

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

СТАНЦИИ

ISSN 0201-4564

2016 5

ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ

Основы расчёта и анализа энергетической эффективности комбинированного способа производства электрической и тепловой энергии

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Улучшение характеристик циркуляционного контура ВВЭР-СКДИ

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Ввод в эксплуатацию энергоблока ПГУ-220 на ТЭЦ-12 ПАО "Мосэнерго"

Устойчивость естественной циркуляции в контуре вертикального котла-утилизатора с горизонтальным расположением труб испарителя при пуске

ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Система защиты электрической сети напряжением 380 В от обрывов проводов воздушной линии

ОБОРУДОВАНИЕ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Надёжность и эффективность питательных насосов мощных энергоблоков ТЭС

Модернизация систем управления высокочастотных, бесщёточных и коллекторных возбудителей турбогенераторов

Энергоэффективность асинхронных двигателей при питании от преобразователей частоты с широтно-импульсной модуляцией напряжения

ЭНЕРГЕТИКИ ОБСУЖДАЮТ

Корпоративная система подготовки инженеров в России

О проблемах дизайна мнемосхем

ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ И СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

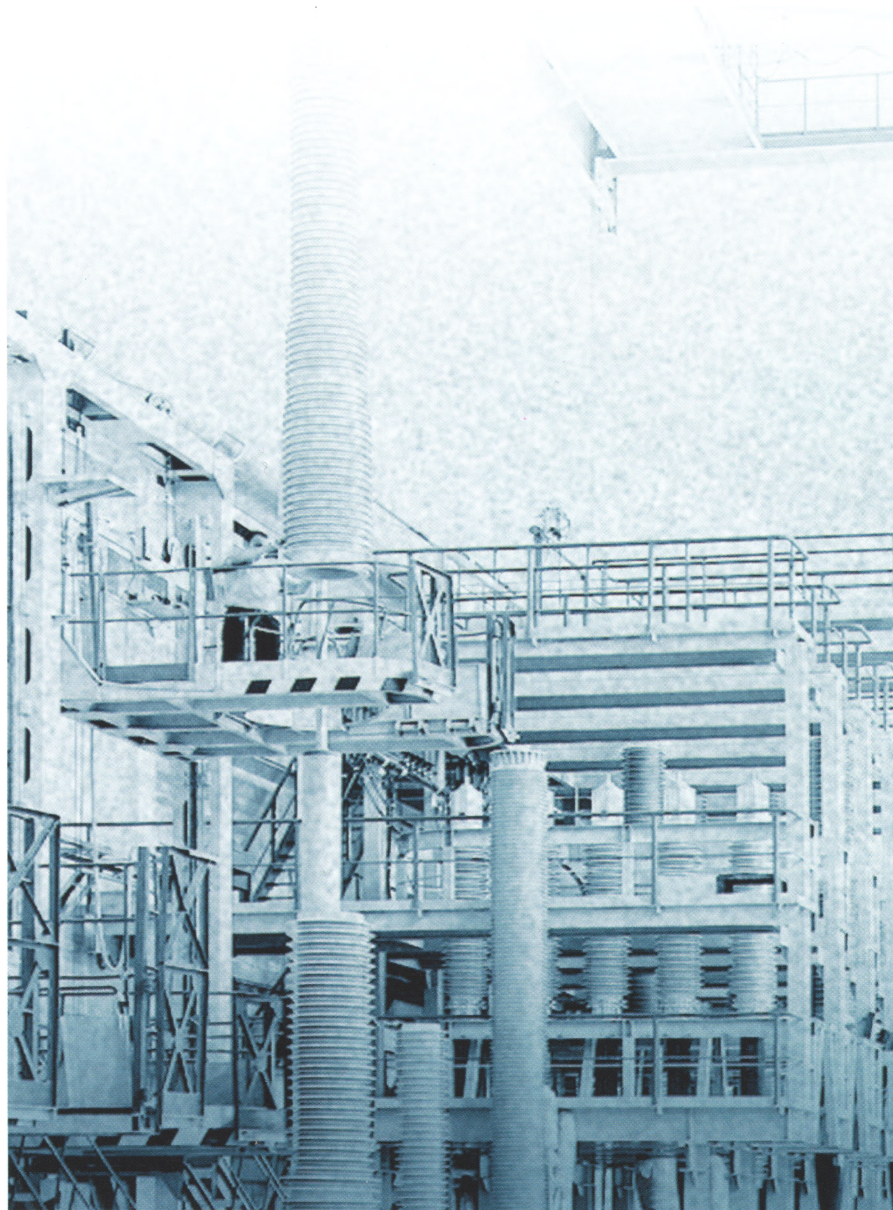
120 лет по пути созидания

К 95-летию юбилею оперативно-диспетчерского управления

ХРОНИКА

Новости электротехнических и электроэнергетических компаний

Конференции, выставки, совещания



ЭНЕРГОПРОГРЕСС



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ISSN 0201-4564

2016 5

УЧРЕДИТЕЛИ

МИНЭНЕРГО РОССИИ,
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ
КОМПАНИЯ ЕЭС,
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ
"КОРПОРАЦИЯ ЕЭЭК",
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИРМА
"ЭНЕРГОПРОГРЕСС",
НП "НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ ЕЭС"

