

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ РЕЗЕРВНАЯ ЗАЩИТА МОЩНЫХ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР

Сивокобыленко В. Ф., Гребченко Н. В., Анухтин А. С., Зубашенко В. В.

Донецкий государственный технический университет

Госинспекция Минтопэнерго Украины

ivp@elf.dgtu.donetsk.ua

The differential-current principle is fixed in the base of differential current additional reserve protection (DRP). The current relays of PHT type are used in it. These relays are connected to the current transformers of the block on the 330kV bus and on the side of zero terminals of the generator. Thereby the current relays of DRP are attached in tandem with the relays of the main differential block protection, however they have vastly more sensitivity i.e. vastly smaller setting of act.

Устойчивая работа электрических станций в большой степени обеспечивается за счет надежной работы релейной защиты (РЗ) их электрооборудования. В нынешних условиях, характеризующихся увеличением числа аварийных ситуаций, а также ростом количества случаев возникновения сопутствующих повреждений, роль РЗ постоянно возрастает. Во многих случаях из-за относительного несовершенства РЗ не может предотвратить развитие аварий, которые все чаще протекают по наиболее тяжелому пути и сопровождаются значительными экономическими потерями.

В настоящее время на блочных тепловых электрических станциях (ТЭС) отсутствуют защиты, которые предотвращают развитие аварий путем воздействия на отключение блоков при повреждениях, сопровождающихся исчезновением оперативного постоянного тока. По указанной причине на Угледорской ТЭС и ряде других ТЭС Донбасса имели место повреждения блочных трансформаторов и трансформаторов собственных нужд (с.н.) при коротком замыкании (к.з.) в системе с.н. 6 кВ, дуговое воздействие которого приводило к отключению автоматов оперативного постоянного тока основных защит. Руководящими указаниями по релейной защите не предусмотрены резервные защиты, которые могли бы ликвидировать такие повреждения [1-4].

В связи с этим была поставлена задача разработки и внедрения резервной защиты, предотвращающей повреждение основного электрического оборудования блоков генератор- трансформатор при к.з. в системе с.н. 6 кВ, сопровождающихся одновременной потерей постоянного оперативного тока, отказом в работе выходных реле защит трансформатора собственных нужд (ТСН) из-за отсутствия оперативного постоянного тока или по любой другой причине [5]. Результаты разработки указанной защиты и ее испытаний приведены в настоящей статье.

Для предотвращения повреждений оборудования при таких к.з. кафедрой "Электрические станции" Донецкого государственного технического университета разработана дифференциально-токовая дополнительная резервная защита (ДРЗ). Совместно с персоналом Угледорской ТЭС защита испытана и внедрена на блоке №3. ДРЗ подключается к другому источнику оперативного тока (не к блочной, а к аккумуляторной батарее, питающей ОРУ 330 кВ), что обеспечивает независимость ее действия от состояния оперативного тока, к которому подключены защиты ТСН и блока.

На Угледорской ТЭС имеется четыре энергоблока по 300 МВт, два из них подключены на открытое распределительное устройство (ОРУ) 110 кВ, а два - на ОРУ-330 кВ. В цепи между генераторами и трансформаторами отсутствуют коммутационные аппараты (рисунок). К выводам генераторов на напряжении 20 кВ подключены рабочие трансформаторы собственных нужд и трансформаторы системы возбуждения (выпрямительные трансформаторы). В соответствии с проектом на этих блоках в качестве основной защиты установлена дифференциальная защита, которая подключается к трансформаторам тока 2000/1 на стороне 330 кВ, встроенным в высоковольтные вводы блочного трансформатора, а со стороны нулевых выводов генератора - к трансформаторам тока 12000/5. Таким образом, существующая дифференциальная защита блока выполнена с использованием только трансформаторов тока (ТТ) генератора и ТТ на ВН блочного трансформатора, без использования ТТ со стороны отпайки на ТСН. Поэтому ее реле отстроены от к.з. на стороне 6 кВ ТСН и не могут быть использованы в качестве резервной защиты при к.з. на стороне 6 кВ.

В основу защиты ДРЗ положен дифференциально-токовый принцип. В ней используются дополнительно устанавливаемые токовые реле типа РНТ или ДЗТ. Эти реле подключены к трансформаторам тока блока на стороне 330 кВ и со стороны нулевых выводов генератора. Таким образом, токовые реле ДРЗ включены последовательно с реле основной дифференциальной защиты блока, однако имеют гораздо большую чувствительность, т.е. с гораздо меньшей уставкой срабатывания. ДРЗ отстроена по времени на ступень селективности от резервной защиты ТСН. Она действует на отключение выключателей блока 330 кВ, автомата гашения поля (АГП) генератора и на выходные реле защит блока.

