Минэнерго СССР

ГПИО "ЭНЕРГОПРОЕКТ"

ВГПИиНИИ "ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ"

УКАЗАНИЯ

по областям применения различных
видов оперативного тока на подстанциях
110 кВ и выше

№ 13906 тм-т1

Зам.главного инженера — С.Я.Петров

Начальник ОРЗА — Д.Д.Левкович

Начальник ПТО — А.С.Бурцев

Москва - 1990 г.

gost.e-ecolog.ru

В работе приняли участие:

Бордачев А.М.	- зам.начальника ОРЗА
Айрапетов Ю.Г.	- гл.специалист ОРЗА
Акопова С.А.	- гл.специалист ПТО
Фешенко В.А.	- зав.группой ОРЗА

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

АННОТАЦИЯ 4

I. Введение 5
2. Постоянный оперативный ток 7
3. Выпрямленный оперативный ток 9
4. Переменный оперативный ток 15
5. Применение выпрямительных устройств для питания электромагнитов включения масляных выключателей с электромагнитным приводом 20
6. Смешанные системы оперативного тока 20
7. Экономическое сравнение различных вариантов организации системы оперативного тока на подстанциях 220, II0 и 35 кВ 24
8. Приложение I. Пояснения к таблицам сопоставления стоимости различных вариантов систем оперативного тока ПС 29

Приложение 2. Пример определения граничных условий для выбора вида оперативного тока на подстанциях со схемами мостиков 43

9. Список литературы 45

АННОТАЦИЯ

"Указания по областям применения различных видов оперативного тока на подстанциях II0 кВ и выше" разработаны для подстанций энергосистем и могут использоваться при проектировании понижающих подстанций промышленных предприятий, городских и сельскохозяйственных подстанций, если их применение не противоречит специфике таких ПС.

Актуальность выполняемой работы подтверждается отсутствием в "Правилах устройства электроустановок" [I] положений, связанных с выбором вида оперативного тока на ПС энергосистем, а действующие "Нормы технологического проектирования ОНТП5-78", в части выбора оперативного тока (п.п. 6.4, 6.5, 6.6) и "Указания по области применения различных видов оперативного тока на подстанциях" (№ I0653тм-тI, I982г) частично устарели.

Настоящая работа содержит рекомендации по применению оперативного тока на ПС энергосистем, которыми в дальнейшем следует пользоваться при конкретном проектировании. Рекомендации даны для типовых схем электрических соединений ПС 35-750 кВ [2].

В настоящих "Указаниях" вопросы проектирования питания устройств телемеханики и связи на ПС не рассматриваются, поскольку способы их питания не влияют на приведенные ниже рекомендации в части оперативного тока для устройств защиты, управления, автоматики и сигнализации подстанции.

Настоящие "Указания..." выполнены с учетом замечаний и предложений отделений института "Энергосетьпроект" и энергосистем .

В В Е Д Е Н И Е

I.I. Выбор вида оперативного тока является одним из важнейших компонентов проектирования ПС энергосистем, поскольку он в дальнейшем определяет технические решения по управлению, автоматике и защите элементов ПС и, в конечном итоге, - надежность электроснабжения потребителей и самой ПС в целом. Основным фактором при выборе вида оперативного тока на ПС является технико-экономическое сравнение вариантов. Для этого в настоящей работе приведены описания построения различных систем оперативного тока, области их применения, а также вариантное сравнение по приведенным затратам каждой типовой схемы ПС. Указанное, в первую очередь, относится к ПС II0-220 кВ с мостиковыми и блочными схемами.

На окончательный выбор вида оперативного тока могут оказать влияние и такие факторы, как наличие или отсутствие постоянного дежурного на ПС, место расположения ПС, традиции, сложившиеся в энергосистеме, укомплектованность энергопредприятий соответствующими специалистами и т.п.

I.2. Со времени ввода в действие предыдущих "Указаний..." произошли изменения, влияющие на выбор системы оперативного тока, а именно:

I.2.I. Типизированы и получили широкое распространение ПС со схемами мостиков с тремя выключателями и блочные с выключателями на стороне высшего напряжения II0-220 кВ;

I.2.2. Сняты с производства баковые масляные выключатели типа МКП-II0 и У220; выключатель типа У-II0 хотя и выпускается промышленностью, но при новом строительстве, как правило, не используется. Широкое распространение получили маломасляные выключатели типа ВМТ-II0 и ВМТ-220 с пружинным приводом;

I.2.3. Освоены промышленностью выключатели ВМУЭ-35Б-25 с электромагнитным приводом типа ПЭМУ, с четырьмя встроенными трансформаторами тока;

I.2.4. Широкое распространение на напряжении 6-I0 кВ получил выключатель ВК-I0, в приводе которого отсутствует реле прямого действия;

I.2.5. Промышленностью освоено производство трансформаторов тока II0 кВ типа ТФЗМ-II0Б с четырьмя вторичными обмотками;

I.2.6. Со второго полугодия I990 г началась поставка новой серии шкафов управления ШУОТ-02 с аккумуляторами ССАП-76 с фильтр-пробкой в сосудах повышенной прочности. Гарантийный срок службы этих аккумуляторов - 5 лет.

Комплект ШУОТ-02 на 220В состоит из шкафа ПЗУ и двух шкафов аккумуляторной батареи (в каждом шкафу набор аккумуляторов на II0В, равный по емкости СК-2). Наличие в шкафу ПЗУ двух систем автоматики управления аккумуляторной батареи (одна резервная), повышение качества аккумуляторов и сравнительно невысокая стоимость шкафов ШУОТ-02 позволяют дать рекомендации для широкого их применения и учесть в данной работе как конкурентноспособный источник питания;

I.2.7. Электротехнической промышленностью выпускается большое число устройств, отдельных реле на микроэлектронной элементной базе с повышенными требованиями в части пульсаций выпрямленного напряжения.

2. ПОСТОЯННЫЙ ОПЕРАТИВНЫЙ ТОК

2.I. Постоянный оперативный ток - система питания оперативных цепей защиты, автоматики, управления, сигнализации, при которой в качестве источника постоянного оперативного тока для подстанций используются стационарные аккумуляторные батареи на напряжении 220 В, без элементного коммутатора, работающие в режиме постоянного подзаряда, а также шкафы управления оперативного тока (ШУОТ).

2.2. Расчет АБ, выбор схемы постоянного тока рекомендуется производить в соответствии с методикой, приведенной в типовой работе /4/.

2.3. В соответствии с "Нормами технологического проектирования ПС" /3/ на ПС должен, как правило, применяться для всех присоединений 6 кВ и выше один вид оперативного тока. При наличии обоснования допускается применение смешанной системы оперативного тока.

На ПС с постоянным оперативным током следует применять переменный оперативный ток на панелях щитов собственных нужд, а также для компрессорных, насосных и других вспомогательных устройств. Напряжение оперативного тока для этих устройств 220В, а в отдельных случаях допускается питание оперативных цепей напряжением 380 В.

На ПС, оборудованных электромагнитной блокировкой, независимо от наличия аккумуляторной батареи предусматриваются выпрямительные установки для питания цепей этой блокировки.

2.4. На ПС II0...330 кВ с постоянным оперативным током должна устанавливаться одна аккумуляторная батарея 220В. На ПС 330 кВ допускается установка двух аккумуляторных батарей.

На ПС II0, 220 кВ устанавливается одна аккумуляторная батарея, либо шкафы ШУОТ-02 по рекомендациям настоящей работы (см. раздел 6).

2.5. На ПС 500, 750 кВ должны устанавливаться две аккумуляторные батареи с раздельным питанием от них основных и резерв-

ных защит элементов ПС, дублированных устройств противоаварийной автоматики, а также цепей управления основных и дополнительных электромагнитов отключения выключателей. При этом резервирование всей нагрузки одной батареи от другой, как правило, не предусматривается.

Для питания микропроцессорных устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, в случае необходимости, предусматривается установка аккумуляторной батареи на напряжение 24-60 В.

2.6. Для постоянного подзаряда, а также послеаварийного заряда каждой аккумуляторной батареи типа СК и СН применяется два комплекта автоматизированных выпрямительных агрегатов типа ВАЗП 380/260-40/80-2, которые работают параллельно с аккумуляторной батареей, поддерживают необходимый уровень стабилизированного напряжения на шинах щита постоянного тока, возмещают потери, связанные с саморазрядом батареи и питанием всей длительной нагрузки постоянного тока. В нормальном режиме в работе находится один ВАЗП, другой - в резерве.

При установке на ПС двух аккумуляторных батарей, как правило, требуется три агрегата типа ВАЗП 380/260-40/80-2.

Для подзаряда концевых элементов аккумуляторных батарей следует предусматривать отдельные автоматизированные выпрямительные устройства, а также стационарное регулируемое разрядное сопротивление для контрольных разрядов.

2.7. Напряжение на шинах, от которых питаются устройства релейной защиты, автоматики и телемеханики, при любом режиме включения или отключения выключателей данной ПС не должно быть ниже 0,8 номинального значения.

2.8. Постоянный оперативный ток применяется:

- на подстанциях напряжением 330 кВ и выше,
- на подстанциях 110-220 кВ с развитыми системами (секциями) шин, и мостиковыми схемами (см. также п.3.3.2),
- на подстанциях с воздушными выключателями,
- на подстанциях с трансформаторами тока, вторичный ток которых 1А,

- во всех случаях, когда невозможно применение выпрямленного или переменного оперативного тока (см. разделы 3 и 4).

3. ВЫПРЯМЛЕННЫЙ ОПЕРАТИВНЫЙ ТОК

3.I.Выпрямленный оперативный ток (ВОТ) - система питания оперативных цепей защиты, управления, автоматики и сигнализации, при которой в качестве первичных источников питания используются измерительные трансформаторы тока и напряжения, трансформаторы собственных нужд; ток и напряжение от соответствующих источников преобразуются в выпрямленный с помощью блоков питания тока и напряжения и выпрямительных силовых устройств.

В системе ВОТ используются блоки стабилизированного напряжения типа БПНС-2, блоки нестабилизированного напряжения типа БПН-I002, блоки тока типа БПТ-I002 и выпрямительные силовые устройства типа УКПК-380.

В ближайшие годы намечена замена блока БПНС-2 на новое устройство аналогичного назначения типа УПНС-3 с большей выходной мощностью (в том числе сглаживающего фильтра), а также модернизация силовых выпрямительных устройств с заменой типа УКП-380 на УКПЗ-К-380.

В дополнение к системе выпрямленного оперативного тока могут использоваться предварительно-заряженные конденсаторы (см. п.3.5.I0).

3.2. Система выпрямленного оперативного тока предусматривает:

3.2.I. Подключение блоков питания тока типа БПТ-I002 к выносным трансформаторам тока, установленным в цепях выключателей на стороне ВН ПС, либо к трансформаторам тока, встроенным во вводные втулки ВН трансформатора (для ПС с отделителями и короткозамыкателями); подключение блоков питания напряжения типа БПНС-2 к трансформаторам напряжения на стороне ВН и к трансформатору собственных нужд; блоков питания напряжения типа БПН-I002 к трансформаторам собственных нужд.