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор **Ольховский Г.Г.**,
доктор техн. наук, чл.-кор. РАН
Зам. главного редактора **Антипов К.М.**,
канд. техн. наук
Бондаренко А.Ф., **Волков Э.П.**, академик РАН,
Воротицкий В.Э., доктор техн. наук,
Денисов В.И., доктор эконом. наук,
Долматов И.А., канд. эконом. наук,
Зорченко Н.В., канд. техн. наук, **Касьянов Л.Н.**,
Корниенко А.Г., **Кошцев Л.А.**, доктор техн. наук,
Лейзерович А.Ш., доктор техн. наук (США),
Львов М.Ю., доктор техн. наук,
Любарский Д.Р., доктор техн. наук,
Ляшенко В.С., **Мисриханов М.Ш.**, доктор техн.
наук, **Нечаев В.В.**, канд. техн. наук,
Новак В., доктор техн. наук (Польша),
Орфеев В.М., **Охотин В.Н.**, **Пикин М.А.**, канд.
техн. наук, **Решетов В.И.**, канд. техн. наук,
Савваитов Д.С., канд. техн. наук,
Седлов А.С., доктор техн. наук,
Сокур П.В., канд. техн. наук,
Соловьёва Т.И., **Тупов В.Б.**, доктор техн. наук,
Широкова М.И., **Шульгинов Н.Г.**, канд. техн. наук

РЕДАКЦИЯ

Зам. главного редактора
Соловьёва Т.И.
Ответственный секретарь
Широкова М.И.
Научный редактор
Попова О.А.
Секретарь редакции
Васина С.А.
Компьютерный набор
Коновалова О.Ф.

АДРЕС РЕДАКЦИИ

115280, Москва,
3-й Автозаводский проезд, 4, корп. 1

ТЕЛЕФОНЫ

Редакция
(495) 234-7417, 234-7419

Главный редактор
(495) 234-7617

Факс
(495) 234-7417

Internet
www.elst.energy-journals.ru

E-mail
для переписки: el-stantsii@rambler.ru
для статей: el.stantsii@gmail.com

Редакция не несёт ответственности за
достоверность информации, опубликованной
в рекламных объявлениях.
При перепечатке ссылка на журнал
«Электрические станции» обязательна.

Сдано в набор 25.04.2016
Подписано в печать 13.05.2016
Формат 60×84 1/8
Бумага Galerie Art Silk. Печать офсетная
Печ. л. 7. Тираж 1800. Цена свободная

Оригинал-макет
выполнен в издательстве «Фолиум»
127411, Москва, Дмитровское ш., 157
Тел/факс: (499) 258-0828
Internet: www.folium.ru
E-mail: prepress@folium.ru

Отпечатано
в типографии издательства «Фолиум»

© НТФ «Энергопрогресс»,
«Электрические станции», 2016

Издаётся
с января 1930 г.
1018-й выпуск
с начала издания

Содержание

ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ

Денисов В.И. Основы расчёта и анализа энергетической эффективности комбинированного способа производства электрической и тепловой энергии. 3

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Зорин В.М., Силин В.А., Хлопов Р.А. Улучшение характеристик циркуляционного контура ВВЭР-СКДИ 10

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Радин Ю.А., Румянцев С.В., Смышляев В.Б., Горлатов Д.И., Гришин И.А. Ввод в эксплуатацию энергоблока ПГУ-220 на ТЭЦ-12 ПАО «Мосэнерго» 15

Плешанов К.А., Стерхов К.В., Росляков П.В. Устойчивость естественной циркуляции в контуре вертикального котла-утилизатора с горизонтальным расположением труб испарителя при пуске 21

ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Ершов А.М., Филатов О.В., Млоток А.В., Сидоров А.И., Валеев Г.С., Валеев Р.Г., Запорожский А.В., Митюнов Р.В., Панов А.П. Система защиты электрической сети напряжением 380 В от обрывов проводов воздушной линии 28

ОБОРУДОВАНИЕ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Васильев В.А., Сироткин В.И. Надёжность и эффективность питательных насосов мощных энергоблоков ТЭС 34

Попов Е.Н., Комков А.Л., Иванов С.Л., Тимошенко К.П. Модернизация систем управления высокочастотных, бесщёточных и коллекторных возбудителей турбогенераторов 38

Швецов Н.К. Энергоэффективность асинхронных двигателей при питании от преобразователей частоты с широтно-импульсной модуляцией напряжения 44

ЭНЕРГЕТИКИ ОБСУЖДАЮТ

Ерохин П.М., Куликов Ю.А. Корпоративная система подготовки инженеров в России 48

Горбунов А.И., Кулагин С.А., Сердюков О.В. О проблемах дизайна мнемосхем 51

ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ И СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Славинский А.З. 120 лет по пути созидания 55

К 95-летию юбилею оперативно-диспетчерского управления (часть 4). 59

В.И. Гришин (К 80-летию со дня рождения) 65

ХРОНИКА

Новости электротехнических и электроэнергетических компаний 66

Конференции, выставки, совещания. 71

Content, Abstracts, Keywords 72

Правила оформления рукописи статьи 74

Система защиты электрической сети напряжением 380 В от обрывов проводов воздушной линии

- **Ершов А. М.**¹, канд. техн. наук, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск
- **Филатов О. В.**, ЗАО “Электротехнические заводы “Энергомера”, Ставрополь
- **Млотов А. В.**, канд. техн. наук, “Челябэнерго” – филиал ОАО “МРСК Урала”, Челябинск
- **Сидоров А. И.**, доктор техн. наук, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск
- **Валеев Г. С.**, канд. техн. наук, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск
- **Валеев Р. Г.**, канд. техн. наук, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск
- **Запорожский А. В.**, ЗАО “Электротехнические заводы “Энергомера”, Ставрополь
- **Митюнов Р. В.**, ЗАО “Электротехнические заводы “Энергомера”, Ставрополь
- **Панов А. П.**, ПО “Центральные электрические сети” “Челябэнерго” – филиал ОАО “МРСК Урала”, Челябинск

Рассматривается один из вариантов защиты населения от поражений электрическим током при обрывах фазных и нулевого проводов воздушных линий напряжением 380 В. Предлагается микропроцессорный счётчик электрической энергии, устанавливаемый в конце воздушной линии, дополнить функциями, позволяющими выявлять обрывы фазных и нулевого проводов и формировать команду на отключение автоматического выключателя, находящегося в начале линии.