С целью предотвращения ложной работы ДРЗ при пуске мощных электродвигателей и групповом самозапуске электродвигателей с.н. в защите предусмотрена блокировка минимального напряжения со стороны каждой из секций 6 кВ. Эта же блокировка исключает ложную работу защиты при обрыве токовых цепей.

Принцип действия защиты ДРЗ основан на использовании цепей дифференциальной защиты блока для определения тока рабочего ТСН и использовании этого тока для токовой защиты, выполняемой с помощью реле ДЗТ. При этом ДРЗ выполняется путем дополнительного подключения комплекта дифференциальных токовых реле KAW1-KAW3 последовательно с имеющимися реле дифференциальной защиты блока (рисунок).

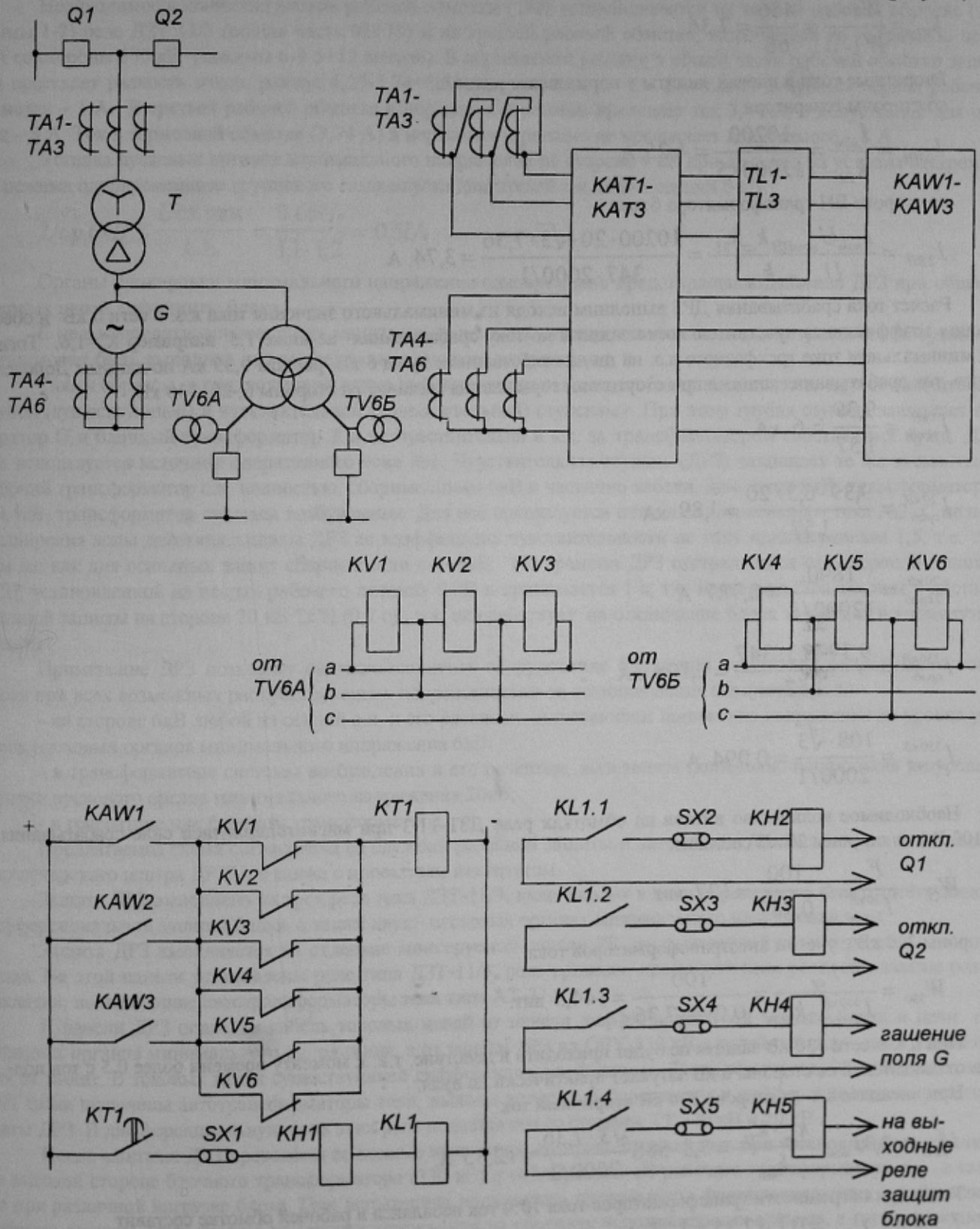


Рисунок - Принципиальная схема ДРЗ

Используя тормозную обмотку реле ДЗТ, включенную на ток со стороны ВН трансформатора, представляется возможным выполнить отстройку защиты от внешних к.з. на стороне ВН блока.