3.2.2. Параллельную работу блоков питания тока (БПТ-I002) и напряжения (БПНС-2) на общие шинки на стороне выпрямленного напряжения и их секционирование в пределах панели выпрямительных устройств с помощью рубильника. При этом нормально рубильник замкнут.

3.2.3. Включение блоков тока (БПТ-I002) и блоков напряжения (БПНС-2) на стороне выпрямленного напряжения до сглаживающих фильтров, установленных в блоках БПНС-2.

3.2.4. Организацию шинок сглаженного и несглаженного напряжения 220В.

3.2.5. Питание цепей защиты, автоматики, управления, в зависимости от состава используемой аппаратуры, от шинок сглаженного или несглаженного напряжения (подробнее см. п.3.3.I.).

3.2.6. Питание цепей отключающих и включающих катушек выключателей 6-220 кВ с пружинным приводом, отключающих катушек вводных выключателей 6-35кВ с электромагнитным приводом от шинок несглаженного напряжения.

3.2.7. Возможность каскадного отключения вводных выключателей 6-35 кВ после отключения выключателя (или выключателей) стороны высшего напряжения при повреждениях в трансформаторе или на ошиновке ВН ПС.

3.2.8. Питание цепей сигнализации от двух отдельных выпрямительных блоков питания типа БПН-I002, подключаемых к шинам 0,38 кВ щита собственных нужд.

3.2.9. Питание цепей оперативной блокировки разъединителей от шинок обеспеченного питания через отдельный выпрямительный блок.

3.2.I0. Питание включающих катушек выключателей 6-35 кВ с электромагнитным приводом от силовых выпрямительных устройств типа УКПК-380 с индуктивным накопителем.

3.3. Области применения выпрямленного оперативного тока.

3.3.I. Обязательным условием возможности применения выпрямленного оперативного тока является обеспечение надежности

питания устройств управления, автоматики и защиты во всех расчетных режимах работы ПС, включая ремонтные режимы первичного оборудования и вывод линий в ремонт. Указанное условие должно подтверждаться соответствующими расчетами [II], [13].

3.3.2. При выполнении требования по п.3.3.I. выпрямленный оперативный ток может применяться на ПС II0-220/35/6(I0) кВ, II0-220/6(I0)/6(I0) кВ, II0-220/6(I0)кВ со следующими схемами электрических соединений:

- №№ II0-3, II0-3Н, II0-4, II0-4Н, II0-5, II0-5Н, II0-5АН, 220-3, 220-3Н, 220-4, 220-4Н - на стороне высшего напряжения;
- № 35-9 - на стороне среднего напряжения;
- №№ 6(I0)-I, 6(I0)-2 - на стороне низшего напряжения.

На ПС со схемами электрических соединений № 220-5Н и № 220-5АН применение системы ВОТ принципиально возможно. Рекомендации по его применению даны в [II]. Однако широкого использования на указанных ПС выпрямленный оперативный ток не имеет (по данным ОРГРЭС).

Выпрямленный оперативный ток может применяться на ПС 35/6(I0) кВ со схемами первичных электрических соединений №№ 35-3Н, 35-4Н, 35-5АН - на стороне высшего напряжения;
№ 6(I0)-I - на стороне низшего напряжения.

Выпрямленный оперативный ток может применяться на ПС II0-220 кВ с трансформаторами мощностью от 2,5 до 80 МВА.

На ПС с выпрямленным оперативным током на напряжении 35,6-I0 кВ устанавливаются выключатели с электромагнитным приводом.

3.4. Особенности применения системы выпрямленного оперативного тока.

3.4.I. В соответствии с п.3.2.4. в системе ВОТ организованы шинки сглаженного и несглаженного напряжения, уровень пульсации на которых не превышает 3% и 6%, соответственно. От шинок сглаженного напряжения должно осуществляться питание оперативных цепей устройств защиты и автоматики, выполненных с ис

пользованием микроэлектронной элементной базы, или содержащих отдельные реле на указанной элементной базе. К ним, например, относятся:

- панели в.ч. защиты линий II0-220 кВ типа ДФЗ-20I и типа ПДЭ-2802 с приемо-передатчиком АВЗК-80 или АВЗ ;

- шкафы ступенчатых защит линий II0-220 кВ ШДЭ280I, ШДЭ2802 и ЭПЗI636 ;

- высокочастотная аппаратура типа АНКА -I4 и АВПА, АКПА-В ;

- реле повторного включения РПВ-0I и РПВ-02 ;

- реле направления мощности РМ-II, РМ-I2, реле дифференциальной защиты трансформатора ДЗТ-2I, реле времени РВ-0I и другая аппаратура, у которой требования по пульсации не позволяют питать ее от шинок несглаженного напряжения.

От шинок несглаженного напряжения должно осуществляться питание оперативных цепей устройств защиты и автоматики, выполненных с использованием электромеханических реле, электромагнитов включения и отключения выключателей, допускающих пульсации выпрямленного напряжения оперативного тока до 6% номинального значения. При наличии устройств защиты, автоматики, управления, содержащих аппаратуру с разными требованиями по пульсациям, необходимо в пределах этого устройства осуществить подключение аппаратуры к соответствующим шинкам сглаженного и несглаженного напряжения с учетом ограниченной мощности сглаживающих фильтров, установленных в блоках БПН/С-2.

3.4.2. В системе ВОТ должна обеспечиваться селективность автоматических выключателей в сети переменного (I00В) и выпрямленного оперативного тока (220В). В тех случаях, когда не обеспечивается селективность автоматического выключателя, установленного в шкафу трансформатора напряжения, при КЗ в сети выпрямленного оперативного тока, рекомендуется питание блоков напряжения БПНС-2 осуществлять отдельным кабелем с подключением через отдельный (селективный) автоматический выключатель, устанавливаемый в ОРУ около шкафа ТН.

3.4.3. В системе ВОТ должна обеспечиваться динамическая стойкость автоматических выключателей, питающих устройства защиты, автоматики и управления присоединений. Указанное объяс-

няется тем, что при параллельной работе блоков питания на стороне выпрямленного напряжения уровни токов при КЗ на кабелях, питающих шинки управления ОПУ и КРУ, превышают предельно допустимые для автоматических выключателей типа АП-50, применяемых в настоящее время.

3.4.4. В соответствии с п.3.I. система выпрямленного оперативного тока может дополняться предварительно-заряженными конденсаторами, что расширяет область применения выпрямленного оперативного тока. В то же время ПЗК обладают рядом существенных недостатков (подробнее см. п.4.4.I.), из-за которых применение ПЗК нежелательно.

Типовыми решениями института [II] на ПС с мостиковыми и блочными схемами и выключателями на стороне ВН предусмотрена возможность отказа от использования предварительно-заряженных конденсаторов, что достигается:

- установкой двух блоков питания тока (типа БПТ-I002) в цепи каждого присоединения ВН;
- выполнением каскадного отключения выключателей вводов 6-I0 и 35 кВ трансформаторов после отключения выключателей ВН.

При использовании выпрямленного оперативного тока на блочных ПС (с выключателями) без ПЗК следует учитывать необходимость введения небольшой задержки на срабатывание быстродействующих (первых) ступеней защит питающих линий, если они не отстроены по току (сопротивлению) срабатывания от КЗ на выводах ВН трансформатора.

Для ПС с мостиковыми и блочными схемами и отделителями на стороне ВН применение ПЗК для отключения отделителей обязательно.

3.4.5. На возможность применения выпрямленного оперативного тока на мостиковых ПС может оказывать влияние конфигурация сети (см. также приложение 2).

При наличии обходных связей и 3-х фазных КЗ на них возможно создание условий, когда ток КЗ через проектируемую ПС не протекает (или недостаточен для надежной работы токовых блоков),

а уровень остаточного напряжения ниже 50% номинального.

Указанное приводит к отказу оперативного тока на рассматриваемой ПС, а в случае установки в.ч. защиты отсутствию пуска блокирующего в.ч. сигнала и, как следствие, возможному неселективному действию полукомплекта в.ч. защиты, установленного на противоположном конце линии.

Несмотря на то, что зона действия в.ч. защиты, например ПДЭ 2802, при трехфазных КЗ ограничена $1{,}5\,Z_{л}$, излишнее действие защиты возможно из-за кратковременной несимметрии, возникающей либо в начальный момент КЗ, либо при отключении выключателя, когда успевают сработать отключающие органы защиты, реагирующие на составляющие обратной последовательности (ток и напряжение).

3.4.6. Основным недостатком системы ВОТ является наличие общих шинок на стороне выпрямленного напряжения. При их повреждении ПС остается без оперативного тока. Однако разветвленность этих шинок невелика (в пределах панели выпрямительных устройств (ПВУ) и кабелей, связывающих эту панель с блоками БПНС-2) и, следовательно, вероятность повреждения их мала.

3.5. Рассмотренная система ВОТ представляет собой централизованную систему организации питания устройств управления, автоматики защиты и сигнализации. Применение этой системы оперативного тока позволяет использовать:

а) практически те же технические решения, что и на ПС с постоянным оперативным током, а, следовательно, иметь возможность максимально унифицировать в пределах энергосистемы схемы релейной защиты и автоматики ПС;

б) выключатели 6-35 кВ с электромагнитным приводом, обладающими более высокой надежностью, по сравнению с выключателями с пружинным приводом.

Система выпрямленного оперативного тока требует меньших трудозатрат при эксплуатации по сравнению с системой постоянного оперативного тока.

4. ПЕРЕМЕННЫЙ ОПЕРАТИВНЫЙ ТОК

4.I. Переменный оперативный ток – система питания оперативных цепей защиты, автоматики, управления и сигнализации, при которой в качестве источников питания используются непосредственно измерительные трансформаторы напряжения, трансформаторы тока защищаемых присоединений, трансформаторы собственных нужд, а также предварительно-заряженные конденсаторы, заряд которых осуществляется от источников переменного напряжения.

4.2. Для обеспечения надежности питания оперативных цепей на ПС должна предусматриваться установка двух трансформаторов собственных нужд с устройством АВР.

При установке на объекте двух силовых трансформаторов, трансформаторы СН присоединяются на участке между выключателями и выводами НН силовых трансформаторов.

При установке на объекте одного силового трансформатора питание второго трансформатора собственных нужд необходимо осуществлять от независимого источника 6-I0 кВ. Допускается установка одного трансформатора собственных нужд, если при этом возможна организация АВР от независимого источника питания 380 В.

4.3. Система переменного оперативного тока предусматривает:

4.3.I. Питание оперативных цепей дифференциальной и максимальных токовых защит трансформатора от трансформаторов тока:

– встроенных во втулки трансформатора или выносных – на стороне ВН;

– встроенных в выключатель ввода (дифференциальная защита) и во втулки трансформатора (МТЗ) – на стороне СН;

– установленных в шкафу выключателя ввода – на стороне НН.