Ключевые слова: электрическая сеть, напряжение 380 В, воздушная линия, обрывы нулевого и фазных проводов, система защиты.

Защита населения от поражений электрическим током при обрывах фазных и нулевого проводов воздушных линий напряжением 380 В (ВЛ 380 В) является одной из проблем при их эксплуатации.

В Челябинской области протяжённость ВЛ 380 В, проходящих вдоль улиц и дорог, по населённым пунктам и территориям школ, детских садов, игровых площадок, составляет около 13 тыс. км, из них не более 3% выполнены с самонесущими изолированными проводами, а остальные – с неизолированными проводами. В Челябинской области примерно 20 250 шт. ВЛ 380 В. Каждая из них является потенциальным источником повышенной опасности, к тому же средний уровень их износа составляет 80 – 90%. Ежегодно на территории, обслуживаемой сетевой компанией ОАО “МРСК Урала” (Свердловская и Челябинская области, Пермский край), под напряжение оборванных проводов указанных воздушных линий попадают от 5 до 10 чел., причём из них гибнут в среднем в год 3 – 4 чел. (рис. 1).

Оборвавшиеся и упавшие на землю провода ВЛ 380 В представляют большую угрозу для людей и животных. Но особенно опасны они для детей, которые, не ведая об опасности, подходят к лежащим на земле проводам и даже пытаются взять провод в руку, при этом ребёнок, как прави-

ло, погибает либо от так называемого шагового напряжения, либо от напряжения прикосновения [1 – 5].

В электрических сетях напряжением 380 В обрывы проводов не всегда приводят к возникновению короткого замыкания и немедленному отключению линии, так как в большинстве случаев значение тока замыкания на землю недостаточно для срабатывания защиты из-за большого сопротивления самозаземления упавшего провода [5 – 7].

Проблема – сложная, и многочисленные предложения по её решению [3, 8 – 12] пока не дали приемлемых результатов, разработанные устройства не получили широкого распространения, что подтверждается статистикой электротравматизма с посторонними лицами, оказавшимися вблизи места обрыва фазных и нулевого проводов. Предотвратить опасность поражения током при обрывах проводов на линиях 380 В можно путём быстрого автоматического отключения повреждённой линии.

Развитие электросетей низкого напряжения привело к возникновению так называемых “интеллектуальных” электросетей, оснащённых современной аппаратурой, в том числе для учёта электроэнергии. Микропроцессорные счётчики электрической энергии, обрабатывая входные напряжения и токи, обладают широкими функциональными возможностями. Если эти счётчики, устанавливаемые по периферии ВЛ 380 В, наде-

¹ Ершов Александр Михайлович: a.m.erшов@mail.ru

лить дополнительными функциями, позволяющими определять состояние электрической сети, и, используя каналы передачи данных, передавать команду отключения повреждённой линии на трансформаторную подстанцию, то можно построить систему защиты воздушной линии от обрывов фазных и нулевого проводов.

В Южно-Уральском государственном университете совместно с филиалом ОАО «МРСК Урала» – «Челябэнерг» и крупным производителем в Российской Федерации микропроцессорных счётчиков ЗАО «Электротехнические заводы «Энергомера» разработан новый принцип защиты ВЛ 380 В от обрывов фазных и нулевого проводов на базе современных микропроцессорных счётчиков. Существенной особенностью предлагаемой системы защит, отличающей её от известных аналогов, является то, что она построена на измерении напряжений в конце воздушной линии, а команда отключения передаётся по каналам связи (например, сотового оператора связи GSM) на коммутационные аппараты, установленные в начале линии.

Для определения структуры системы защиты электрической сети напряжением 380 В от обрывов фазных и нулевого проводов воздушных линий нужно знать, с одной стороны, параметры электрической сети (напряжения и токи) при аварийных режимах её работы, на которые они должны реагировать, а с другой – параметры нормальных режимов работы электрической сети, от которых следует отстраиваться [13, 14 и др.].

Для использования счётчиков в качестве устройств выявления обрывов фазных и нулевого проводов было необходимо:

- сформировать критерии их обнаружения;
- разработать дополнительные функции для микропроцессорных счётчиков электрической энергии;

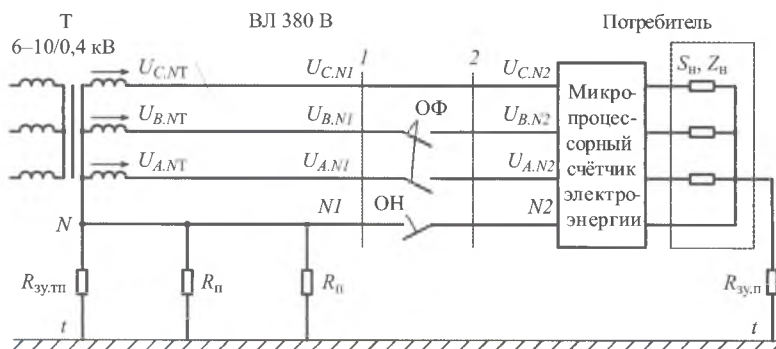


Рис. 2. Принципиальная схема электрической сети напряжением 380В:

$R_{з.тп}$, R_n , $R_{з.п}$ – сопротивления заземляющих устройств трансформаторной подстанции, повторных заземлений нулевого провода воздушной линии и потребителя электроэнергии; S_n , Z_n – мощность и сопротивление нагрузки потребителя; A , B , C , N – обозначения соответственно фазных и нулевого проводов; t – потенциал земли; $U_{A,NT}$, $U_{B,NT}$, $U_{C,NT}$ – фазные напряжения относительно нулевого провода на выводах силового трансформатора T ; 1 и 2 – линии (сечения), обозначающие место возникновения различных повреждений в сети; $ОФ$ и $ОН$ – обрывы фазных и нулевого проводов; $U_{A,N1}$, $U_{B,N1}$, $U_{C,N1}$ и $U_{A,N2}$, $U_{B,N2}$, $U_{C,N2}$ – напряжения фазных проводов относительно нулевого провода соответственно до и после места повреждения ВЛ 380 В

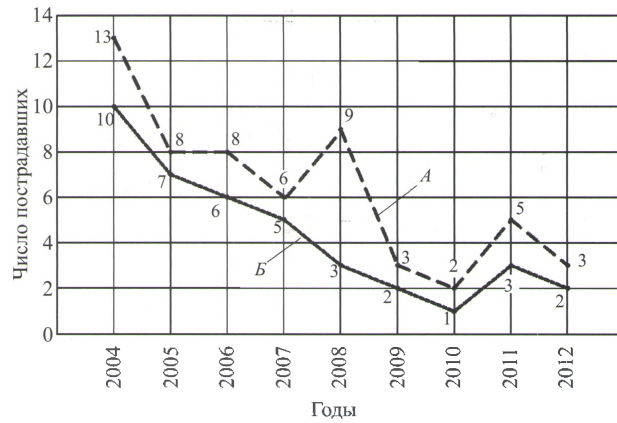


Рис. 1. Распределение числа пострадавших (А) и пострадавших со смертельным исходом (Б) в результате обрыва проводов ВЛ 380 В в течение 2004 – 2012 гг.

задать производителям счётчиков необходимые алгоритмы для расширения их функций;

решить вопрос оперативной передачи отключающего импульса на головной автоматический выключатель линии и информирования дежурного персонала о возникшей опасной ситуации в электрической сети.

На напряжения и токи в электрической сети в общем случае влияют:

- различные несимметричные режимы работы электроприёмников, искажающие симметрию трёхфазной системы напряжений относительно нулевого рабочего провода при симметричном режиме работы самой электрической сети;
- различные сочетания обрывов фазных и нулевого проводов воздушной линии;
- различные сочетания замыканий фазных проводов с нулевым проводом воздушной линии, а также замыканий этих проводов на землю;
- различные короткие замыкания на воздушных линиях, питающихся от одной трансформаторной подстанции.

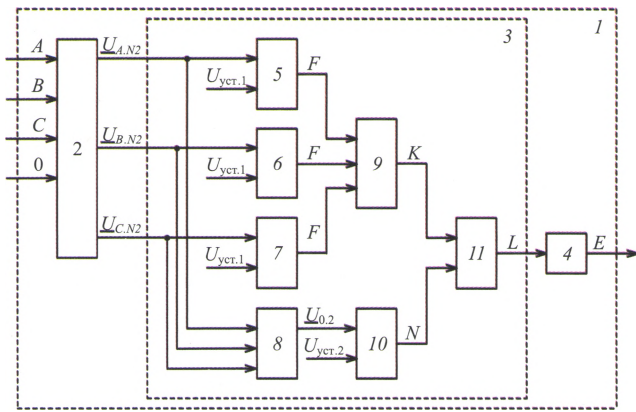


Рис. 3. Структурная схема микропроцессорного счётчика электрической энергии с дополнительными функциями:

1 – микропроцессорный счётчик электрической энергии; 2 – блок измерения фазных напряжений относительно нулевого провода; 3 – блок дополнительных функций; 4 – блок формирования команды отключающего сигнала; 5, 6, 7, 10 – преобразователи мгновенного фазного напряжения в логический сигнал; 8 – блок суммирования трёх мгновенных фазных напряжений относительно нулевого провода; 9, 11 – логические блоки ИЛИ

Для разработки критериев выявления обрывов фазных и нулевого проводов ВЛ 380 В и построения системы защиты проведены широкие теоретические (компьютерное [15] и физическое [16] моделирование) и экспериментальные (испытания в опытной [17] и действующих [18] электрических сетях напряжением 380 В (нормальный режим, разные сочетания обрывов нулевого и фазных проводов, короткие замыкания и др.) при изменении несимметрии фазных нагрузок и сопротивлений заземляющих устройств потребителей).

На рис. 2 представлена принципиальная схема трёхфазной четырёхпроводной электрической сети напряжением 380 В, состоящей из трёхфазного трансформатора T , подключённого к сети напряжением 6 – 10 кВ, четырёхпроводной воздушной линии и нагрузки потребителей электрической энергии в конце линии. На вводе у потребителя включён трёхфазный микропроцессорный счётчик электрической энергии. Линии 1, 2 разделяют ВЛ на два участка – до и после места повреждения линии (от начала ВЛ до места повреждения и от места повреждения ВЛ до потребителя).