Ниже в качестве примера приведем расчет уставок ДРЗ для блока 300 МВт, подключенного к шинам ОРУ-330 кВ с трансформаторами тока с коэффициентами трансформации 2000/1 со стороны 330 кВ и 12000/5 со стороны нулевых выводов генератора. Для выравнивания токов в плечах дифференциальной защиты ДРЗ устанавливаются со стороны трансформаторов тока на 330 кВ повышающие автотрансформаторы тока типа АТ-31 с коэффициентом трансформации:

$$k_{TL} = \frac{W_{1-2}}{W_{1-11}} = \frac{486}{66} = 7,36$$

Вторичные токи в плечах защиты в нормальном режиме:
со стороны генератора

$$I_{2НН} = \frac{I_{ном}}{k_{ТА}} = \frac{10200}{12000/5} = 4,25 \text{ А}$$

на стороне ВН трансформатора блока

$$I_{2ВН} = \frac{I_{ном} U_{номНН} k_{сх} k_{TL}}{U_{номВН} k_{ТА}} = \frac{10200 \cdot 20 \cdot \sqrt{3} \cdot 7,36}{347 \cdot 2000/1} = 3,74 \text{ А}$$

Расчет тока срабатывания ДРЗ выполним исходя из минимального значения тока к.з. в сети 6 кВ и обеспечения коэффициента чувствительности защиты по току срабатывания не ниже 1,5, например $K_v=1,6$. Тогда при минимальном токе трехфазного к.з. на шинах собственных нужд 6 кВ, равном 9,39 кА по данным Донбасс-энерго, ток срабатывания защиты при отсутствии торможения составит со стороны 6, 20, 330 кВ:

$$I_{сраб}^{6кВ} = \frac{9,39}{1,57} = 6 \text{ кА}$$

$$I_{сраб}^{20кВ} = \frac{9,39 \cdot 6,3/20}{1,57} = 1,89 \text{ кА}$$

$$I_{2сраб}^{20кВ} = \frac{1890}{12000/5} = 0,787 \text{ А}$$

$$I_{сраб}^{330кВ} = \frac{9,39 \cdot 6,3/347}{1,57} = 0,108 \text{ кА}$$

$$I_{2сраб}^{330кВ} = \frac{108 \cdot \sqrt{3}}{2000/1} = 0,094 \text{ А}$$

Необходимое количество витков на обмотках реле ДЗТ-11/3 при магнитодвижущей силе срабатывания $F_{ср}=100 \text{ ВА}$ со стороны 20 кВ составит:

$$W_{20} = \frac{F_{ср}}{I_{2сраб}^{20кВ}} = \frac{100}{0,787} = 127 \text{ вит}$$

со стороны 330 кВ с учетом автотрансформаторов тока:

$$W_{330} = \frac{F_{ср}}{I_{2сраб}^{330кВ} \cdot k_{TL}} = \frac{100}{0,094 \cdot 7,36} = 144,5 \text{ вит}$$

При к.з. в сети 330 кВ защита не будет приходить в действие, т.к. к моменту времени более 0,5 с ток подпитки от двигателей со стороны 6 кВ затухает практически до нуля.

При внешнем к.з. на стороне 330 кВ вторичный ток

$$I_{2ВН}^K = 3,3 I_{ном} \cdot \frac{k_{сх} \cdot k_{TL}}{k_{ТА}} = 3,3 \cdot 588 \frac{\sqrt{3} \cdot 7,36}{2000/1} = 12,35 \text{ А}$$

Тогда при погрешности трансформаторов тока 10% ток небаланса в рабочей обмотке составит

$$I_{нб} = 0,1 \cdot i_{к330} = 0,1 \cdot 12,35 = 1,23 \text{ А}$$

и будет создавать в рабочей обмотке м.д.с.

$$F_p = 1,23 \cdot W_p = 1,23 \cdot (17 + 127) = 177 \text{ А}$$

Торможение должно надежно превышать эту м.д.с. с коэффициентом надежности $K_n=1,6$, т.е. $1,6 \cdot 177=283$ А.