4.3.2. Питание оперативных цепей газовой защиты, реле повторителя токовых защит трансформатора на ВН – от предварительно-заряженных конденсаторов. В качестве резервного питания к газовой защите через разделительные диоды подается переменный (выпрямленный) оперативный ток.

4.3.3. Питание оперативных цепей защит присоединений 6-I0, 35 кВ - от трансформаторов тока, установленных в цепях этих присоединений.

4.3.4. Организацию шинок обеспеченного питания подачей через устройство АВР напряжения 0,38 кВ от I-ой или 2-ой секции щита собственных нужд.

4.3.5. Организацию шинок стабилизированного переменного и нестабилизированного переменного напряжений, соответственно, от стабилизатора и разделительного трансформатора, подключаемых к шинкам обеспеченного питания.

4.3.6. Питание цепей управления, автоматики (кроме АЧР), световой сигнализации, телемеханики и связи - от шинок нестабилизированного переменного напряжения.

4.3.7. Питание цепей центральной звуковой сигнализации, устройства АЧР (центральные и индивидуальные аппараты), реле контроля напряжения и ЛИФП - от шинок стабилизированного напряжения.

4.3.8. Заряд конденсаторных блоков от двух блоков заряда (типа БПЗ-40I) с подключением каждого к соответствующей секции шин собственных нужд.

4.3.9. Питание цепей оперативной блокировки разъединителей - от отдельного выпрямительного блока, питаемого от шинок нестабилизированного переменного напряжения.

4.3.I0. Питание реле блокировки отключения отделителя, отключающего электромагнита независимого питания отделителя от предварительно-заряженных конденсаторов.

4.3.II. По способу включения короткозамыкателя при действии защит трансформатора, два варианта:

- совмещенное действие защит;
- действие защит от конденсаторов.

При совмещенном действии защит включение короткозамыкателя производится:

- по цепям дешунтирования токовых электромагнитов;
- от предварительно-заряженных конденсаторов;
- от переменного, выпрямленного диодами, оперативного тока.

При действии защит от конденсаторов включение короткозамыкателя производится:

- от двух конденсаторных блоков;
- от переменного, выпрямленного диодами, оперативного тока.

4.3.I2. Отключение выключателей СН и НН трансформаторов, секционных выключателей 6-I0 и 35 кВ, выключателей всех присоединений 6-I0 и 35 кВ при срабатывании их максимальных токовых защит - по цепям дешунтирования.

При срабатывании основных защит трансформатора (дифференциальной и газовой) и МТЗ на ВН отключение выключателей СНиНН трансформатора выполняется от предварительно-заряженных конденсаторов.

4.4. Область применения системы переменного оперативного тока.

4.4.I. Переменный оперативный ток на ПС может применяться, если расчетом подтверждено выполнение следующих условий в соответствии с [9] и [I0]:

- чувствительность защиты с учетом тока надежной работы электромагнита отключения (включения) соответствует требованиям ПУЭ;
- предельные величины токов и напряжений в токовых цепях защиты не должны превышать допустимых значений:

$$I_{доп} \leq I50А, \quad U_{доп} \leq I500 В.$$

При этом для защиты трансформаторов должна использоваться, в первую очередь, совмещенная схема, обеспечивающая надежное включение короткозамыкателя.

Для расширения области применения совмещенной схемы защиты трансформатора целесообразна установка выносного трансформатора тока, что должно подтверждаться расчетом в соответствии с [9]

В тех случаях, когда чувствительность по току надежной работы электромагнита включения короткозамыкателя не обеспечивается, а установка выносного трансформатора тока экономически неце-

лесообразна, по согласованию с эксплуатирующей организацией может быть применена схема защиты с действием от предварительно-заряженных конденсаторов [9].

Переменный оперативный ток может применяться на ПС 110-220/35/ 6(10) кВ, 110-220/6(10)/6(10)кВ, 110-220/6(10) кВ со следующими схемами первичных электрических соединений:
- № 110-I, 110-3, 110-4, 220-I, 220-3, 220-4, на стороне высшего напряжения;
- № 35-9 - на стороне среднего напряжения;
- № 6(10)-I, № 6(10)-2 - на стороне низшего напряжения.

Переменный оперативный ток может применяться на ПС 35/6(10)кВ со следующими схемами первичных электрических соединений:
- № 35-3Н, 35-4Н, 35-5АН, 35-9 - на стороне высшего напряжения;
- № 6(10)- I - на стороне низшего напряжения.

На ПС с высшим напряжением 110-220кВ переменный оперативный ток может применяться с трансформаторами мощностью от 2,5 до 40 МВА, на ПС с высшим напряжением 35 кВ с трансформаторами мощностью до 16 МВА.

На ПС с переменным оперативным током на напряжении 35 и 6-10кВ устанавливаются выключатели только с пружинными приводами.

4.4.2. Применение переменного оперативного тока в качестве единственного на ПС 110-220 кВ с выключателями на стороне ВН нецелесообразно, поскольку отключение этих выключателей возможно осуществить только от ПЗК, недостатки которых указаны в п.4.5.I.

4.5. Особенности применения системы переменного оперативного тока.

4.5.I. *Предварительно-заряженные конденсаторы*, используемые в системе переменного оперативного тока, обладают рядом недостатков, устранение которых либо невозможно, либо в настоящее время нереализовано в силу различных причин, а именно:

- отсутствует автоматический контроль заряженности ПЗК;
- ПЗК обеспечивают подачу кратковременного импульса на включение выключателя, короткозамыкателя и отключение отделителя, что требует тщательной регулировки их приводов;
- уровень зарядного напряжения 400В предъявляет повышенные требования к изоляции контрольных кабелей, ведет к ускоренной коррозии клеммников в шкафах, расположенных в ОРУ и подверженных влиянию внешней окружающей среды;
- саморазряд ПЗК при потере цепей заряда. По данным ряда энергосистем время саморазряда составляет в ряде случаев I5 минут;
- зависимость от состояния собственных нужд, к которым имеет широкий доступ ремонтный и оперативный персонал.

4.5.2. Применение системы переменного оперативного тока предусматривает установку выключателей с пружинным приводом. Большинство энергосистем отмечают низкую надежность приводов этих выключателей, сложность их регулировки.

Указанное требует либо доработки приводов выключателей с пружинным приводом, либо отказа от их использования.

4.5.3. Система переменного оперативного тока представляет собой децентрализованную систему, что является несомненным её достоинством.

Защиты, выполненные с использованием реле РТВ, РТ-80, РТ-90, РП-34I просты, надежны, не требуют частоты вмешательства обслуживающего персонала.

В то же время применение на ПС с переменным оперативным током первичного оборудования, обладающего низкой надежностью, в первую очередь это относится к выключателям 6(I0) кВ с пружинным приводом, приводит к снижению надежности электроснабжения потребителей и ПС в целом.

5. ПРИМЕНЕНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ВКЛЮЧЕНИЯ МАСЛЯНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

5.I. Выпрямительные устройства типа УКПК применяются:

- для подстанций на выпрямленном оперативном токе ;

- для подстанций на постоянном оперативном токе с применением ШУОТ, где емкость АБ типа ССАП-76 недостаточна для включения выключателей с электромагнитными приводами ;

- для подстанций на переменном оперативном токе в том редком случае, когда выключатели вводов и секционных связей 6-I0 кВ применены с электромагнитными приводами.

5.2. Выпрямительные устройства УКПК выпускаются заводами двух видов: с индуктивным накопителем и без него.

Для выключателей 6-I0 и 35 кВ применяются УКПК с индуктивным накопителем. Для вновь разрабатываемых выключателей 35, II0 и 220 кВ возможность включения электромагнитов от выпрямительных устройств должна подтверждаться экспериментально.

5.3. Для всех видов ПС применяются два комплекта выпрямительных устройств УКПК, подключенных к разным секциям шин собственных нужд. Для возможности взаимного резервирования их выходные цепи на стороне выпрямленного напряжения объединены.

5.4. Схема включения выпрямительных устройств УКПК приведена в типовой работе.[9]

5.5. При применении выпрямительных устройств УКПК мощность трансформатора СН должна выбираться с учетом его перегрузочной способности при протекании кратковременного тока включения наиболее тяжелого выключателя или группы выключателей при ЧАПВ. В этом режиме допустима двойная перегрузка трансформатора.

6. СМЕШАННЫЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

6.I. Смешанные системы оперативного тока представляют собой различные сочетания видов оперативного тока, определяющихся конкретными условиями объектного проектирования.

Сопоставление затрат в различных вариантах организации системы оперативного тока на подстанциях 220 и 110 кв с блочными схемами

Таблица 1

Затраты на оборудование для организации системы оперативного тока ПС, тыс. руб.