Напряжения после места повреждения приемлемыми напряжениями на вводе потребителя – на вводных зажимах микропроцессорного счётчика электрической энергии.

В таблице для сопоставления приведены результаты исследований режимов работы электрической сети напряжением 380 В с её предельными параметрами на компьютерной и физической моделях и в опытной электрической сети напряжени-

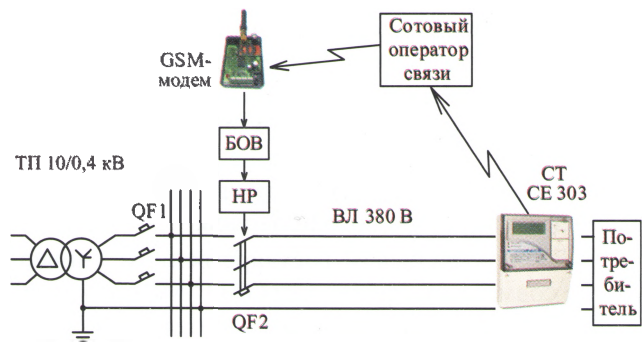


Рис. 4. Функциональная схема системы защиты от обрывов фазных и нулевого проводов ВЛ 380 В

ем 10/0,38 кВ. Получены следующие изменения напряжений в конце воздушной линии при различных режимах её работы.

1. При нормальном режиме работы электрической сети значения напряжений фаз относительно нулевого провода $U_{A, N2}$, $U_{B, N2}$, $U_{C, N2}$ близки к номинальным значениям, а напряжение нулевой последовательности $U_{0,2}$, характеризующее несимметрию фазных нагрузок потребителей, даже при предельных вариантах несимметрии (отсутствие нагрузки на одной или сразу на двух фазах) не превышает 17% U_{ϕ} . От этого напряжения нужно отстраивать систему защиты при нормальном режиме работы электрической сети – обеспечивается выбором максимальной уставки системы защиты с учётом запаса $U_{уст,2} = 0,3U_{\phi}$.

2. При обрыве фазного провода напряжение на повреждённой фазе относительно нулевого провода за местом повреждения (сечение 2 на рис. 2 – со стороны потребителя, на входе микропроцессорного счётчика) становится близким к нулевому значению. С учётом возможных смещений напряжений нейтрали при изменении несимметрии нагрузок потребителя на оборванном фазном проводе со стороны потребителя (до 10% U_{ϕ}) минимальная уставка системы защиты принята равной $U_{уст,1} = 0,15U_{\phi}$.

3. При обрыве нулевого провода напряжения на участке электрической сети за местом повреждения зависят от несимметрии фазных нагрузок потребителя и, как показали выполненные нами исследования, их значения могут находиться в следующих пределах:

при изменении нагрузки на одной фазе

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq U_{0,2} \leq 0,5U_{\phi} \text{ и} \\ 1,0U_{\phi} \geq U_{\phi, N2} \geq 1,5U_{\phi}; \\ 1,0U_{\phi} \geq U_{\phi, N2} \geq 0,866U_{\phi}; \end{aligned} \right\}$$

при изменении нагрузки на двух фазах

Результаты исследований режимов работы электрической сети напряжением 380 В на компьютерной и физической моделях и в опытной сети

Режим работы воздушной линии	Фазная нагрузка		Напряжение сети, отн. ед.			
	фаза	мощность P_n , %	измеряемое	на компьютерной модели	на физической модели	в опытной электрической сети
Нормальный режим работы	A B C	100	$U_{A.N2}$	0,9	0,916	0,995
			$U_{B.N2}$	0,9	0,913	0,996
			$U_{C.N2}$	0,9	0,906	1,002
			$U_{0.2}$	0	0,0026	0,002
	A B C	0 100 100	$U_{A.N2}$	1,115	1,084	1,186
			$U_{B.N2}$	0,813	0,885	0,904
			$U_{C.N2}$	0,895	0,906	0,998
			$U_{0.2}$	0,154	0,107	0,138
	A B C	0 0 100	$U_{A.N2}$	1,118	1,085	1,192
			$U_{B.N2}$	1,016	1,024	1,084
			$U_{C.N2}$	0,792	0,842	0,894
			$U_{0.2}$	0,170	0,115	0,154
Обрыв провода фазы A	B C	100 100	$U_{A.N2}$	0	0,0021	0,0018
			$U_{B.N2}$	0,810	0,859	0,926
			$U_{C.N2}$	0,906	0,911	1,028
			$U_{0.2}$	0,242	0,262	0,284
	B C	0 100	$U_{A.N2}$	0	0,0023	0,0012
			$U_{B.N2}$	0,999	1,024	1,099
			$U_{C.N2}$	0,805	0,843	0,928
			$U_{0.2}$	0,236	0,277	0,279
	B C	100 0	$U_{A.N2}$	0	0,0024	0,0014
			$U_{B.N2}$	0,805	0,846	0,923
			$U_{C.N2}$	1,117	1,081	1,219
			$U_{0.2}$	0,354	0,331	0,386
	B C	0 0	$U_{A.N2}$	0	0	0
			$U_{B.N2}$	1,00	1,012	1,009
			$U_{C.N2}$	1,00	1,00	1,003
			$U_{0.2}$	0,333	0,334	0,333
Обрыв нулевого провода	A B C	100 100 100	$U_{A.N2}$	0,9	0,914	0,988
			$U_{B.N2}$	0,9	0,911	0,988
			$U_{C.N2}$	0,9	0,913	0,991
			$U_{0.2}$	0	0,0026	0,0014
	A B C	0 100 100	$U_{A.N2}$	1,500	1,515	1,5000
			$U_{B.N2}$	0,78	0,79	0,860
			$U_{C.N2}$	0,78	0,798	0,858
			$U_{0.2}$	0,50	0,503	0,50
	A B C	0,1 – 0,18 0,1 – 0,18 100	$U_{A.N2}$	1,730	1,733	1,731
			$U_{B.N2}$	1,730	1,733	1,731
			$U_{C.N2}$	0,0002	0,0037	0,0042
			$U_{0.2}$	0,9987	1,00	1,00