Тогда по тормозной характеристике ДЗТ-11/3 в режиме минимального торможения находим требуемую для несрабатывания реле тормозную м.д.с., которая должна быть не менее $F_T=310$ А.

$$W_T = \frac{F_T}{I_T} = \frac{310}{12,35} = 25 \text{ вит.}$$

Необходимое количество витков рабочей обмотки (144) устанавливается на первой рабочей обмотке (зажимы 1-2) реле ДЗТ 11/3 (общая часть 92+35) и на третьей рабочей обмотке, включаемой во вторичную цепь ТА со стороны 330 кВ (зажимы 6-9 5+12 витков). В нормальном режиме в общей части рабочей обмотки защиты протекает разность токов, равная $4,25-3,74=0,51$ А, т.е. меньше, чем длительно допускает первая рабочая обмотка – 1 А. В третьей рабочей обмотке в нормальном режиме протекает ток 3,74 А, а допустимый для нее ток – 8 А. Ток в тормозной обмотке (3,74 А) в нормальном режиме не превышает допустимого – 8 А.

Уставка пусковых органов минимального напряжения по стороне 6 кВ принимается из условия отстройки от режима одновременного группового самозапуска двигателей с.н. обеих секций 6 кВ:

$$U_{ср.6кВ} \leq \frac{U_{сз. min}}{k_n k_e} = \frac{0,65 U_n}{1,1 \cdot 1,2} = 0,5 U_n.$$

Органы блокировки минимального напряжения одновременно предотвращают действие ДРЗ при обрыве токовых цепей дифзащиты блока.

С целью предотвращения пуска защиты из-за высокой чувствительности к несимметричным к.з. пусковой орган может быть выполнен на трех реле минимального напряжения.

Таким образом, в предложенной схеме дифференциальная защита блока выполняется двухступенчатой: с грубой (существующей) и чувствительной (дополнительной) ступенями. При этом грубая ступень защищает генератор G и блочный трансформатор T и не чувствительна к к.з. за трансформатором собственных нужд. Для нее используется источник оперативного тока №1. Чувствительная ступень (ДРЗ) защищает те же элементы и рабочий трансформатор с.н. полностью, сборные шины 6кВ и частично кабели, двигатели 6кВ, трансформаторы 6/0,4кВ, трансформатор системы возбуждения. Для нее используется источник оперативного тока №2. С целью расширения зоны действия защиты ДРЗ ее коэффициент чувствительности по току принят равным 1,5, т.е. таким же как для основных защит сборных шин с.н. 6кВ. По времени ДРЗ отстраивается от резервной защиты ТСН, установленной на вводах рабочего питания 6 кВ и принимается 1 с, т.е. несколько больше, чем у дистанционной защиты на стороне 20 кВ ТСН (0,7 с), т.к. она действует на отключение блока также как и упомянутая защита.

Применение ДРЗ позволяет надежно защитить оборудование блока при отсутствии оперативного тока блока при всех возможных распространениях повреждения из-за возникновения следующих к.з.:

- на стороне 6кВ любой из секций с.н. и его развитии, вызывающем понижение напряжения до уровня уставок пусковых органов минимального напряжения 6кВ;
- в трансформаторе системы возбуждения и его развитии, вызвавшем понижение напряжения до уровня уставки пускового органа минимального напряжения 20кВ;
- в генераторе или блочном трансформаторе.

Предлагаемая схема согласована со службой релейной защиты и автоматики Донбасского регионального диспетчерского центра ДРДЦ, а также с проектным институтом.

Защита ДРЗ выполнена на трех реле типа ДЗТ-11/3, включаемых в цепи переменного тока существующей дифференциальной защиты блока, а также двух пусковых органах минимального напряжения.

Защита ДРЗ выполняется на отдельно монтируемой панели РЗ, расположенной вблизи релейных защит блока. На этой панели установлены реле типа ДЗТ-11/3, реле времени, промежуточные реле, сигнальные реле, накладки, повышающие автотрансформаторы тока типа АТ-31.

К панели ДРЗ подведен кабель токовых цепей от панели дифференциальной защиты блока и цепи от пусковых органов минимального напряжения, а от панели ДРЗ на ОРУ-330 кВ в релейный зал - цепи отключения от защит. В токовых цепях существующей дифференциальной защиты блока со стороны 330 кВ после реле РНТ были включены автотрансформаторы тока, выходы которых подсоединены к дифференциальным реле защиты ДРЗ. В дифференциальную цепь этих реле подается ток со стороны ТТ 330 кВ и 20 кВ.