№№ п/п	Типовые схемы ПС на стороне ВН 220кви 110 кв	Сметная стоимость ПС Общая / СМР тыс. руб.	Привод выключателя на ВН, СН, НН	Постоянный оперативный ток: ШУОТ: ШУОТ-02 (ПЗУ+2Яб типа ССАП-76)	ШУОТ: УКПК-380	ШУОТ: Площадь в ОПУ типа IV	Капитальные затраты „К"	Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание „И"	Приведенные затраты З=0,15К+И	Выпрямленный оперативный ток: Потребность в дополнительных трансформаторах тока и напряжения	БПНС-2	БПТ-1002, БПН-1002+2БПН-1002 (Ц.С.)	УКПК-380	Панель для размещения аппаратуры	Площадь в ОПУ типа IV	Капитальные затраты „К"	Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание „И"	Приведенные затраты З=0,15К+И	Разность приведенных затрат вариантов ШУОТ и выпрямленный ток	Переменный оперативный ток: Потребность в дополнительных трансформаторах тока	Панели (шкафы) ввода и распределение СН	Площадь в ОПУ типа IV	Капитальные затраты „К"	Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание „И"	Приведенные затраты З=0,15К+И	Разность приведенных затрат вариантов: ШУОТ и переменный ток	Разность приведенных затрат вариантов: выпрямленный ток и переменный ток	Примечание
1.	220-1	520 / 180	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2×0,9	0,31	2,11	0,26	0,57	2,3	—	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
2.	220-3	450 / 160	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	1ТТ-10,4	2×0,74	8×0,11	2×1,27	0,13	0,57	23,42	3,9	7,41	-3,72	1ТТ-10,4 / —	2×0,9	0,31	12,51 / 2,11	1,13 / 0,26	3,0 / 0,57	-0,13 / 2,3	3,67 / 6,1	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	1ТН-7,42	2×0,74	8×0,11	—	0,13	0,43	20,74	3,56	6,67	-3,8									Нет привода переменного тока для выключат. 220кВ
3.	220-3Н	640 / 226	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	1ТН-7,42	2×0,74	8×0,11	2×1,27	0,13	0,57	13,02	3,04	4,99	-1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87		2×0,74	8×0,11	—	0,13	0,43	10,34	2,7	4,25	-1,38									
4.	220-4	901 / 321	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	2ТТ-20,8	2×0,74	8×0,11	2×1,27	0,13	0,57	41,24	5,41	11,59	-7,9	2ТТ-20,8 / —	2×0,9	0,31	22,91 / 2,11	2,01 / 0,26	5,44 / 0,57	-2,57 / 2,3	5,42 / 10,29	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	2ТН-14,84	2×0,74	8×0,11	—	0,13	0,43	38,56	5,08	10,86	-7,99									Нет привода переменного тока для выключ. 220кВ
5.	220-4Н	1280 / 453	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	2ТН-14,84	2×0,74	8×0,11	2×1,27	0,13	0,57	20,44	3,65	6,71	-3,02	—	—	—	—	—	—	—	—	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87		2×0,74	8×0,11	—	0,13	0,43	17,76	3,31	5,97	-3,1									
6.	110-1	131 / 55	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2×0,9	0,31	2,11	0,26	0,57	2,3	—	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
7.	110-3	168 / 63	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	1ТТ-4,2	2×0,74	8×0,11	2×1,27	0,13	0,57	13,1	3,2	5,16	-1,47	1ТТ-4,2 / —	2×0,9	0,31	6,31 / 2,11	0,66 / 0,26	1,6 / 0,57	1,27 / 2,3	2,73 / 3,76	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	1ТН-3,3	2×0,74	8×0,11	—	0,13	0,43	10,42	2,77	4,33	-1,46									Нет привода переменного тока для выключ. 110кВ
8.	110-3Н	176 / 67	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	1ТН-3,3	2×0,74	8×0,11	2×1,27	0,13	0,57	8,9	2,71	4,04	-0,35	—	—	—	—	—	—	—	—	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87		2×0,74	8×0,11	—	0,13	0,43	6,22	2,37	3,3	-0,43									
9.	110-4	337 / 126	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	2ТТ-8,4	2×0,74	8×0,11	2×1,27	0,13	0,57	20,6	3,83	6,92	-3,23	2ТТ-8,4 / —	2×0,9	0,31	10,51 / 2,11	1,05 / 0,26	2,62 / 0,57	0,25 / 2,3	3,55 / 5,60	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	2ТН-6,6	2×0,74	8×0,11	—	0,13	0,43	17,92	3,48	6,17	-3,3									Нет привода переменного тока для выключ. 110кВ
10.	110-4Н	352 / 135	Электромагнитный	5,46	2×1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	2ТН-6,6	2×0,74	8×0,11	2×1,27	0,13	0,57	12,2	3,02	4,85	-1,16	—	—	—	—	—	—	—	—	
			Пружинный	5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87		2×0,74	8×0,11	—	0,13	0,43	9,52	2,68	4,11	-1,24									

Сопоставление затрат в различных вариантах организации системы оперативного тока на подстанциях 220 кВ и 110 кВ со схемой „мостик"

Таблица 2

NN п/п	Типовая схема ПС на стороне ВН 220кВ и 110кВ	Сметная стоимость ПС Общая/смр, тыс. руб.	Привод выключателя на ВН, СН и НН	Затраты на оборудование для организации системы оперативного тока ПС, тыс. руб. — Постоянный оперативный ток — Аккумуляторная батарея: СК-10 с кислотной +2ВАЗП	Помещение в ОПУ типа IV (АБ с кислотн. +щит ПТсВАЗП)	Распределительный щит постоянного тока из 3х панелей	Капитальные затраты „К"	Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание „И"	Приведенные затраты З = 0,15К + И	ШУОТ: ШУОТ-02 (ПЗУ+2АБ типа ССАП-76)	УКПК-380	Площадь в ОПУ типа IV	Капитальные затраты „К"	Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание „И"	Приведенные затраты З = 0,15К + И	Разность приведенных затрат вариантов: АБ и ШУОТ	Выпрямленный оперативный ток: Потребность в дополнительных трансформаторах тока и напряжения	БПНС-2	БПТ-1002, БПН-1002 + 2БПН-1002 (ц.с.)	УКПК-380	Панель для размещения аппаратуры	Площадь в ОПУ типа IV	Капитальные затраты „К"	Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание „И"	Приведенные затраты З = 0,15К + И	Разность приведенных затрат вариантов: АБ и выпрямленный ток	Разность приведенных затрат вариантов: ШУОТ и выпрямленный ток	Примечание
1.	220-5	1160 / 432	Электромагнитный	9,4 + 6,27	14,82	3 × 0,9	33,19	4,65	9,63	5,46	2 × 1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	5,94	—	3 × 0,74	8 × 0,11	2 × 1,27	0,13	0,71	6,48	2,69	3,66	5,97	0,03	
			Пружинный							5,46	--	0,73	6,19	1,94	2,87	6,76	—	3 × 0,74	8 × 0,11	—	0,13	0,57	3,8	2,35	2,92	6,71	-0,05	
2.	220-5Н	1400 / 494	Электромагнитный	9,4 + 6,27	14,82	3 × 0,9	33,19	4,65	9,63	5,46	2 × 1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	5,94	—	3 × 0,74	8 × 0,11	2 × 1,27	0,13	0,71	6,48	2,69	3,66	5,97	0,03	
			Пружинный							5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	6,76	—	3 × 0,74	8 × 0,11	—	0,13	0,57	3,8	2,35	2,92	6,71	-0,05	
3.	220-5АН	1400 / 494	Электромагнитный	9,4 + 6,27	14,82	3 × 0,9	33,19	4,65	9,63	5,46	2 × 1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	5,94	1ТТ-10,4	3 × 0,74	8 × 0,11	2 × 1,27	0,13	0,71	16,88	3,56	6,09	3,54	-2,4	
			Пружинный							5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	6,76	1ТТ-10,4	3 × 0,74	8 × 0,11	—	0,13	0,57	14,2	3,22	5,35	4,28	-2,48	
4.	110-5	507 / 208	Электромагнитный	9,4 + 6,27	14,82	3 × 0,9	33,19	4,65	9,63	5,46	2 × 1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	5,94	—	3 × 0,74	8 × 0,11	2 × 1,27	0,13	0,71	6,48	2,69	3,66	5,97	0,03	
			Пружинный							5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	6,76	—	3 × 0,74	8 × 0,11	—	0,13	0,57	3,8	2,35	2,92	6,71	-0,05	
5.	110-5Н	573 / 230	Электромагнитный	9,4 + 6,27	14,82	3 × 0,9	33,19	4,65	9,63	5,46	2 × 1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	5,94	—	3 × 0,74	8 × 0,11	2 × 1,27	0,13	0,71	6,48	2,69	3,66	5,97	0,03	
			Пружинный							5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	6,76	—	3 × 0,74	8 × 0,11	—	0,13	0,57	3,8	2,35	2,92	6,71	-0,05	
6.	110-5АН	573 / 230	Электромагнитный	9,4 + 6,27	14,82	3 × 0,9	33,19	4,65	9,63	5,46	2 × 1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	5,94	1ТТ-4,2	3 × 0,74	8 × 0,11	2 × 1,27	0,13	0,71	10,68	3,09	4,69	4,94	-1	
			Пружинный							5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	6,76	1ТТ-4,2	3 × 0,74	8 × 0,11	—	0,13	0,57	8	2,75	3,95	5,68	-1,08	
7.	110-6	531 / 216	Электромагнитный	9,4 + 6,27	14,82	3 × 0,9	33,19	4,65	9,63	5,46	2 × 1,27	0,87	8,87	2,36	3,69	5,94	2ТТ-8,4 1ТН-3,3	3 × 0,74	8 × 0,11	2 × 1,27	0,13	0,71	18,18	3,8	6,53	3,1	-2,84	
			Пружинный							5,46	—	0,73	6,19	1,94	2,87	6,76	2ТТ-8,4 1ТН-3,3	3 × 0,74	8 × 0,11	—	0,13	0,57	15,5	3,46	5,78	3,85	-2,91	

Сопоставление затрат в различных вариантах организации системы оперативного тока на подстанциях 35 кВ

Таблица 3

№№ п/п	Типовые схемы ПС на стороне ВН-35кВ	Сметная стоимость ПС Общая / СМР тыс. руб.	Привод выключателя на ВН, НН	Затраты на оборудование для организации системы оперативного тока ПС, тыс. руб.																	Примечание
				Выпрямленный оперативный ток									Переменный оперативный ток						Разность приведенных затрат вариантов: выпрямленный и переменный ток		
				Потребность в дополнительных трансформаторах тока и напряжения	БПС-2	БПТ-1002, БПН-1002+2БПН-1002 (Ц.С.)	УКПХ-380	Панель для размещения аппаратуры	Площадь в ОПУ типа IV	Капитальные затраты „К"	Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание „И"	Приведенные затраты З = 0,15·К + И	Потребность в дополнительных трансформ.токо	Панели (шкафы) ввода и распределения СН	Площадь в ОПУ типа IV	Капитальные затраты „К"	Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание „И"	Приведенные затраты З = 0,15·К + И		
1.	35-1	144 / 62	Электромагнитный / Пружинный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2 x 0,9	0,31	2,11	0,26	0,57	—		
2.	35-3Н	154 / 67	Электромагнитный	1ТТ-2,08 1ТН-1,04	2 x 0,74	8 x 0,11	2 x 1,27	0,13	0,57	8,72 / 6,64	2,7 / 2,5	4,01 / 3,5	—	2 x 0,9	0,31	2,11	0,26	0,57	2,69 / 2,18	для В.Д.-35, С-35М / для ВМУЭ-35Б	
			Пружинный	1ТН-1,04	2 x 0,74	8 x 0,11	—	0,13	0,43	6,04 / 3,96	2,36 / 2,16	3,26 / 2,75									
3.	35-4Н	290 / 115	Электромагнитн.	2ТТ-4,16 2ТН-2,08	2 x 0,74	8 x 0,11	2 x 1,27	0,13	0,57	11,84 / 7,68	3,0 / 2,6	4,77 / 3,75	—	2 x 0,9	0,31	2,11	0,26	0,57	3,46 / 2,44	для В.Д.-35, С-35М / для ВМУЭ-35Б	
			Пружинный	2ТН-2,08	2 x 0,74	8 x 0,11	—	0,13	0,43	9,16 / 5,0	2,66 / 2,26	4,03 / 3,01									
4.	35-5АН	298 / 112	Электромагнитный	2ТТ-4,16 2ТН-2,08	2 x 0,74	8 x 0,11	2 x 1,27	0,13	0,57	11,84	3,0	4,77	—	2 x 0,9	0,31	2,11	0,26	0,57	3,46		
			Пружинный		2 x 0,74	8 x 0,11	—	0,13	0,43	9,16	2,66	4,03									
5.	35-9	318 / 130	Электромагнитный / Пружинный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2 x 0,9	0,31	2,11	0,26	0,57	—		

6.2. Смешанные системы оперативного тока могут применяться:

- на ПС IIO-220 кВ с блочными и мостиковыми схемами, когда для всех элементов ПС и устройств управления, автоматики, защиты и сигнализации применяется переменный оперативный ток, а для выключателей IIO-220 кВ и устройств их управления, автоматики и защиты - постоянный или выпрямленный оперативный ток;
- на расширяемых ПС, когда система оперативного тока на существующей части подстанции не может быть использована для вновь устанавливаемого оборудования.