Примечания. 1. Сопротивление $R_{з.п} = \infty$. 2. Мощность P_n – в процентах $P_{н.макс}$.

$$\begin{aligned}
&0 \leq U_{0,2} \leq 1,0U_{\phi} \text{ и} \\
&1,0U_{\phi} \geq U_{\phi i.N2} \geq 1,732U_{\phi} = U_{л}; \\
&1,0U_{\phi} \geq U_{\phi i.N2} \geq 0,
\end{aligned}
\left. \vphantom{\begin{aligned} 0 \leq U_{0,2} \leq 1,0U_{\phi} \text{ и} \\ 1,0U_{\phi} \geq U_{\phi i.N2} \geq 1,732U_{\phi} = U_{л}; \\ 1,0U_{\phi} \geq U_{\phi i.N2} \geq 0, \end{aligned}} \right\}$$

где индекс i соответствует фазе сети A, B, C ; $U_{л}$ – линейное напряжение.

Выбор максимальной уставки $U_{уст.2} = 0,3U_{\phi}$ означает, что система защиты будет выявлять обрыв нулевого провода в том случае, когда напряжение несимметрии превысит значение $U_{0,2} > 0,3U_{\phi}$, т.е. при наличии определённой несимметрии фазных нагрузок потребителей, которая характерна при питании однофазных электроприёмников.

Логика изменений напряжений фаз относительно нулевого провода и напряжения нулевой последовательности была использована для выявления обрывов соответственно фазных и нулевого проводов. На рис. 3 показана структурная схема микропроцессорного счётчика электрической энергии с дополнительными функциями.

Мгновенные напряжения фаз сети относительно нулевого провода $\underline{U}_{A.N2}$, $\underline{U}_{B.N2}$, $\underline{U}_{C.N2}$ (с выхода блока измерения фазных напряжений после сечения 2) подаются на входы первых трёх преобразователей 5, 6, 7 и входы сумматора 8. В результате векторного суммирования трёх мгновенных фазных напряжений и выполнения операции масштабирования (уменьшения в 3 раза) на выходе сумматора 8 получается мгновенное напряжение нулевой последовательности $U_{0,2}$ относительно нулевого провода со стороны потребителя.

Первые три преобразователя 5, 6, 7 имеют минимальную уставку по напряжению $U_{уст.1} = 0,15U_{\phi}$, которая обеспечивает изменение выходного сигнала F указанных преобразователей с логического нуля на логическую единицу (при обрыве фазного провода и соответствующем понижении напряжения на фазе относительно нулевого провода). Логические сигналы F с выходов первых трёх преобразователей 5, 6, 7 подаются на входы первого логического элемента ИЛИ 9. Его выходной сигнал K в нормальном режиме равен логическому нулю, а при возникновении обрыва провода на любой из фаз воздушной линии становится равным логической единице.

Четвёртый преобразователь 10 имеет максимальную уставку по напряжению $U_{уст.2} = 0,3U_{\phi}$, которая обеспечивает изменение выходного сигнала N с логического нуля на логическую единицу (при обрыве нулевого провода и соответствующем повышении напряжения нулевой последовательности $U_{0,2}$).

Сигналы K и N с выходов соответственно первого логического элемента ИЛИ 9 и четвёртого преобразователя 10 подаются на входы второго логического элемента ИЛИ 11. Его выходной сигнал L в нормальном режиме работы сети равен логическому нулю, а при обрыве любого фазного прово-

да или нулевого провода становится равным логической единице.

Таким образом, при обрыве фазного или нулевого проводов воздушной линии блок дополнительных функций 3 формирует логический сигнал L , несущий информацию о возникновении аварийного режима ВЛ 380 В.

Блок формирования команды отключающего сигнала 4 предназначен, во-первых, для формирования сообщения по GSM-каналу персоналу электрических сетей о возникновении аварийной ситуации на ВЛ 380 В, во-вторых, для формирования команды отключающего сигнала E и передачи его по GSM-каналу на трансформаторную подстанцию для отключения повреждённой линии.

На рис. 4 представлена функциональная схема системы защиты от обрывов фазных и нулевого проводов воздушной линии электрической сети напряжением 380 В.

Микропроцессорный счётчик электрической энергии устанавливается на конечных участках ВЛ на вводе потребителя. При обрывах фазных и нулевого проводов счётчик формирует команду отключающего сигнала, которая по GSM-каналу отправляется на трансформаторную подстанцию, где она принимается GSM-модулем и через блок отключения выключателя $БОВ$ происходит воздействие на независимый расцепитель HP автоматического выключателя $QF2$ и отключение повреждённой воздушной линии.

