопротивления, определяемые дистанционной защитой после изменения схемы

Тип и место КЗ	Максимальный режим		Минимальный режим	
	$Z_{BC}$ , Ом	$\varphi^0$	$Z_{BC}$ , Ом	$\varphi^0$
-	178,173	-7,206	585,217	-15,534
$K^{(3)} - 106$	114,139	15,618	225,325	33,929
$K^{(3)}$ – параллельная линия «Адамс – Альфа» (вблизи ЭС «102 Адамс»)	122,491	21,018	183,258	32,475
Откл. линия «Адамс – Альфа»	113,387	-2,933	382,5	-13,092
$K^{(3)} - 106$	76,843	16,492	167,643	30,335
Откл. линия «Адамс – Альбер»	78,294	-10,926	299,598	-18,217
$K^{(3)} - 106$	75,226	18,174	146,247	45,542
$K^{(3)}$ – параллельная линия «Адамс – Альфа» (вблизи ЭС «102 Адамс»)	62,258	8,802	93,986	19,641

Сомкнув нагрузку в «кольцо» и удалив от источников мощности, удалось добиться значительного увеличения перетока мощности через защищаемый объект, а также наглядного отличия в условиях работы дистанционной защиты в различных режимах работы энергосистемы. Модернизированная схема RTS-96 больше подходит для проектирования и настройки устройств дистанционной защиты, так как отражает больше возможных ситуаций, способных повлиять на работу дистанционной защиты.

В дальнейшем планируется учесть в схеме влияние промежуточных источников питания, в том числе управляемой компенсации, параллельных линий и характеристик нагрузки на работу ДЗ линии «Адамс – Альфа», а также проверить достаточность руководящих указаний и рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания ДЗ для обеспечения надежной работы ДЗ в составе разрабатываемой тестовой схемы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. B. Biswas, K. D. Bhattacharya, P. Purkait and J. K. Das. Design of a Numerical Adaptive Relay Based on Memory Mapped Techniques // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2009 Vol II IMECS 2009, March 18 - 20, 2009, Hong Kong
2. Пат. 2416851 RU, МПК6 H02H3/40, G01R31/08. Способ и реле адаптивной дистанционной защиты для линий электропередачи / М. Саха, Э. Росоловски, Я. Изиковски; АББ ТЕКНОЛОДЖИ ЛТД. 10.02.2006
3. M. Jonsson, J. Daalder. Distance Protection and Voltage Stability // International conference Power System Technology. Proceedings, Vol. 2, 2000
4. P. Bangalore, L. Bertling. Extension of test system for distribution system reliability analysis with integration of Electric Vehicles in distribution system // Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition, 5-7 December 2011
5. Мелешкин Г.А., Меркульев Г.В. Устойчивость энергосистем. Монография. Книга 1: СПб: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. – 369 с
6. C. Grigg, P. Wong The IEEE Reliability Test System – 1996: A report of the Application of Probability Methods Subcommittee // IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 3, August 1999
7. Беляев А.Н., Смирнов А.А., Смолоник С.В. Аварии, аварийные режимы и их ликвидация // Журнал «Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации» №4/2007
8. Руководящие указания по релейной защите. Вып.7. Дистанционная защита линий 35-330 кВ – М.: «Энергия», 1966.

Научный руководитель: А.В. Прохоров, к.т.н., доцент кафедры ЭЭС ЭНИН ТПУ.