При этом возможность применения выпрямленного и переменного оперативного тока должна подтверждаться соответствующими расчетами

7. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА НА ПОДСТАНЦИЯХ 220, IIO и 35 кВ

7.I. При выборе системы оперативного тока на подстанции для питания устройств релейной защиты, автоматики, дистанционного управления коммутационными аппаратами, сигнализации, оперативной блокировки разъединителей и др., необходимо обеспечение надежного действия этих устройств и применение наиболее экономичных решений.

7.2. Производственно-техническим отделом института "Энергосетьпроект" в 1988 г выполнена работа /5/, в которой сметные стоимости отдельных подстанций напряжением 35-220 кВ определены на основании нормативов базовых показателей в зависимости от технической характеристики объектов. Эти данные включены в соответствующую графу табл. I,2,3 настоящей работы.

Проведенная в упомянутой работе /5/ сравнительная оценка стоимостных показателей типовых ПС 35-220 кВ на основе укрупненных показателей стоимости строительства ПС и ВЛ 35-220кВ позволила получить только общие данные по стоимости ПС с одинаковыми типовыми схемами на стороне ВН и различными источниками оперативного тока, выбранными согласно действующим "Указаниям по области применения различных видов оперативного тока на ПС" /6/.

7.3. В настоящем разделе работы для применения различных видов оперативного тока на ПС проводится поуз-

ловое вариантное сравнение затрат на оборудование в различных системах оперативного тока, включающих различные источники и схему организации оперативного тока. Однако при окончательных выводах необходимо учитывать влияние системы оперативного тока на приведенные затраты объекта в целом.

Сопоставление затрат в различных вариантах организации схемы оперативного тока на подстанциях 220, 110 и 35 кВ представлено в виде табл.1,2,3 для всех типовых схем ПС на стороне ВН - блочных и схем "мостик".

7.4. Результаты проведенного анализа совместно с рекомендациями разделов 3 и 4 позволяют с достаточной степенью объективности уточнить области применения выпрямленного и переменного оперативного тока на подстанциях с блочными схемами и схемой "мостик" на стороне ВН.

7.5. Пояснения к табл.1,2,3 по определению капитальных и приведенных затрат для различных систем оперативного тока приведены в Приложении 1.

7.6. Оптимальным по экономическим показателям является вариант, характеризующийся минимальными приведенными затратами. Сопоставление приведенных затрат в различных вариантах организации системы оперативного тока на подстанциях 220 и 110 кВ со схемами "мостик" на стороне ВН (см.табл.2) дало разность приведенных затрат вариантов с аккумуляторной батареей типа СК-10, шкафами ШУОТ-02 и выпрямленным током.

При сопоставлении отдельных систем оперативного тока равноэкономичными считаются варианты, различающиеся по приведенным затратам не более чем на 5%.

7.7. Для схем 220-5, 220-5Н, 110-5 110-5Н имеем равноэкономичные варианты с ШУОТ-02 и с выпрямленным оперативным током, т.к. различие их по приведенным затратам значительно меньше 5%.

В этом случае решение о выборе системы оперативного тока на ПС принимается на основе технических решений разделов 3 и 4.

7.8. Для схемы 110-5АН имеется значительное превышение - до 27% приведенных затрат, системы выпрямленного над системой постоянного тока с ШУОТ-02.

Для схемы 220-5АН и схемы 110-6 превышение приведенных затрат системы выпрямленного тока над системой постоянного тока с

ШУОТ-02 достигает 40-50%, что определяется установкой дополнительных трансформаторов тока и напряжения на стороне ВН подстанции. В этих случаях предпочтение надо отдать системе с ШУОТ-02.

Следует также отметить, что в эксплуатации практически отсутствуют ПС 220 кВ со схемой "мостик", имеющие систему выпрямленного оперативного тока /2I/.

7.9. Система оперативного постоянного тока с аккумуляторной батареей для этих подстанций не конкурентноспособна по сравнению с системой ШУОТ-02, т.к. её приведенные затраты выше на 60-70%, даже с учетом того, что в ШУОТ-02 за 20 лет эксплуатации трижды придется полностью заменить комплект аккумуляторов типа ССАП-76, срок службы которых 5 лет. Применение аккумуляторной батареи требует дополнительного технического обоснования (см. п.2.7.).

7.I0. Сопоставление приведенных затрат в различных вариантах организации системы оперативного тока на подстанциях 220 и II0кВ с блочными схемами (см. табл.I) показывает, что для схем 220-3Н, II0-3, II0-3Н, II0-4Н превышение приведенных затрат системы выпрямленного тока над системой постоянного тока с ШУОТ-02 составило I0÷30%, а для схем 220-3, 220-4Н, II0-4 -50% и более ; приведенные затраты системы выпрямленного тока для схемы 220-4 из-за дополнительных трансформаторов тока и напряжения превысили приведенные затраты системы с аккумуляторной батареей СК-I0.

По результатам этого сравнения может быть рекомендована установка для всех типовых блочных схем ШУОТ-02.

7.II. По результатам сопоставления приведенных затрат системы постоянного оперативного тока ШУОТ-02 с системой переменного оперативного тока при наличии дополнительных трансформаторов тока почти для всех типовых схем табл.I можно отдать предпочтение установке ШУОТ-02,у которой приведенные затраты в схемах 220-3 и II0-4 соизмеримы, а в схеме 220-4 значительно меньше - на 50%; только для схемы II0-3 приведенные затраты системы ШУОТ-02 почти вдвое превысили приведенные затраты системы переменного тока. При отсутствии дополнительных трансформаторов тока для всех типовых схем табл.I можно отдать предпочтение системе переменного тока (с учетом рекомендаций раздела 4), у которой приведенные затраты в 5 раз меньше системы с ШУОТ-02.

7.I2. При сопоставлении приведенных затрат системы выпрямленного тока с системой переменного тока для всех блочных схем 220 и II0 кВ имеем приведенные затраты последней в 2 раза меньше даже при наличии дополнительных трансформаторов тока, а при их отсутствии – меньше в 7-I0 раз. При этом, выбор варианта системы переменного оперативного тока должен осуществляться с учетом рекомендаций раздела 4.

7.I3. Составление приведенных затрат вариантов системы оперативного выпрямленного и переменного тока на ПС 35 кВ с различными типовыми схемами на стороне ВН (см. табл.3) показывает, что приведенные затраты системы выпрямленного тока определяются в основном, наличием дополнительных трансформаторов тока (в зависимости от типа выключателя) и трансформаторов напряжения ; в этом случае они в 6÷8 раз выше приведенных затрат системы переменного тока и на 8÷I2% выше приведенных затрат системы постоянного тока с ШУОТ-02, а для схем 35-4Н и 35-5АН с выключателями типа С-35м и ВД-35 – выше на 22-29%. При таком соотношении приведенных затрат целесообразно применение системы постоянного оперативного тока с ШУОТ-02, либо применение системы переменного оперативного тока с учетом рекомендаций раздела 4.

При установке выключателей типа ВМУЭ-35 Б со встроенным трансформаторами тока в схемах 35-3Н, 35-4Н приведенные затраты системы выпрямленного оперативного тока становятся соизмеримы с приведенными затратами системы постоянного тока с ШУОТ-02,но выше системы переменного оперативного тока в 5-6 раз.

7.I4. По результатам экономического сравнения вариантов для типовых схем ПС табл.I,2,3 можно рекомендовать следующий выбор системы оперативного тока.

Подстанции 220 кВ с типовыми схемами на стороне ВН:

220-I – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 или переменный оперативный ток ;

220-3 – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 или переменный оперативный ток ;

220-3Н – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 ;

220-4 – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 или переменный оперативный ток;

220-4Н – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02;

220-5, 220-5Н – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 или выпрямленный оперативный ток;

220-5АН – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02;

Подстанции II0 кВ с типовыми схемами на стороне ВН:

II0-I, II0-3 – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 или переменный оперативный ток;

II0-3Н – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02;

II0-4 – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 или переменный оперативный ток,

II0-4Н – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02;

II0-5, II0-5Н – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 или выпрямленный оперативный ток;

II0-5АН, II0-6 – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02;

Подстанции 35 кВ с типовыми схемами на стороне ВН:

35-I – переменный оперативный ток;

35-3Н, 35-4Н – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02, выпрямленный ток (для ПС с выключателями ВМУЭ-35) или переменный оперативный ток;

35-5АН – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 или переменный оперативный ток;

35-9 – постоянный оперативный ток с ШУОТ-02 или стационарной аккумуляторной батареей.

7.I5. В качестве общего заключения по разделу экономического сравнения различных вариантов можно отметить следующее.

Произведенное экономическое сравнение вариантов показало, что приведенные затраты на систему постоянного оперативного тока не оказывают существенного влияния на приведенные затраты объекта в целом (менее 5%) и, таким образом, технические характеристики могут рассматриваться, как определяющий фактор при выборе.

Следовательно, решение о выборе источника оперативного тока и схемы его организации на ПС надо принимать на основе технических рекомендаций, изложенных в разделах 3 и 4 настоящей работы.

Приложение I

Пояснения к таблицам сопоставления затрат в различных вариантах систем оперативного тока ПС.

Оценка эффективности капитальных вложений в различных вариантах систем оперативного тока ПС проводится путем расчетов сравнительной экономической эффективности. [22, раздел 8] .

Экономическим критерием, по которому определяют наивыгоднейший вариант, является минимум приведенных затрат, руб/год, вычисленных по формуле:

$$З = Ен \times К + И \quad , \text{где}$$

Ен – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений (Ен = 0,I5);
К – единовременные капитальные вложения;
И – ежегодные эксплуатационные издержки.

Принимаем условие, что строительство объекта продолжается не более одного года, а ежегодные издержки неизменны в течение всего рассматриваемого периода эксплуатации.

Для сопоставления принимаем единовременные капитальные затраты К для различных вариантов, состоящие из стоимости оборудования по прейскурантам цен и стоимости занимаемой площади в ОПУ подстанции (см. табл. I,2,3).

I. Стоимость оборудования

Для каждого варианта системы оперативного тока ПС стоимость оборудования определена с учетом повышающих коэффициентов $К_I$=I,I и $К_2$ =I,5 пересчета цен на оборудование.

I.I. Аккумуляторная батарея типа СК-I0 из I20 элементов рассчитана для подстанции II0, 220 кВ с трехобмоточными трансформаторами с расщепленной обмоткой 6-I0 кВ, с учетом работы АВР на двух секционных выключателях 6-I0 кВ и одном секционном выключателе 35 кВ.