После монтажа ДРЗ проведены ее полные испытания, которые проводились при установлении коротки на высокой стороне блочного трансформатора (330 кВ) и со стороны 6 кВ рабочего трансформатора с.н., а также при различной нагрузке блока. При испытаниях проверялась правильность функционирования и работоспособность защиты, выполнялись измерения напряжения на обмотках исполнительных органов, а также выполнялась оценка величины тока небаланса.

Полученные результаты испытаний позволили сделать вывод о том, что измерительные реле защиты ДРЗ включены правильно, надежно отстроены от тока небаланса в режимах внешних к.з. и с достаточным запасом отстроены от тока нагрузки ТСН.

Включение ДРЗ в цепи существующей защиты привело к некоторому увеличению нагрузки на трансформаторы тока [6,7]. Выполненные расчеты и результаты испытаний показали, что нагрузка на ТТ при подключении защиты ДРЗ не превышает допустимую. На основании анализа схемных решений, расчетов и промышленных испытаний, а также согласований с проектным институтом и эксплуатирующими организациями сделано заключение о том, что защита ДРЗ соответствует техническим требованиям и в 1998 году введена в опытную эксплуатацию с действием на сигнал. После накопления достаточного опыта эксплуатации должен быть решен вопрос о возможности перевода действия защиты на отключение.

При применении ДРЗ на блоках с высшим напряжением 110-220 кВ не требуется никаких изменений в защите, кроме того, что изменяется коэффициент трансформации автотрансформаторов тока.

Выводы.

1. В современных условиях функционирования энергетики требуется выполнение специальных работ, направленных на обеспечение устойчивой работы электрической части электрических станций. Для этого разработана дополнительная резервная защита ДРЗ энергоблока, отключающая его при к.з., сопровождающихся исчезновением оперативного постоянного тока. Для реализации ДРЗ необходимы только типовые серийно выпускаемые элементы.

2. Кафедрой "Электрические станции" ДонГТУ разработан проект защиты ДРЗ, включающий принципиальные и монтажные схемы, методику расчета параметров срабатывания и оценки нагрузки на трансформаторы тока. Токовый измерительный орган ДРЗ выполнен на реле типа ДЗТ и включен в токовые цепи существующей дифференциальной защиты блока, что не требует установки новых трансформаторов тока и выполнения сложных токовых цепей. Пусковые органы минимального напряжения включены на напряжение 6 кВ каждой из секций с.н.

3. Выполнен монтаж и наладка ДРЗ на блоке 300 МВт №3 Угледорской ТЭС. Проведены испытания защиты при работе генератора на закоротку и на закоротку в сети 6 кВ, а также при различной нагрузке. Защита введена в опытную эксплуатацию.

4. На основании материалов Донецкого государственного технического университета совместно с Угледорской ТЭС и Донбасским региональным диспетчерским центром необходимо подготовить директивное указание о необходимости внедрения защиты ДРЗ на всех электростанциях Донбасса, а также ТЭС Украины. При этом следует учитывать получаемую техническую и экономическую эффективность, заключающуюся в обеспечении устойчивой работы ТЭС и предотвращении значительных материальных потерь, связанных с выходом из строя дорогостоящего основного электротехнического оборудования ТЭС. После таких аварий оборудование не подлежит восстановлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Собственные нужды тепловых электростанций // Э.М.Аббасова, Ю.М.Голоднов, В.А.Зильберман, А.Г.Мурзаков; Под ред. Ю.М.Голоднова. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 272 с.
2. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 1. Защита генераторов, работающих на сборные шины. ГЭИ. М., Л.: 1961. - с.68.
3. Руководящие указания по релейной защите. Защита блоков генератор-трансформатор и генератор-автотрансформатор. Выпуск 5. 1963. - с.110.
4. Правила устройства электроустановок // Минэнерго СССР. - 6-е изд., М.: Энергоатомиздат. - 1986. - с.648.
5. Сивокобыленко В.Ф., Гребченко Н.В., Курьшко Г.И. Разработка резервной защиты мощных энергоблоков электрических станций // Тезисы Всероссийского электротехнического конгресса с международным участием "На рубеже веков: итоги и перспективы". ВЭЛК-99. Том I, С I-XXIV; 1-295. Москва, 1999.
6. Реле защиты // Алексеев В.С., Варганов Г.П., Панфилов Б.И. и др. М.: Энергия, 1976. - с.464.
7. Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. - М.: Энергия, 1980. - с.208.