Система защиты от обрывов фазных и нулевого проводов, основой которой является доработанный корпоративным институтом электротехнического приборостроения ЗАО “Электромеханические заводы “Энергомера” микропроцессорный счётчик электрической энергии типа “Энергомера СЕ 303”, была исследована в различных режимах на физической модели и в опытной электрической сети напряжением 10/0,38 кВ. При испытаниях на ВЛ 380 В было создано более 20 различных режимных ситуаций её работы, при этом система защиты правильно распознавала как нормальные, так и аварийные режимы, отключая последние.

В настоящее время при поддержке ПАО “Россети” и ОАО “МРСК Урала” ведётся опытная проверка работоспособности системы защиты на 10 линиях Красноармейского РЭС ПО “Центральные электрические сети” филиала ОАО “МРСК Урала” – “Челябэнерго”. Готовится опытная эксплуатация системы защиты в двух населённых пунктах, где она будет установлена на 73 воздушных линиях напряжением 380 В, питающихся от 30 трансформаторных подстанций.

Список литературы

1. Долин, П. А. Электробезопасность. Теория и практика [Текст]: учебное пособие для вузов / П. А. Долин, В. Т. Медведев, В. В. Крючков, А. Ф. Монахов; под ред.

- В. Т. Медведева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280 с.
2. *Ерёмина, Т. В.* Математическая модель электропоражения человека [Текст] / Т. В. Ерёмина, О. К. Никольский // Вестник КрасГАУ. – 2010. – Вып. 4. – С. 250 – 255.
 3. *Коструба, С. И.* Человека защитит УЗО при авариях на воздушных линиях электропередачи [Текст] / С. И. Коструба // Новости электротехники. – 2004. – № 1 (25). – С. 76 – 79.
 4. *Млоток, А. В.* Обеспечение электробезопасности при обрывах фазных и нулевого проводов воздушных линий напряжением 380 В [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01: защищена 26.12.14: утв.06.04.15 / Млоток Алексей Владимирович. – Челябинск: ЮУрГУ, 2015. – 265 с.
 5. *Сидоров, А. И.* Основы электробезопасности [Текст]: учеб. пособие для студентов / А. И. Сидоров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 344 с.
 6. *Гордон, С. В.* Монтаж сельских электроустановок [Текст] / С. В. Гордон. – М.: Колос, 1979. – 279 с.
 7. *Макаров, Д. А.* Оценка условий электропоражения в сетях напряжением до 1 кВ с глухо заземлённой нейтралью с учётом обрыва нулевого защитного проводника [Текст] / Д. А. Макаров // Электробезопасность. – 2000. – № 4. – С. 6 – 13.
 8. *Григорьев, А. В.* Защита сельских электросетей [Текст] / А. В. Григорьев, А. И. Селивахин, В. И. Сукманов. – Алма-Ата: Кайнар, 1984. – 128 с.
 9. *Сагутдинов, Р. Ш.* Защита электрических сетей 0,38 кВ при обрыве проводов [Текст] / Р. Ш. Сагутдинов, В. И. Красников, В. Г. Головацкий // Электрические станции. – 1982. – № 7. – С. 56 – 58.
 10. *Селивахин, А. И.* Защита воздушной линии электропередачи 0,38 кВ от обрыва фазного провода [Текст] / А. И. Селивахин, В. П. Кобазев, Х. М. Желиховский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 7. – С. 55–57.
 11. *Щуцкий, В. И.* Опыт применения устройств защитного отключения в энергосистемах напряжением до 1000 В [Текст] / В. И. Щуцкий. – М.: Недра, 1970. – 63 с.
 12. *Якобс, А. И.* Электробезопасность в сельском хозяйстве [Текст] / А. И. Якобс, А. В. Луковников. – М.: Колос, 1981. – 239 с.
 13. *Андреев, В. А.* Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст]: учебник для вузов / В. А. Андреев. – М.: Высшая школа, 2007. – 639 с.
 14. *Федосеев, А. М.* Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей [Текст]: учебное пособие для вузов / А. М. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
 15. *Валеев, Р. Г.* Моделирование электрической сети напряжением 380 В с воздушными линиями в программной среде MATLAB–SIMULINK [Текст] / Р. Г. Валеев, А. В. Млоток, А. М. Ершов, А. И. Сидоров // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9–10. – С. 116–128.
 16. *Ершов, А. М.* Физическая модель для исследования несимметричных режимов работы электрической сети напряжением 380 В [Текст]: сборник статей VI Международной заочной научно-практической конференции “Энергетика в современном мире” / А. М. Ершов, Р. Г. Валеев, А. В. Млоток, А. И. Сидоров. – Чита: ЗабГУ, 2013. – С. 46 – 52.
 17. *Млоток, А. В.* Опытная электрическая сеть напряжением 380 В [Текст] / А. В. Млоток, А. М. Ершов, Р. Г. Валеев, А. И. Сидоров // Вестник Инженерной школы ДВФУ. – 2014. – № 2 (19). – С. 96–107.
 18. *Ершов, А. М.* Исследование аварийных режимов в сельских электрических сетях напряжением 380 В [Текст] / А. М. Ершов, Р. Г. Валеев, А. В. Млоток, А. И. Сидоров // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 6. – С. 18–21.

Уважаемые читатели!

На сайте журнала www.elst.energy-journals.ru, в разделе «Подписки» вы можете приобрести статьи, уже хранящиеся в базе данных журнала (база будет пополняться), оплатив их через систему PayPal.

Кроме этого, здесь же вы можете заказать и приобрести любую статью, опубликованную в журнале «Электрические станции», начиная с 1930 г., но пока не попавшую в базу данных.