Стоимость СК-I0 из I20 элементов (с учетом оборудования кислотной):

5,7 тыс.руб. х I,I х I,5 = 9,4 тыс.руб., где

5,7 тыс.руб. - по прейскуранту № I5-II, I980г.

K_1=I,I - коэффициент пересчета в I984 г цен на оборудование,

K_2=I,5 - коэффициент пересчета в I990г цен на оборудование.

Срок службы аккумуляторной батареи СК-I0 составляет 20 лет.

I.2. Стоимость двух ВАЗП 380/260-40/80-2:

I.9 тыс.руб. х 2 х I,I х I,5 = 6,27 тыс.руб., где

I,9 тыс.руб. - по дополнительному прейскуранту № I5-I6-I980/5 I982 г, раздел 7.I.7, поз. 07-528.

Срок службы агрегатов ВАЗП 380/260-40/80-2 составляет I0 лет

I.3. Стоимость I панели распределительного щита СН:

0,55 тыс.руб. х I,I х I,5 = 0,9 тыс.руб., где

0,55 тыс.руб. - по прейскурантам № I5-I7 и № I5-04, I982г.

I.4. Стоимость ШУОТ-02 220В, состоящего из ПЗУ и двух аккумуляторных батарей типа ССАП-76:

5,46 тыс.руб. - по телеграмме от 30.I.90г. Оренбургского завода.

В составе этой суммы:

I,9 тыс.руб. - стоимость двух аккумуляторных батарей типа ССАП-76;

3,56 тыс.руб. - стоимость шкафа ПЗУ.

Срок службы аккумуляторной батареи ССАП-76 составляет 5 лет (по данным завода), поэтому при сравнении варианта ШУОТ-02 с вариантом аккумуляторной батареи типа СК-I0 надо иметь в виду, что за 20 лет в ШУОТ-02 необходимо трижды полностью заменить комплект аккумуляторов ССАП-76 за счет амортизационных отчислений.

Срок службы шкафа ПЗУ составляет I0 лет.

I.5. Стоимость УКПК-380, содержащего в одном шкафу выпрямитель и накопитель:

0,85 тыс.руб. х I,5 = I,27 тыс.руб., где

0,85 тыс.руб. - по заводским данным до I990г.

Срок службы УКПК-380 составляет I5 лет.

I.6. Срок службы ниже перечисленных ТТ и ТН составляет 28,5 лет.

Стоимость трансформатора тока типа ТФЗМ 220Б-Ш:

2,I тыс.руб. х 3 фазы х I,I х I,5 = I0,4 тыс.руб., где

2,I тыс.руб. - по прейскуранту № I5-03, I982г., раздел 5.5.I., поз. 05-I88.

I.7. Стоимость трансформатора напряжения типа НКФ-220-58:

I,5.тыс.руб. х 3 фазы х I,I х I,5 = 7,42 тыс.руб., где

I,5 тыс.руб. - по прейскуранту № I5-03, I982 г. раздел 6.4.I., поз. 06-053.

I.8. Стоимость трансформатора тока типа ТФЗМ110Б-IУ с четырьмя обмотками:

0,93 тыс.руб. х 3 фазы х I,5 = 4,2 тыс.руб., где

0,93 тыс.руб. - по заводским данным до I990г.

I.9. Стоимость трансформатора напряжения типа НКФ-110-57:

0,67 тыс.руб. х 3 фазы х I,I х I,5 = 3,3 тыс.руб., где

0,67 тыс.руб. - по прейскуранту № I5-03, I982г, раздел 6.3.I, поз.06-049.

I.I0. Стоимость трансформатора тока типа ТФЗМ 35Б-П:

0,42 тыс.руб. х 3 х I,I х I,5 = 2,08 тыс.руб., где

0,42 тыс.руб. - по прейскуранту № I5-03, I982г, раздел 5.3.I, поз.05-I39.

I.II. Стоимость трансформатора напряжения типа ЗНОМ-35-72:

0,2I тыс.руб. х 3 х I,I х I,5 = I,04 тыс.руб., где

0,2I тыс.руб. - по прейскуранту № I5-03, I982 г, раздел 6.2.I.2., поз. 06-084.

I.I2. Стоимость блока питания типа БПНС-2, имеющего срок службы I5 лет:

0,45 тыс.руб. х I,I х I,5 = 0,74 тыс.руб., где
0,45 тыс.руб. - по заводским данным до I984 г.

I.I3. Стоимость блоков питания тока и напряжения, имеющих срок службы I2 лет:

типа БПТ-I002 - 0,07 тыс.руб. х I,I х I,5= 0,II тыс.руб., где 0,07 тыс.руб. - по прейскуранту № I5-04, I982г. раздел ХША, поз. I3-249;

типа БПН-I002 - 0,064 тыс.руб. х I,I х I,5 = 0,I тыс.руб., где 0,064 тыс.руб. - по прейскуранту № I5-04, I982 г., раздел ХША, поз. I3-250.

I.I4. Стоимость металлоконструкции типа ПС-6 (для размещения 8 блоков питания тока и напряжения):

0,08 тыс.руб. х I,I х I,5 = 0,I3 тыс.руб., где
0,08 тыс.руб. - по прейскуранту № I5-I7, I982г. поз. I-I36.

I.I5. Стоимость блока питания и заряда типа БПЗ-40I:

0,04 тыс.руб. х I,I х I,5 = 0,06 тыс.руб., где
0,04 тыс.руб. - по прейскуранту № I5-04, I982 г. раздел ХША, поз. I3-25I.

Стоимость блоков конденсаторов серии БК:

типа БК-40I - 0,008 тыс.руб. х I,I х I,5 = 0,0I тыс.руб.;
типа БК-402 - 0,0I4 тыс.руб. х I,I х I,5 = 0,02 тыс.руб.,
где 0,008 тыс.руб. - по прейскуранту № I5-04, I982 г., раздел ХША поз. I3-24I;
0,0I4 тыс.руб. - то же, поз.I3-242.

Предварительно заряженные конденсаторы в схемах подстанций с выпрямленным и переменным оперативным током не учитываются в сравнении вариантов, т.к. их стоимость (потребность I0-I4 шт на подстанцию) незначительно влияет на величину капитальных затрат системы оперативного тока этих подстанций.

2. Стоимость занимаемой площади в ОПУ

Для определения стоимости площади, занимаемой в ОПУ оборудованием различных систем оперативного тока подстанций, использованы данные ОПУ типа IУ из сборного железобетона (с учетом повышающих коэффициентов K_1= I,I7 и K_2 =I,48 пересчета цен на строительно-монтажные работы). Общая площадь ОПУ типа IУ - 208м^2 Площадь помещения аккумуляторной батареи типа СК-IO с кислотной - 64,7 м^2.

Площадь, занимаемая в ОПУ распределительным щитом постоянного тока из 3-х панелей С.Н. и 2-я агрегатами ВАЗП 380/260-40/80:

3х(0,9х0,8)+2х(0,8х0,6)=3,I2м^2.

Площадь, занимаемая в ОПУ 3-я шкафами, входящими в комплект ШУОТ-02, 220 В:

2,45 х I,36 = 3,33м^2.

Площадь, занимаемая в ОПУ двумя УКПК - 380:

2х0,8 х 0,4 = 0,64 м^2.

Площадь, занимаемая в ОПУ блоком БПНС-2:

0,6 х I,I = 0,66 м^2.

Площадь, занимаемая в ОПУ панелью типа ПС-6 (для размещения 8 блоков питания тока и напряжения):

0,8х0,8=0,64м^2.

Площадь, занимаемая в ОПУ двумя панелями (шкафами) ввода и распределения С.Н. переменного тока:

2х0,9 х 0,8 = I,44 м^2.

Стоимость Iм^2 площади здания ОПУ типа IУ:

I26,25 руб. х I,I7 х I,48 =2I8,6 руб., где

I26,25 руб. - стоимость Iм^2 площади здания ОПУ типа IУ из сборного железобетона в ценах I979г.

K_1 =I,I7 - коэффициент пересчета в I984 г цен на строительно-монтажные работы;

K_2 = I,48 - коэффициент пересчета в I990г цен на строительно-монтажные работы.

Вариант с аккумуляторной батареей

Стоимость площади, занимаемой в ОПУ аккумуляторной с кислотной и щитом постоянного тока с 2-я ВАЗП:

218,6 руб. х (64,7 + 3,12) = 14,82 тыс.руб.

Вариант с ШУОТ-02

Стоимость площади, занимаемой в ОПУ ШУОТ-02, 220 В и двумя УКПК-380 (при наличии на ПС выключателей с электромагнитными приводами):

218,6 руб. х (3,33 + 0,64) = 0,87 тыс.руб.

Стоимость площади, занимаемой в ОПУ ШУОТ-02, 220В (при наличии на ПС выключателей с пружинными приводами):

218,6 руб. х 3,33 = 0,73 тыс.руб.

Вариант с выпрямленным оперативным током.

Стоимость площади, занимаемой в ОПУ блоками БПНС-2, двумя УКПК-380 и панелью с 8 блоками питания БПТ и БПН (при наличии на ПС выключателей с электромагнитными приводами):

218,6 руб. х (2х0,66 + 0,64+0,64)=0,57 тыс.руб. для табл. I и 3.

218,6 руб. х (3х0,66+0,64+0,64)=0,71 тыс.руб. для табл.2.

Стоимость площади, занимаемой в ОПУ блоками БПНС-2 и панелью с 8 блоками питания БПТ и БПН (при наличии на ПС выключателей с пружинными приводами):

218,6 руб.х(2х0,66+0,64)=0,43 тыс.руб. для табл.I и 3.
218,6 руб.х(3х0,66+0,64)=0,57 тыс.руб. для табл.2.

Вариант с переменным оперативным током

Стоимость площади, занимаемой в ОПУ двумя панелями (шкафами) ввода и распределения С.Н. переменного тока:

218,6 руб. х I,44=0,3I тыс.руб.

3. Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание (И) различных систем оперативного тока.

Амортизационные отчисления предназначаются для капитального ремонта оборудования и для полной замены (реновации) основных фондов после их износа.

Нормы амортизационных отчислений зависят от срока службы оборудования, а также периодичности и стоимости капитальных ремонтов. Они установлены Госпланом СССР в процентах стоимости основных фондов. Амортизационные отчисления определяются для каждого года по сумме капиталовложений предшествующих лет.

Для силового электрооборудования и распределительных устройств норма амортизационнх отчислений на капитальный ремонт по табл. 8.2 [22] составляет:

до I50 кВ - 2,9%
220 кВ и выше - 2,9%
} от капитальных затрат;

при этом отчисления на реновацию определяются по формуле $\frac{I}{T_{сл}} \cdot K$,

где $T_{сл}$ - срок службы электрооборудования; К - капитальные затраты.

Ежегодные расходы на обслуживание электрооборудования (текущий ремонт, зарплата эксплуатационного персонала, общие расходы и т.д.) могут приближенно быть оценены пропорционально стоимости основных фондов; по табл. 8.2 [22] средняя норма затрат на обслуживание составляет:

до I50 кВ - 3,0%
220 кВ и выше - 2,0%
} от капитальных затрат.

Кроме вышеперечисленного, приближенно определяются ежегодные затраты на возмещение потерь электроэнергии (П) при эксплуатации электрооборудования (на основе к.п.д. агрегатов, величины потребляемой мощности при отсутствии нагрузки и др. технических данных отдельных элементов систем оперативного тока). Таким образом, для каждого варианта:

$$И=\frac{2.9 \times К}{I00} + \frac{I}{T_{слI}} \times K_I + \frac{I}{T_{сл.2}} \times K_2 + \frac{3(или\ 2) \times К}{I00} + П.$$

Вариант с аккумуляторной батареей.

$$И=\frac{2.9x33.I9}{I00} + \frac{26.92}{20} + \frac{6.27}{I0} + \frac{3x33.I9}{I00} + 0,78 = 4,65 \text{ тыс.руб.}$$

где

$$П = \frac{P_{ном} \times I0}{I00} \times 2 \times 8760_{час} \times 0,02 \text{ руб.} = \frac{20.8x2}{I0} \times 8760 \times 0,02 =$$

2-х ВАЗП (кпд 90%) $= 729$ руб.;

0,02 руб. - стоимость I кВт/час потерь электроэнергии в ценах I989г.

Вариант с ШУОТ-02.

$$И_I = \frac{2.9 \times 8.87}{I00} + \frac{I.9}{5} + \frac{6.97}{I0} + \frac{3x8.87}{I00} + 0,77 = 2,36 \text{ тыс.руб.}$$

- для ПС с выключателями с электромагнитными приводами,

где $П_{ШУОТ\ (ПЗУ)} = (S_{max\ входа} - S_{вых.}) \times cos\varphi \times 8760$ час. x 0,02 руб.

$= (9,6-0,22x20)x0,85x8760x0,02=774$ руб.

$$И_2 = \frac{2.9x6.I9}{I00} + \frac{I.9}{5} + \frac{4.29}{I0} + \frac{3x6.I9}{I00} + 0,77 = I,94 \text{ тыс.руб.}$$

- для ПС с выключателями с пружинными приводами.

Вариант с выпрямленным оперативным током

I. Для типовых схем ПС таблицы 2:

$$И_I = \frac{2.9x6.48}{I00} + \frac{6.48}{I5} + \frac{3x6.48}{I00} + I,88 = 2,69 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_2 = \frac{2.9x3.8}{I00} + \frac{3.8}{I5} + \frac{3x3.8}{I00} + I,88 = 2,35 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_3 = \frac{2.9xI6.88}{I00} + \frac{I0.4}{28,5} + \frac{6.48}{I5} + \frac{2xI0.4}{I00} + \frac{3x6.48}{I00} + I,88 = 3,56 \text{ т.р.}$$

$$И_4 = \frac{2.9xI4.2}{I00} + \frac{I0.4}{28,5} + \frac{3.8}{I5} + \frac{2xI0.4}{I00} + \frac{3X\ 3.8}{I00} + I,88 = 3,22 \text{ т.р.}$$

$$И_5 = \frac{2.9xI0.68}{I00} + \frac{4.2}{28,5} + \frac{6.48}{I5} + \frac{3xI0.68}{I00} + I,88 = 3,09 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_6 = \frac{2.9x8}{I00} + \frac{4.2}{28,5} + \frac{3.8}{I5} + \frac{3x8}{I00} + I,88 = 2,75 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_7 = \frac{2.9xI8.I8}{I00} + \frac{II.7}{28,5} + \frac{6.48}{I5} + \frac{3xI8.I8}{I00} + I,89 = 3,8 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_8 = \frac{2.9xI5.5}{I00} + \frac{II.7}{28,5} + \frac{3.8}{I5} + \frac{3xI5.5}{I00} + I,89 = 3,46 \text{ тыс.руб.,}$$

где $П_{3х\ БПНС}$ = 3х8760х0,02=525 руб.

$П_{БПТ,БПН}$= 4х ($_{БПТ}$+ $_{БПН}$) х х 8760час х 0,02 руб.=

= 4х2,275х0,85х8760х0,02=I855 руб.

$П_{ITH}$ = 0,0I6 кВт х 8760 час х 0,02 руб. = 2,8 руб., т.к.

при работе с БПНС максимальная отдаваемая мощность НКФ-II0 или НКФ-220 составляет 2,0 кВА х 0,8 = I,6 кВт ; при КПД = 99% потери составят I%, т.е. 0,0I6 кВт.

$П_{ITT}$ = 0,029 кВт х 8760 час х 0,02 руб. = 5,08 руб., т.к.

при работе с БПТ тр-р тока ТФНД-II0Д с $К_{ТТ}$=600/5 может работать в классе точности I0 при номинальной нагрузке фазы $Z_{вт}$= 0,48 0 и токе $I_{ном}$ = 5А ;

$$S_{ф} = I^2_{ном} x\ Z_{Вт} = 25 \text{ х } 0,48 = I2ВА ;$$

$P_3 x_{фаз} = 3x\, S_ф\, x\, \cos\varphi = 3xI2x0,8 = 28,8$ Вт $= 0,029$ кВт

П для разных типовых схем ПС таблицы 2:

$П_I = П_2 = 525 + I355 = I880$ руб. $= I,88$ тыс.руб.

$П_3 = П_4 = П_5 = П_6 = 525 + I355 + 5,08 = I885$ руб. $= I,88$ тыс.руб.

$П_7 = П_8 = 525 + I355 + I0,I6 + 2,8 = I893$ руб. $= I,89$ тыс.руб.

2. Для типовых схем ПС таблицы I:

$$И_I = \frac{2,9x23,42}{I00} + \frac{I7,82}{28,5} + \frac{5,6}{I5} + \frac{2xI7,82}{I00} + \frac{3x5,6}{I00} + I,7I = 3,9 \text{ т.р.}$$

$$И_2 = \frac{2,9x20,74}{I00} + \frac{I7,82}{28,5} + \frac{2,92}{I5} + \frac{2xI7,82}{I00} + \frac{3x2,92}{I00} + I,7I = 3,56 \text{т.р.}$$

$$И_3 = \frac{2,9xI3,02}{I00} + \frac{7,42}{28,5} + \frac{5,6}{I5} + \frac{2x7,42}{I00} + \frac{3x5,6}{I00} + I,7I = 3,04 \text{ т.р.}$$

$$И_4 = \frac{2,9xI0,34}{I00} + \frac{7,42}{28,5} + \frac{2,92}{I5} + \frac{2x7,42}{I00} + \frac{3x2,92}{I00} + I,7I = 2,7 \text{т.р.}$$

$$И_5 = \frac{2,9x4I,24}{I00} + \frac{35,64}{28,5} + \frac{5,6}{I5} + \frac{2x35,64}{I00} + \frac{3x5,6}{I00} + I,72 = 5,4I \text{ т.р.}$$

$$И_6 = \frac{2,9x38,56}{I00} + \frac{35,64}{28,5} + \frac{2,92}{I5} + \frac{2x35,64}{I00} + \frac{3x2,92}{I00} + I,72 =$$

$$= 5,08 \text{ т.р.}$$

$$И_7 = \frac{2,9x20,44}{I00} + \frac{I4,84}{28,5} + \frac{5,6}{I5} + \frac{2xI4,84}{I00} + \frac{3x5,6}{I00} = I,7I = 3,65 \text{т.}$$

$$И_8 = \frac{2,9xI7,76}{I00} + \frac{I4,84}{28,5} + \frac{2,92}{I5} + \frac{2xI4,84}{I00} + \frac{3x2,92}{I00} + I,7I = 3,3I \text{ т.р.}$$

$И_9 = \frac{2.9 \times 13.1}{100} + \frac{7.5}{28,5} + \frac{5.6}{15} + \frac{3 \times 13.1}{100} + 1,71 = 3,2$ тыс.руб.

$И_{10} = \frac{2.9 \times 10.42}{100} + \frac{7.5}{28,5} + \frac{2.92}{15} + \frac{3 \times 10.42}{100} = 1,71 = 2,77$ тыс.руб.

$И_{11} = \frac{2.9 \times 8.9}{100} + \frac{3.3}{28,5} + \frac{5.6}{15} + \frac{3 \times 8.9}{100} + 1,71 = 2,71$ тыс.руб.

$И_{12} = \frac{2.9 \times 6.22}{100} + \frac{3.3}{28,5} + \frac{2.92}{15} + \frac{3 \times 6.22}{100} + 1,71 = 2,87$ тыс.руб.

$И_{13} = \frac{2.9 \times 20.6}{100} + \frac{15}{28,5} + \frac{5.6}{15} + \frac{3 \times 20.6}{100} + 1,72 = 3,83$ тыс.руб.

$И_{14} = \frac{2.9 \times 17.92}{100} + \frac{15}{28,5} + \frac{2.92}{15} + \frac{3 \times 17.92}{100} + 1,72 = 3,48$ тыс.руб.

$И_{15} = \frac{2.9 \times 12.2}{100} + \frac{6.6}{28,5} + \frac{5.6}{15} + \frac{3 \times 12.2}{100} + 1,71 = 3,02$ тыс.руб.

$И_{16} = \frac{2.9 \times 9.52}{100} + \frac{6.6}{28,5} + \frac{2.92}{15} + \frac{3 \times 9.52}{100} + 1,71 = 1,71 = 2,$

где $П_2 X_{БПНС} = 2 \times (P_{вх} - P_{вых}) \times 8760$ час $\times 0,02$ руб.=

$= 2 \times 1 \times 8760 \times 0,02 = 350$ руб.;

$П_{БПТ}$, БПН $= 1355$ руб.;

$П_{ITH} = 2,8$ руб; $П_{ITT} = 5,08$ руб.

П для разных типовых схем ПС таблицы I:

$П_I = П_2 = 350 + 1355 + 5,08 + 2,8 = 1713$ руб. $= 1,71$ тыс.руб.

$П_3 = П_4 = 350 + 1355 + 2,8 = 1708$ руб. $= 1,71$ тыс.руб.

$П_5 = П_6 = 350 + 1355 + 2 \times 5,08 + 2 \times 2,8 = 1721$ руб. $= 1,72$ тыс.руб.

$П_7 = П_8 = 350 + 1355 + 2 \times 2,8 = 1710$ руб. $= 1,71$ тыс.руб.

$П_9 = П_{I0} = П_I = П_2$ = I,7I тыс.руб.

$П_{II} = П_{I2} = П_3 = П_4$ = I,7I тыс.руб.

$П_{I3} = П_{I4} = П_5 = П_6$ = I,72 тыс.руб.

$П_{I5} = П_{I6} = П_7 = П_8$ = I,7I тыс.руб.

3. Для типовых схем ПС таблицы 3:

$$И_I = \frac{2.9x8.72}{I00} + \frac{3.I2}{28,5} + \frac{5.6}{I5} + \frac{3x8.72}{I00} + I,7I = 2,7 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_2 = \frac{2.9x6.04}{I00} + \frac{3.I2}{28,5} + \frac{2.92}{I5} + \frac{3x6.04}{I00} + I,7I = 2,36 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_3 = \frac{2.9x6.64}{I00} + \frac{I.04}{28,5} + \frac{5.6}{I5} + \frac{3x6.64}{I00} + I,7I = 2,5 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_4 = \frac{2.9x3.96}{I00} + \frac{I.04}{28,5} + \frac{2.92}{I5} + \frac{3x3.96}{I00} + I,7I = 2,I6 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_9 = И_5 = \frac{2.9xII.84}{I00} + \frac{6.24}{28,5} + \frac{5.6}{I5} + \frac{3xII.84}{I00} + I,72 = 3 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_{I0} = И_6 = \frac{2.9x9.I6}{I00} + \frac{6.24}{28,5} + \frac{2.92}{I5} + \frac{3x9.I6}{I00} + I,72 = 2,66 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_7 = \frac{2.9x7.68}{I00} + \frac{2.08}{28,5} + \frac{5.6}{I5} + \frac{3x7.68}{I00} + I,7I = 2,60 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_8 = \frac{2.9x5.0}{I00} + \frac{2.08}{28,5} + \frac{2.92}{I5} + \frac{3x5.0}{I00} + I,7I = 2,26 \text{ тыс.руб.}$$

где $П_{2x\,БПНС}$ = 350 руб.; $П_{БПТ,БПН}$ = I355 руб.

$П_{ITH}$ = 2,8 руб.; $П_{ITT}$ = 5,08 руб.

П для разных типовых схем ПС таблицы 3:

$П_I = П_2$ = 350 + I355 + 5,08 + 2,8 = I7I3 руб = I,7I тыс.руб.

$П_3 = П_4$ = 350 + I355 + 2,8 = I708 руб. = I,7I тыс.руб.

$П_5 = П_6$ = 850+I355+2x5,08+2x2,8=I72I руб.=I,72 тыс.руб.

$П_7 = П_8$ = 850+I355+2x2,8 = I7I0 руб. = I,7I тыс.руб.

$П_9 = П_{I0} = П_5 = П_6$ = I,72 тыс.руб.

Вариант с переменным оперативным током

I. Для типовых схем ПС таблицы I:

$$И_I = \frac{2.9x2.II}{I00} + \frac{2.II}{I5} + \frac{3x2.II}{I00} = 0,26 \text{ тыс.руб.}$$

$$И_2 = \frac{2.9xI2.5I}{I00} + \frac{I0.4}{28,5} + \frac{2.II}{I5} + \frac{2xI0.4}{I00} + \frac{3x2.II}{I00} + 0,005 = I,I3 \text{ т.р.}$$

$$И_3 = \frac{2.9x22.9I}{I00} + \frac{20.8}{28,5} + \frac{2.II}{I5} + \frac{2x20.8}{I00} + \frac{3x2.II}{I00} + 0,0I = 2,0I \text{ т.р.}$$

$$И_4 = \frac{2.9x6.3I}{I00} + \frac{4.2}{28,5} + \frac{2.II}{I5} + \frac{3x6.3I}{I00} + 0,005 = 0,66 \text{ т.р.}$$

$$И_5 = \frac{2.9xI0.5I}{I00} + \frac{8.4}{28,5} + \frac{2.II}{I5} + \frac{3xI0.5I}{I00} + 0,0I = I,05 \text{ т.р.}$$

где $П_2 = П_4 = П_{ITT}$ = 5,08 руб. = 0,005 тыс.руб.

$П_3 = П_5 = П_{2TT}$= I0,I6 руб. = 0,0I тыс.руб.

2. Для типовых схем ПС таблицы 3:

$$И = \frac{2.9x2.II}{I00} + \frac{2.II}{I5} + \frac{3x2.II}{I00} = 0,26 \text{ тыс.руб.}$$

Далее определяются приведенные затраты по каждому из сопоставляемых вариантов системы оперативного тока и типовым схемам ПС таблиц I,2,3 по ранее приведенному выражению

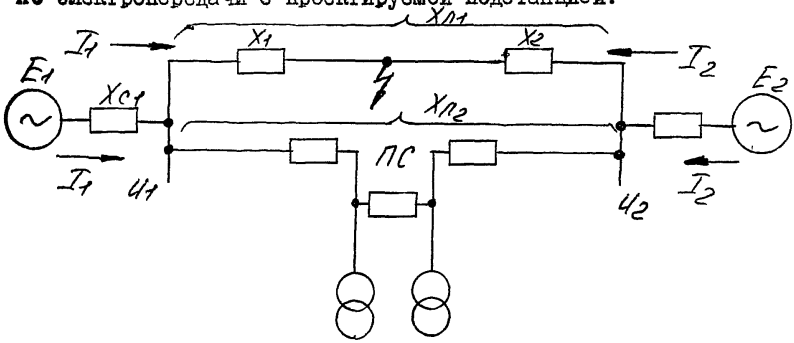
$$З = E_н \cdot К + И$$

Оптимальным по экономическим показателям является вариант, характеризующийся минимальными приведенными затратами. При сопоставлении отдельных систем оперативного тока равноэкономичными считаются варианты, различающиеся по приведенным затратам не более чем на 5%.

Приложение 2

Пример определения граничных условий для выбора вида оперативного тока на подстанциях со схемами мостиков.

В частном случае для участка сети, например показанный на рис.I, может быть представлен в виде следующей эквивалентной схемы, при этом эквивалентирование схемы выполнено относительно электропередачи с проектируемой подстанцией.



На обходной связи всегда можно найти точку, при 3-х фазном к.з. в которой ток через ПС будет равен нулю. При этом напряжения по концам электропередачи будут равны между собой $U_1 = U_2$. Принимаем, что $E_1 = E_2 = I$, тогда можно записать:

$$I_1 \cdot X_{c1} = I_2 \cdot X_{c2}$$
$$I_1 X_1 = I_2 X_2$$

Решая эти уравнения, получим

$$X_1 = \frac{X_{c1}}{X_{c1} + X_{c2}} X_{л1} \qquad X_2 = \frac{X_{c2}}{X_{c1} + X_{c2}} X_{л1}$$

т.е. такая особая точка на шунтирующей электропередачу связи может быть найдена. Влево и вправо от особой точки имеется область, при к.з. в пределах которой ток через проектируемую подстанцию меньше тока надежной работы токового блока питания (БПТ).

Из схемы замещения видно, что напряжение на шинах проектируемой подстанции будет менее 50% номинального в случае, когда $X_1 < X_{C1}$ или $X_2 < X_{C2}$. С другой стороны, возможно, что максимальные токи через ПС при кз. на обходных шунтирующих связях окажутся слишком малы и не смогут вызвать работу защиты, а следовательно для нее не представляют опасности. Для такой проверки необходимо определить максимальный ток через подстанцию, который будет при к.з. на обходной связи вблизи конца электропередачи. Токи при этом будут равны

$$I_{П2}^{(3)} = I_1 \frac{X_{П1}}{X_{П1} + X_{П2}} \qquad \text{или} \qquad I_{П2}^{(3)} = I_2 \frac{X_{П1}}{X_{П1} + X_{П2}}$$

Указанный пример иллюстрирует подход к определению граничных условий для выбора вида оперативного тока на подстанции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Правила устройства электроустановок. 6-ое издание, I986 г.

2. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств напряжением 6...750 кВ подстанций, № 7774тм-тI. Энергосетьпроект, I987 г.

3. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (издание 4-е), инв.№ I3865тм, I990г.

4. Схемы и панели постоянного тока для ПС напряжением до 750 кВ. Методика выбора источников постоянного тока, альбом I, инв.№ I2982тм-тI, I987г.

5. Технико-экономическое сравнение типовых ПС 35-220кВ с оперативным постоянным, переменным и выпрямленным током с целью снижения капитальных затрат на энергетическое строительство, инв.№ I2I65тм-тI, I988 г.

6. Указания по области применения различных видов оперативного тока на подстанциях, инв.№ I0653тм-тI, I982г.

7. Полные схемы управления, автоматики и защиты ПС II0-220 кВ энергосистем на переменном оперативном токе без выключателей на ВН, № II385тм-тI.

8. Схемы электрические принципиальные шкафов КРУ и КРУН 6-I0 кВ ПС энергосистем на переменном оперативном токе со щитом управления № II378тм-тI.

9. Типовые расчеты и оценка возможности выполнения защит трансформаторов 35-220 кВ на переменном и выпрямленном оперативном токе, № 9922тм-т2.

I0. Типовые расчеты схем дешунтирования для линий 6-35 кВ на подстанциях с переменным оперативным током, № 9975тм-тI.

II. Схемы и НКУ шкафов блоков питания. Принципиальные схемы включения блоков питания и методика расчета обеспеченности питания выпрямленным током устройств РЗА № II373тм-тI.

I2. Схемы и НКУ шкафов блоков питания. Полные схемы и НКУ питания оперативных цепей, № II373тм-т2.

I3. Расчеты устройств питания аппаратуры релейной защиты и автоматики подстанций на выпрямленном оперативном токе. № 9944 тм-тI.

I4. "Исследование и разработка схем питания полупроводниковых устройств релейной защиты и автоматики на упрощенных подстанциях" (№ 4I386тм-тI).

I5. Рекомендации по выполнению схем и расчетов системы выпрямленного оперативного тока."Тяжпромэлектропроект", МОI-630I

I6. Полные схемы управления, автоматики и защиты линий 6-I0 кВ и 35 кВ ПС II0-220 кВ на переменном оперативном токе со щитом управления, № II384тм-тI.

I7. Шкафы наружной установки (ШНУ) управления, автоматики и релейной защиты подстанций 35-II0 кВ на переменном оперативном токе, № 7976 тм-тI.

I8. Шкафы управления серии ШУОТ-02. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ИЖТШ.656452.00I.ТО, I983г.

I9. Блоки стабилизированного напряжения БПНС-I, БПНС-2. Технические условия ТУ I6-536.448-80 (срок действия до I.0I.92г).

20. Стабилизированный блок напряжения для питания оперативных цепей автоматики, защиты и управления БПНС-2. Тяжпромэлектропроект. Выпуск I2. I980г. МI2-993-224.

2I. Блоки питания, заряда. Блоки конденсаторов. Технические условия ТУ I6-88, ИАЕЖ.656 I2I.004 ТУ (срок действия до 0I.II.93г).

22. Технический отчёт по работе "Обобщение опыта эксплуатации шкафов ШУОТ (0I и 02) и блоков питания БПТ и БПНС, Союзтехэнерго, I988 г.

gost.e-ecolog.ru