Для этого необходимо сообщить в редакцию el.st.podpiska@gmail.com все известные вам данные о статье (номер журнала, год, автора, название статьи, страницы) и дождаться ответа с подтверждением о возможности выполнения вашего заказа. После этого вы сможете оплатить статью через систему PayPal или запросить счёт. Как только редакция получит уведомление об оплате, вам будут направлены либо pdf-файлы статей, опубликованных в 2001 – 20013 гг., либо сканкопии статей, опубликованных в 1930 – 2000 гг.

CONTENT, ABSTRACTS, KEYWORDS

ECONOMICS OF POWER ENGINEERING

Fundamentals of calculation and analysis of the energy efficiency of the combined method of electricity and heat production

- Dr Valentin Denisov, el-stantsii@rambler.ru,
- JSC "Power Engineering Institute, named after G. M. Krzhizhanowski", Moscow"

The way of calculation of the actual fuel economy received by heating supply system from use of extracted steam, and its distribution between electric and thermal energy is offered. Analysis examples of the combined way of electric and thermal energy and an assessment of its efficiency for combined heat and power plant are given.

Keywords: extracted steam; efficient and disabled heat of steam; the combined way of production; fuel economy; power effect.

NUCLEAR POWER PLANTS

Improving the performance of coolant circulation flow of the VVER-SKDI reactor

- Dr Vyacheslav Zorin, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow
- Ph. D Vladimir Silin, National Research Centre "Kurchatov Institute", Moscow
- Roman Khlopov, Alarik1181@mail.ru, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow

The article describes a method to improve the VVER-SKDI reactor natural circulation circuit by changing the core coolant flow rate profile.

Keywords: Nuclear reactor, nuclear power engineering, Light water reactor, integral assembling.

THERMAL POWER PLANTS

Commissioning of CCGT-220 power unit at CHP-12 PJSC "Mosenergo"

- Dr Yurii Radin, vti@vti.ru, JSC "All-Russia Thermal Engineering Institute", Moscow
- C. V. Romyantsev, PJSC "Mosenergo", Moscow
- Viktor Smyshlyayev, JSC "All-Russia Thermal Engineering Institute", Moscow
- Dmitrii Gorlatov, CHP-12 – branch of PJSC "Mosenergo", Moscow
- Il'ya Grishin, JSC "All-Russia Thermal Engineering Institute", Moscow

In the period from 01.09.2013 on 31.05.2015, under the leadership of general contractor PJSC "TEK Mosenergo" OJSC "VTI" (adjustment and heating mechanical equipment testing), with the participation of OJSC "Firm ORGRES" (post-installation HRSG cleaning and adjusting of chemical water treatment) the complex of commissioning works and equipment testing of starting complex CCGP – 220T at CHP – 12 of PJSC "Mosenergo" branch was completed.

Keywords: combined cycle power plant (CCPP), gas turbine, steam turbine, heat recovery steam generator (HRSG), adjustment and commissioning works.

Natural circulation stability in vertical HRSG circuit with evaporator horizontal tubes during startup

- Ph. D Konstantin Pleshchikov, JSC Machine-Building Factory of Podolsk (ZIO), Moscow Region, Podolsk; National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow
- Kirill Sterkhov, sterkhovkv@gmail.com, JSC Machine-Building Factory of Podolsk (ZIO), Moscow Region, Podolsk
- Dr Pavel Roslyakov, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow

The memoir presents theoretical and field tests research results of stability of natural circulation in evaporator horizontal tubes of HRSG PK-55 Yugo-Zapadnaya CHP. Study includes succeeding stages: evaporator warming-up, vaporization startup and stable natural circulation. Gas turbine was startup and shutter of load of 5 MW during research. Decision of the HRSG with forced circulation evaporator of long-term reliable operation at natural circulation regime is given.

Keywords: natural circulation, vertical heat recovery steam generator (HRSG), evaporator, forced circulation, mass steam content, transient process, dynamic calculations, reliability

POWER SYSTEMS AND ELECTRIC NETWORKS

Protection system in mains with voltage 380 from wire breakage of overhead line

- Ph. D Alexander Ershov, a.m.ershov@mail.ru, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk
- Oleg Filatov, CJSC "Electro technical plants "Energomeasure", Stavropol
- Ph. D Alexey Mlotok, "Chelyabenergo" – branch office JSC "IDGC of Urals", Chelyabinsk
- Dr Alexander Sidorov, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk
- Ph. D Galimyan Valeev, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk
- Ph. D Rustam Valeev, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk
- Andrey Zaporozhskiy, CJSC "Electrotechnical plants "Energomeasure", Stavropol
- Roman Mityunov, CJSC "Electrotechnical plants "Energomeasure", Stavropol
- Alexey Panov, "Central Electric Networks" "Chelyabenergo" – branch office JSC "IDGC of Urals", Chelyabinsk

Protecting the population against electric shock In case of breakage of the phase and neutral wires of overhead lines voltage 380 V is one of the problems at their operation. We consider one of the solutions to the problem. It is proposed a microprocessor meter of electric energy, installed at the end of the air line, to add functions to identify breakages of phase and neutral conductors and form a trip command of the circuit breaker installed at the beginning of the line.

Keywords: electric network, voltage of 380 V, overhead line, breaks of zero and phase conductors, protective system.

EQUIPMENT OF POWER STATIONS AND SUBSTATIONS

Reliability and efficiency of feed pumps powerful units of thermal power plant

- Ph. D Vitalii Vasilyev, vasilyev va@list.ru, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk