

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ СВЯЗИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ

АВТОРЫ:

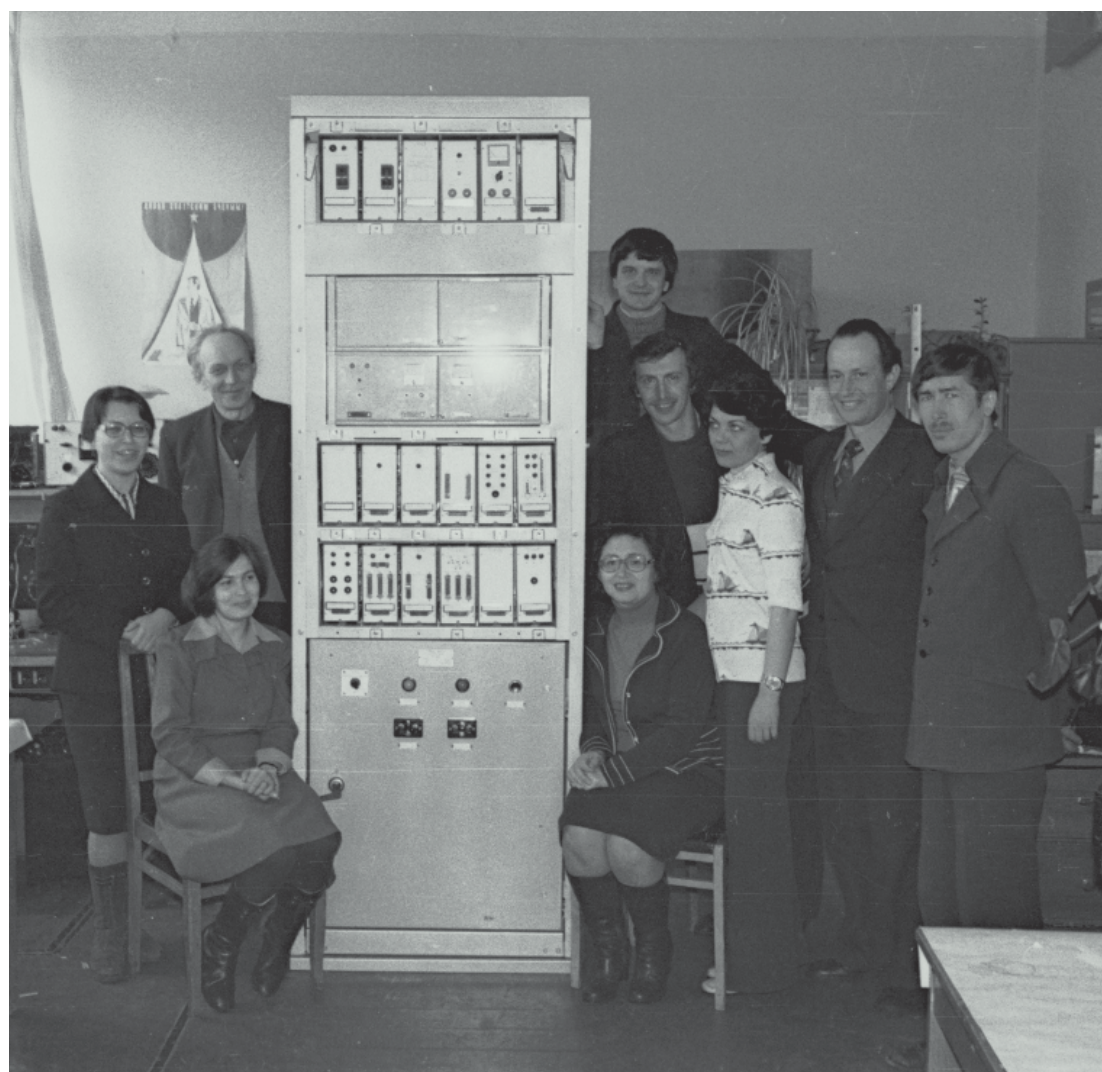
Н.А. ДОНИ,
К.Т.Н.,
ООО «НПП «ЭКРА»

А.И. ЛЕВИУШ,
Д.Т.Н.,
ООО «НПП «ЭКРА»

Р.В. РАЗУМОВ,
А.В. ИВАНОВ,
ООО «НПП «ЭКРА»

В Москве первая электростанция была построена в 1888 г. и была названа «Георгиевской» (по имени переулка, в котором располагалась, сейчас на этом месте находится

Новый Манеж). Мощность станции составляла 100 кВт, вырабатываемая электроэнергия направлялась по подземным кабелям к ближайшим улицам, к Большому и Малому театрам, к зданию МГУ на Моховой.



Панель НДЗ-751 (ПДЭ 2003) производства ВНИИР, ВЧ-приемопередатчик (АВЗК-80), изготовлен во ВНИИЗ, 1979 г.

ВВЕДЕНИЕ



Рис. 1. Михаил Андреевич Шателен (1866–1957) [1]

Бурное развитие электроэнергетики как новой отрасли экономики и промышленности в конце XIX — начале XX вв. способствовало созданию единых энергосистем: 26 марта 1913 г. под руководством Михаила Андреевича Шателена (рис. 1) была впервые в мире осуществлена параллельная работа двух электростанций [1] — «Тепловой» и «Белый Уголь» (в память об этом событии в 1985 г. в Пятигорске на углу проспекта Кирова и улицы Малыгина открыт памятник в честь первой энергосистемы и памятник-близнец в Ессентуках; рис. 2). Автором проекта параллельной работы электростанций был русский инженер Евгений Николаевич Кутейников (рис. 3 на с. 56) [1]. Опробованный принцип параллельной работы электростанций был использован при создании проекта Плана ГОЭЛРО и при создании ЕЭС СССР, впрочем, как и всех мировых энергосистем.

Координация работы большого количества энергообъектов, составляющих Единую энергетическую систему, невозможна без систем связи. В частности, связь потребовалась

не только людям для управления энергообъединением, но и электро-техническому оборудованию, в том числе создаваемым средствам релейной защиты, а позже и средствам противоаварийного управления. Так, например, в релейной защите во многих случаях нельзя правильно оценить сложившуюся в результате аварии ситуацию на основании только той информации (значения токов, напряжений, перетоков мощностей и др.), которая может быть собрана на данном конце линии. Необходимо дополнительная информация от удаленных электроустановок, а для передачи от них информации — и каналы связи [2, с. 4].

Релейная защита, как правило, строится таким образом, чтобы по каналу связи передавался минимальный объем информации. Для различных видов релейной защиты обычно требуется передача одного из следующих видов информации: сигналов, разрешающих отключение выключателя на данном конце (разрешающие сигналы), сигналов, осуществляющих отключение выключателя на данном конце (отключающие сигналы), и сигналов, запрещающих отключения (блокирующие сигналы). Во всех этих случаях на приемном конце необходимо производить только фиксацию факта приема или отсутствия сигнала [2, с. 4].

Для определенных видов защит требуется передача аналоговых величин с противоположного конца линии. К таким защитам относятся дифференциально-фазная (ДФЗ) и продольная дифференциальная защиты линии (ДЗЛ). Для работы каждого полукомплекта защиты необходима информация о токах с противоположного конца линии. Передача информации о фазе тока в ДФЗ осуществляется по самой защищаемой линии путем передачи по ней высокочастотных сигналов, передача информации о токах в ДЗЛ — при помощи вспомогательных проводов, прокладываемых вдоль трассы линий электропередачи.

В случае использования для релейной защиты разрешающих, блокирующих или отключающих сигналов, информация, передаваемая по каналу связи, минимальна — всего одна единица информации (1 бит). Несмотря на малый объем передаваемой информации, создание каналов связи для релейной защиты является сложной задачей из-за весьма высоких требований к надежности, достоверности и достаточно высокой скорости передачи [2, с. 5].

Высокочастотная (ВЧ) связь по линиям электропередачи получила наибольшее распространение в энергетике нашей страны. Около



Рис. 2
Памятник в честь первой в мире энергосистемы [1]



Рис. 3. Евгений Николаевич Кутейников (1876-1918) [1]

60 тыс. линий электропередачи в электроэнергетике РФ оборудованы каналами ВЧ-связи, из них примерно 57 % — это специализированные каналы релейной защиты и противоаварийного управления. Остальные 43 % составляют каналы телефонной связи, передачи данных и сигналов телемеханики [3, с. 7]. Для средств и систем противоаварийного управления (релейной защиты и противоаварийной автоматики) ВЧ-каналы по воздушной линии (ВЛ) — практически единственный вид связи, удовлетворяющий требованиям высокой надежности и быстродействия. Для передачи информации в системах диспетчерского и технологического управления энергосистем использование ВЧ-каналов в большинстве случаев является наиболее экономичным по сравнению с волоконно-оптической линией связи (ВОЛС).

Настоящая статья не рассматривает современное состояние систем связи для защиты и автоматизации, а ограничивается периодом начала 2000-х гг. Системы связи XXI в. — тема для отдельной большой публикации, место в которой, помимо успешных российских компаний и выдающихся специалистов своего дела, должно быть уделено и ряду

международных компаний, чья аппаратура широко представлена в ЕЭС России.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЧ-ТЕХНИКИ И ОСНОВНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ПО ВЫСОКОЧАСТОТНОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ

Идея создания дифференциально-фазной высокочастотной защиты, основанной на сравнении фаз токов по концам защищаемого участка линии электропередачи, впервые была предложена в 1927 г. Однако она в течение долгого времени не находила практического применения и развития, если не считать отдельных опытных установок, выполненных в 1929 г. и 1933 г. на фильтрах нулевой последовательности и комбинированных фильтрах тока типа $I_2 + kI_0$ для преобразования трехфазной системы токов в однофазную, что сокращает число используемых каналов связи для передачи информации и упрощает схемы защиты [4, с. 16].

Основными научно-исследовательскими центрами в области релейной защиты в 1930-е гг. были Лаборатория высоковольтных напряжений им. проф. А.А. Смурова, сектор релейной защиты и устойчивости института «Теплоэлектропроект», Государственный трест по организации и рационализации районных электростанций и сетей (ОРГРЭС) и крупнейшие энергетические системы — Мосэнерго, Ленэнерго, Уралэнерго и др. [29, с. 317].

В 1934 г. в Советском Союзе началась разработка направленных ВЧ-защит типа КРЗ 161 в Ленин-

градской лаборатории им. проф. А.А. Смурова под руководством В.И. Иванова и П.И. Рыжова. Первый канал ВЧ-защиты был введен в работу в 1936 г. на линии 110 кВ Кашира — Москва (Мосэнерго) длиной 120 км [2, с. 5]. В 1939 г. в Мосэнерго осваивалась также ВЧ-защита типа НЗ на аппаратуре американской компании Westinghouse. В 1940–1942 гг. на аппаратуре, созданной в лаборатории им. проф. А.А. Смурова, вводятся в работу высокочастотные защиты в Уралэнерго. Инициатором и организатором внедрения ВЧ-защит на Урале был В.П. Пименов [2, с. 5]. В этой же лаборатории в 1933 г. впервые были созданы высокочастотные заградители. С 1934 г. начался их серийный выпуск [22].

В 1930-х гг. в нашей стране появились первые публикации Я.Л. Быховского, В.А. Дьякова, А.А. Чернышова и др. об организации ВЧ-связи по ВЛ [5]. Особо следует отметить работы по переходным процессам в цепях защит и ВЧ-защитам Е.А. Карповича [29, с. 317].

Стремление к упрощению высокочастотных защит и желание избежать применения целого ряда устройств, таких как блокировки, предотвращающие неправильные действия направленных высокочастотных защит при качаниях, блокировки при нарушении цепей напряжения и органов направления мощности, послужили поводом к тому, что с 1938 г. начались разработки дифференциально-фазных защит. Эти работы велись на Харьковском электромеханическом заводе (ХЭМЗ), а также в ОРГРЭС и Институте «Теплоэлектропроект» (ТЭП). В 1941 г. на ХЭМЗ были выпущены первые опытные образцы дифференциально-фазных защит типа КРЗ-151 под руководством А.П. Плешко [4, с. 16].

В 1940 г. на заводе «Красная заря» группой инженера А.М. Круглякова

были разработаны промышленные образцы ВЧ-приемопередатчиков защиты, однако их серийному выпуску помешала Великая Отечественная война [2, с. 5].

В 1941 г. в энергосистемах нашей страны было введено 42 ВЧ-канала по ВЛ. Одновременно стала проводиться работа по вводу в эксплуатацию каналов большой протяженности: Мурмаши — Оленья — Кандалакша (Колэнерго), Горловка — ЗУГРЭС — ШтерГРЭС (Донбассэнерго), ПС15-ГРЭС-VIII — ГЭС-VI (Ленэнерго) [6, с. 150].

В 1943 г. Г.Н. Тер-Тазаряном и Г.К. Ткешелашвили из Тбилисского НИИ сооружений и гидроэнергетики (ТНИСГЭИ) были предложены для сравнения фаз токов по концам линии комбинированные фильтры тока $I_1 + kI_2$ с целью улучшения условий сравнения фаз токов по концам линии при замыкании между двумя фазами [4, с. 16].

С 1945 г. в Центральной научно-исследовательской электротехнической лаборатории Министерства электростанций СССР (ЦНИЭЛ МЭС) под руководством В.П. Пименова (до 1947 г.) началась разработка ВЧ-защиты на основе дифференциально-фазного принципа [2, с. 5]. По ее окончании, в 1948 г., была изготов-



Рис. 4
Панель защиты ДФЗ-2
с приемопередатчиком ПВЗК

лена защита типа ДФЗ 1, предназначенная для линий относительно небольшой протяженности с пусковыми органами, выполненными на электромагнитных токовых реле, с относительно низкой чувствительностью [4, с. 16]. С 1947 г. разработку продолжил Е.Д. Сапир. Эта работа завершилась в 1953 г. промышленным выпуском ВЧ-защиты типа ДФЗ-2 (рис. 4) [2, с. 5], предназначенной для ВЛ 110–220 кВ с трехфазным и однофазным отключением. Время действия этой защиты составляет 40–80 мс [4, с. 16].

В 1947 г. в секторе релейной защиты института «Теплоэлектропроект», руководимым А.М. Федосеевым, была разработана фильтровая направленная ВЧ защита (авторы предложения Г.И. Атабеков и Я.М. Смодинский). Промышленный выпуск этой защиты типа ПЗ-161 (в дальнейшем ПЗ-164) был начат в 1948 г. на Чебоксарском электроаппаратном заводе (ЧЭАЗ).

С 1948 г. началось производство заградителей типа КЗ-500. К заградителю КЗ-500 выпускался элемент настройки типа ЭНВЗ. С 1952 г. вместо ЭНВЗ стали делать элементы ЭН-1 и ЭН-2, причем ЭН-1 предназначался для одночастотной настройки. Для двухчастотной настройки требовались оба элемента. С 1955 г. стали производить элемент ЭН 3, совмещавший в себе функции ЭН-1 и ЭН-2 [22].

С 1948 г. одновременно с выпуском релейных панелей ПЗ 161, приемопередатчиков ПВЗ 48 (в дальнейшем ПВЗ 50), фильтров присоединения ОФП 4, заградителей типа КЗ 500 началось широкое внедрение ВЧ-защит в энергосистемы Советского Союза [2, с. 5]. В 1952 г. производство приемопередатчиков ПВЗ 50 было прекращено и начат выпуск приемопередатчиков типа ПВЗК (также разработки ЦНИЭЛ) [7, с. 192].

Быстрое развитие техники ВЧ-связи по ВЛ имело место в 1954–1956 гг. в связи с сооружением линии электропередачи 400 кВ (впоследствии 500 кВ) Москва — Куйбышев протяженностью 900 км. Во ВНИИЭ был разработан комплекс специальной ВЧ-аппаратуры для этих линий, в том числе приемопередатчики ВЧ-защиты ПВЗ-400, высокочастотные заградители ВЗ 2000/400 (Л.А. Мастрюков, К.К. Корешок) и фильтры присоединения ФП-400; промышленный выпуск этой аппаратуры был начат с 1956 г. Под руководством Е.Д. Сапира были созданы дифференциально-фазные защиты ДФЗ-400М (ДФЗ-401) для протяженных магистральных линий 400 кВ и ДФЗ-400К (ДФЗ-402) для кольцевых линий. В дальнейшем на базе этих ВЧ-защит были разработаны защиты ДФЗ-503 (для протяженных) и ДФЗ-504 (для коротких) линий 330–500 кВ [2, с. 6]. Большое участие в создании защит ДФЗ-201, ДФЗ-503, ДФЗ-504 и их более ранних версий принимали работники ЧЭАЗ: С.Б. Евстропов, В.С. Алексеев, Ху Эр Юн, В.А. Дашкиев, Р.З. Розенблюм, Г.П. Варганов и др. [4, с. 17].

Освоение первой в мире линии электропередачи 400 кВ Москва — Куйбышев неразрывно связано с созданием экспериментальной базы ОРГРЭС в Хотьково, где к 1952 г. был сооружен опытный участок линии 400 кВ. Испытание опор, фундаментов, арматуры и других элементов позволило отработать основные конструктивные решения этой и последующих линий электропередачи 500–750 кВ (Б.П. Белоус, А.И. Малышев, В.А. Забегалов, Е.Н. Загрядский) [23].

В 1959 г. приемопередатчики ПВЗ-400 были заменены на приемопередатчики типа ПВЗД, которые допускают работу на разных частотах передачи и приема. Фильтры присоединения ФП-400 были заменены серией ФП 500 для ВЛ 500 кВ.

В 1973 г. фильтры ОФП-4 и ФП 500 были заменены серией фильтров, сначала ФП, затем ФПУ, которые обеспечивают присоединение к ВЛ всех классов напряжения от 110 до 750 кВ, а также к грозозащитным тросам [22].

В 1950-е гг., с освоением нового класса напряжения 400–500 кВ и сооружением первых дальних линий электропередачи указанных напряжений ВЧ связи по ВЛ. В этот период специалисты ВНИИЭ Я.Л. Быховский, Г.В. Микуцкий, М.А. Кальманович, В.С. Скитальцев и др. совместно с работниками предприятий Минрадиопрома и Минэлектротехпрома СССР разработали и освоили промышленный выпуск комплекса аппаратуры ВЧ-каналов по ВЛ, устройств обработки и присоединения к ВЛ. Специалисты В.Г. Каган, Р.Г. Книжник, Г.В. Микуцкий, И.И. Цитвер, Ю.П. Шкарин и др. впервые внедрили новые ВЧ-тракты по изолированным проводящим грозозащитным тросам, изолированным проводам расщепленных фаз (внутрифазным трактам), изолированным проводам расщепленных грозозащитных проводящих тросов (внутриросовым трактам). Специалисты Н.Т. Бабарев (Ростовский опытный завод), Н.А. Ульяновский (ЦНИЭЛ ВНИИЭ), А.И. Малышев, Б.П. Белоус, В.Е. Ефремов, В.Э. Сапирштейн (ОРГРЭС), Д.С. Метрикин (Гипросельхоз) внесли значительный вклад в оснащение распределительных электрических сетей аппаратурой ВЧ-связи. Специалисты Р.А. Израилев, А.И. Малышев и Ю.П. Шкарин внесли существенный вклад в технику устройств обработки и присоединения [5]. Многоценных предложений дали Н.В. Виноградов, М.И. Гурарий, В.Г. Гольдберг, В.А. Семенов, К.А. Бринкис, А.А. Кудрявцев, М.А. Розенбаум, В.И. Дорофеев. В это же время появились первые научные теоретические работы о фазовых соотношениях при повреждениях в защищаемой

зоне и однофазных коротких замыканиях (КЗ) с разрывом фазы (Г.И. Атабеков), о компенсации емкостных токов в ДФЗ (Е.Д. Сапир) и о релейной защите линии с ответвлениями (А.Н. Кожин, В.А. Рубинчик) [4, с. 16–17]. Особо следует отметить работы советских ученых (М.В. Костенко Л.С. Перельмана, Ю.П. Шкарина) при создании теории распространения электромагнитной энергии по проводам ВЛ, в первую очередь, в части разработки модальной метода расчета ВЧ-параметров ВЛ 330–1150 кВ переменного и ВЛ 1500 кВ постоянного тока [5].

В 1970-е гг. специалисты В.А. Рубинчик, А.Н. Кожин и на начальных этапах А.Б. Чернин под руководством А.М. Федосеева разрабатывали руководящие указания по проектированию дифференциально-фазной ВЧ-защиты линий 110–330 кВ и типовые проекты. В них были использованы материалы, подготовленные А.М. Раковичем и Г.В. Бердовым. Специалисты В.М. Ермоленко, С.Я. Петров, Т.Н. Дороднова, Е.В. Лысенко, Г.А. Четверченко, С.Г. Толстов, Т.Л. Бахвалова, Н.П. Малеванная, Е.П. Цяцко и др. принимали участие в обсуждениях и принятии решений по отдельным вопросам развития основных защит линий и развитию ВЧ-связи для них [4].

Приблизительно с 1957 г. в качестве нетиповых решений в энергосистемах дистанционных направленных защиты (ПЗ-156, ПЗ-159) начали дополнять устройствами ВЧ-блоков. В дальнейшем начался промышленный выпуск приставок ПВБ для ВЧ-блокировок дистанционных защит, а с 1969 г. ЧЭАЗ начал выпуск типовой панели дистанционной защиты с ВЧ-блокировкой ЭПЭ-1643-69.

Первые работы по выполнению дифференциально-фазной защиты на полупроводниковых приборах

были проведены в лаборатории управляющих машин и систем АН СССР под руководством О.В. Мамонтова и опубликованы в 1958 г. [4, с. 17].

С 1957 г. во ВНИИЭ под руководством Г.В. Микуцкого были начаты разработки приемопередатчика ВЧ-защиты на транзисторах. Опытный образец такого приемопередатчика был включен в эксплуатацию в 1958 г. в Мосэнерго с защитой ДФЗ-2 [2, с. 6]. В СССР в 1959–1961 гг. в лаборатории релейной защиты высокочастотной связи ВНИИЭ проводились исследования по комплексному использованию полупроводниковых приборов в дифференциально-фазной защите. Разработка полупроводниковой релейной части защиты велась во ВНИИЭ Р.Н. Соколовой и в Чувашском электротехническом научно-исследовательском институте (ЧЭТНИИ, позднее переименован во ВНИИР) В.А. Сушко под общим руководством Г.Г. Якубсона [9]. Высокочастотную часть защиты создали М.А. Кальманович и В.С. Цукерман под руководством Г.В. Микуцкого. Конструктивная разработка защиты проводилась вначале на ЧЭАЗ, а затем была передана в ЧЭТНИИ, где под руководством С.Б. Евстропова этим занималась группа инженеров, в которую входили В.А. Сушко и В.А. Березин [4, с. 17].

По окончании этой работы в 1962 г. ЧЭАЗ выпустил партию защит ДФЗП-1 (рис. 5) для опытной эксплуатации. Первые два полуккомплекта ДФЗП-1 были установлены на ВЛ 110 кВ в Челябинэнерго в мае 1963 г. В 1964 г. эти защиты были установлены в Свердловэнерго, а в 1965 г. — на ВЛ 110 кВ в Мосэнерго и Донбассэнерго [4, с. 18].

Дифференциально-фазная высокочастотная защита на полупроводниковых приборах типа ДФЗП-1

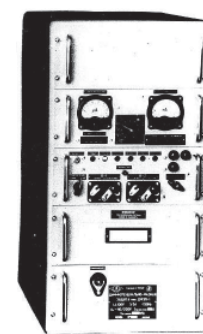


Рис. 5
Дифференциально-фазная защита ДФЗП-1

предназначена для применения в качестве основной защиты линий в сетях 110–220 кВ с большими токами замыкания на землю. В состав комплектного устройства входят высокочастотная и релейная части. Все блоки устройства соединяются между собой и остальной частью схемы посредством штепсельных разъемов. В комплект защиты входит также специальное устройство для автоматической проверки исправности высокочастотного канала.

С 1959 г. также началось создание транзисторной ВЧ-защиты НВЗП (направленная ВЧ-защита разработки института «Теплоэлектропроект»). В защитах ДФЗП и НВЗП высокочастотная и релейная части были собраны в единую конструкцию. Комплекты этой партии были установлены в Челябинэнерго, Свердловэнерго и Донбассэнерго. Однако широкого промышленного выпуска защит ДФЗП и НВЗП организовано не было, хотя опыт эксплуатации подтвердил их высокую эксплуатационную надежность [2, с. 6].

Транзисторные приемопередатчики защиты несколько раз модифицировались в связи с прогрессом технологии изготовления полупроводниковых элементов. Универсальный приемопередатчик защиты на транзисторах (типа АЗВ) был разработан под руководством В.П. Носика, но широкого распространения по разным причинам не получил [7, с. 192].

Направленная защита линий с ответвлениями типа НФЗО-1 разрабатывалась во ВНИИЭ Л.С. Зисманом под руководством Я.С. Гельфанда и была установлена для опытной эксплуатации на ВЛ 154 кВ в Днепрэнерго в 1968 г. По результатам опытной эксплуатации работа была продолжена в ЧЭТНИИ-ВНИИР (Л.С. Зисман, Ю.Н. Алимов, Н.А. Яриз, конструкция С.Б. Евстропова) и закончилась созданием защиты НФЗО-2, также установленной для опытной эксплуатации в Днепрэнерго в 1970 г. (рис. 6). На ее основе впоследствии была создана современная на тот момент защита типа НФЗ-204 с использова-

нием логических элементов серии «Т», принятая межведомственной комиссией [10]. Однако серийный выпуск панелей освоен не был, так как к этому времени элементная база устарела. Новая разработка направленной ВЧ-защиты с применением микросхем (ПДЭ 2802 [17]) была освоена ЧЭАЗ в 1981 г. и выпускалась значительным тиражом вплоть до 2000 г.

В конце 1960-х гг. под руководством Е.Д. Сапира была проведена модернизация защиты ДФЗ-2. Панель защиты стала выпускаться ЧЭАЗ под названием ДФЗ-201 (рис. 7 на с. 60). Модернизации под-



Рис. 6
Л.С. Зисман у панели НФЗО-2, Днепрэнерго, 1970 г.

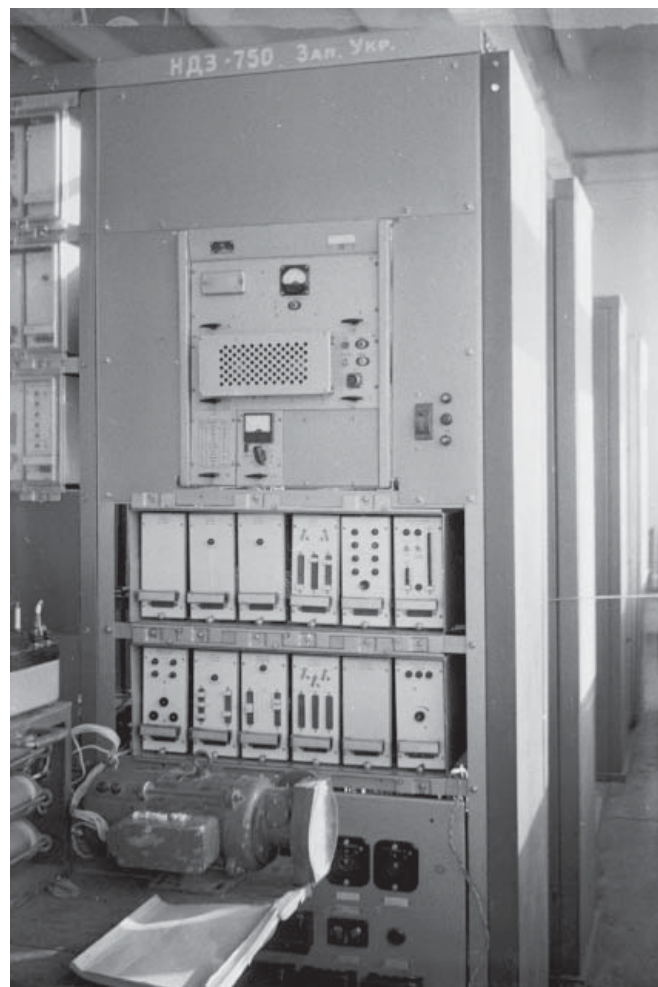


Рис. 7
Панель ДФЗ-201 [14]

верглись также защиты ДФЗ-503 и ДФЗ-504. Время действия этих защит уменьшилось до 40 мс. Позже Г.Г. Якубсон предложил использовать дуальные фильтры обратной последовательности в цепях тока и напряжения, что обеспечило правильную работу устройства компенсации емкостного тока ВЛ. Предложения В.С. Гусева и Р.Н. Соколовой обеспечили правильную работу блокировки защит линии 330–750 кВ при нарушениях в цепях напряжения. Оба варианта использовали в модернизированной версии защиты 500 кВ. Все эти защиты в общей сложности выпускаются уже более 60 лет на ЧЭАЗ, в том числе более 50 лет — серия ДФЗ-500.

В 1969–1974 гг. во ВНИИЭ под руководством А.И. Левиуша была создана комбинированная фильтровая направленная и дифференциально-фазная ВЧ-защита. Эта защита используется в полнофазном режиме работы ВЛ как фильтровая направленная с ВЧ-блокировкой. Действие защиты при КЗ на ВЛ в цикле ОАПВ обеспечивается переключением в дифференциально-фазный режим. В создании этой защиты принимали участие сотрудники ВНИИЭ: Е.Д. Сапир,

Рис. 8
Панель НДЗ 750 производства ВНИИР с прототипом ВЧ-приемопередатчика АВЗК-80, Винница, 1977 г.



Я.С. Гельфанд, Л.Н. Медведева, Л.С. Зисман (см. рис. 6 на с. 59) и др. Опытные комплекты защиты ВНИИЭ были установлены в Донбассэнерго и Днепрэнерго в 1975 г. С использованием указанного принципа во ВНИИР совместно с ВНИИЭ в 1973–1977 гг. была создана панель быстродействующей высокочастотной защиты типа НДЗ-750М с применением интегральных схем, первые образцы которой были установлены в качестве основной защиты на ВЛ 750 кВ «Винница — Западноукраинская — Альбертирша» (Венгрия) (рис. 8). Основными разработчиками со стороны ВНИИР были Н.А. Дони и Л.А. Надель. В дальнейшем серийное производство таких защит, получивших сначала название НДЗ-751, а затем

переименованных в ПДЭ 2003 [18], было освоено на ЧЭАЗ [4, с. 18].

В 1970 г. приемопередатчики ПВЗК и ПВЗД были заменены на универсальный приемопередатчик типа УПЗ-70 (рис. 9), который стал бесспорным лидером по выпуску в свое время [2, с. 6]. С начала 1980-х гг. Одесский завод «Нептун» перешел на выпуск полупроводниковой аппаратуры АВЗК-80 (разработчик Е.П. Штемпель, М.А. Кальманович, ВНИИЭ) (рис. 10) с автоматическим контролем АК-80. К началу 1990-х гг. в России находилось в эксплуатации несколько тысяч ламповых постов ПВЗК, УПЗ-70, ПВЗД, которые морально и физически устарели, требовали незамедлительной замены [8, с. 6].

В 1985 г. под руководством В.С. Скипальцева был создан приемопередатчик ПВЗ-90М, в котором приемная часть работала с преобразованием частоты. Это дало возможность повысить избирательность приемника. Новый приемопередатчик выпускался Могилевским заводом «Зенит» [20].

В 1991 г. в Одессе малым частным предприятием «Ива» (М.Г. Тяпкин, В.Г. Друмов, А.В. Михальский, Н.А. Шевченко), созданным из сотрудников одесского СКБ «Молния» на территории завода «Нептун», была начата разработка поста высокочастотной защиты ПВЗ, успешно эксплуатируемый с 1992 г. С 1999 г. успешно внедрен пост ВЧ-защиты



Рис. 9. Устройство УПЗ-70 [12]



Рис. 10
Устройство АВЗК-80 и АК-80 [13]

ПВЗ-ТО с возможностью передачи пяти сигналов телеотключения, с 2000 г. — ПВЗ с злом АКМ, обеспечивающим контроль канала связи, на одном (двух) из концов которого установлена аппаратура ПВЗ-90 [27, с. 127].

В 1991 г. в Екатеринбурге компанией «Уралэнергосервис» под руководством В.И. Босенко совместно с заводом «Криптон» по инициативе ведущих специалистов служб РЗА уральских энергосистем началась разработка универсального высокочастотного аппарата для замены ранее выпускаемой аппаратуры: ПВЗК, ПВЗД, УПЗ-70, АВЗК-80. Аппаратура ПВЗУ создавалась с учетом устранения недостатков, которые были найдены в ранее выпускаемой аппаратуре. Технические решения, принимаемые еще на стадии разработки аппаратуры, были направлены на достижение максимального соответствия важнейшим показателям качества: универсальность применения, удобство в эксплуатации, высокая помехоустойчивость и высокая надежность [8, с. 6].

Создание аппаратуры ПВЗУ было закончено в 1993 г. В 1994 г. аппаратура прошла межведомственную комиссию (МВК). Серийное производство началось в 1995 г., и до 2000 г. было выпущено около 1000 полуккомплектов, которые были установлены в России и за рубежом [8, с. 6]. В 2000 г. была закончена

модернизация ПВЗУ и организован серийный выпуск аппаратуры ПВЗУ-Е (А.Л. Горохов, А.Г. Смирнов, А.А. Луленко), который продолжается по настоящее время [28].

Первая отечественная микропроцессорная ДФЗ ВЛ 110–220 кВ типа ШЭ2607 081, созданная НПП «ЭКРА», была установлена для опытной эксплуатации в начале 2002 г. (рис. 11 на с. 62). В 2003 г. в эксплуатации поступила ДФЗ ВЛ 500 кВ типа ШЭ2710 581, также созданная в НПП «ЭКРА». Общее руководство работами осуществлял Н.А. Дони при участии в качестве консультанта А.И. Левиуша. Всего на конец 2016 г. в эксплуатации находилось свыше 3000 ДФЗ НПП «ЭКРА» [4, с. 19].

Что касается дальнейшего совершенствования и развития ДФЗ в нашей стране, то в начале 2013 г. на НПП «ЭКРА» закончена разработка микропроцессорной версии защиты ПДЭ 2003 со временем действия до 25 мс — шкаф НДЗ типа ШЭ2710 538 (рис. 12 на с. 62). Сообщение об этом было сделано ее авторами на 2-й Международной научно-практической конференции «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России» («РЕЛАВЭКСПО-2013») [4, с. 20].

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОСНОВНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ПО ПРОВОДНОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ

В начале 1930-х гг. американской компанией Westinghouse была разработана дифференциальная защита линии с проводным каналом связи типа НСВ (рис. 13 на с. 62, рис. 14 на с. 63), а в конце 1930-х гг. Харь-



Рис. 11
Первый шкаф
микропроцессорной ДФЗ
производства ва НПП «ЭКРА»
с ВЧ-постом типа ПВЗ-90М1



Рис. 12. Шкаф типа ШЗ2710 538

ковский электромеханический завод (ХЭМЗ) повторил ее под названием «реле дифференциальное линии» (РДЛ). Сразу после Великой Отечественной войны релейщики СССР проявили большой интерес к защите НСВ (И.И. Соловьев, М.А. Беркович, Н.В. Чернобровов) [9, с. 7].

После Великой Отечественной войны, в 1950-х гг., на ЧЭАЗ начались конструктивная разработка и подготовка к производству дифференциальной защиты линии с проводным каналом связи типа ДЗЛ-1 (рис. 15) совместно с релейными лабораториями «Теплоэлектропроекта» и ВНИИЭ. На последних стадиях создание защиты происходило с участием ЦЛЭМ Мосэнерго. Серийное производство ДЗЛ-1 освоено в начале 1961 г. ЧЭАЗ. Продольная дифференциальная защита линий типа ДЗЛ-1 предназначена для работы в качестве основной защиты от всех видов КЗ линий электропередачи небольшой протяженности (до 15 км) в сетях с большими и малыми токами замыкания на землю. Защита построена по известному принципу циркуляции тока во вспомогательных проводах в нормальном режиме работы электропередачи и при внешних КЗ.

В отличие от эксплуатируемых в энергосистемах СССР продольных дифференциальных защит типа НСВ

компании Westinghouse и типа РДЛ Харьковского электромеханического завода, защита типа ДЗЛ-1 имела более высокую чувствительность при трехфазных КЗ. В связи с этим в защите применен быстродействующий автоматический контроль исправности вспомогательных проводов, который при обрыве последних блокирует защиту. В защите ДЗЛ-1 применены поляризованные реле типа РП-7, германиевые выпрямители и газонаполненные стабилизаторы напряжения. Применение этих элементов обеспечивает стабильность характеристик защиты [9, с. 7; 15, с. 2].

По воспоминаниям С.Я. Петрова, все вопросы, связанные с защитой ДЗЛ-1, обсуждались с куратором этой разработки С.Б. Евстроповым, в его бытность начальником конструкторского бюро, а потом, для принятия окончательного решения, выносились «на суд» Главного



Рис. 13. Защита НСВ, Westinghouse, 1938 [19]

28 Scheme using HCB, Westinghouse, 1938

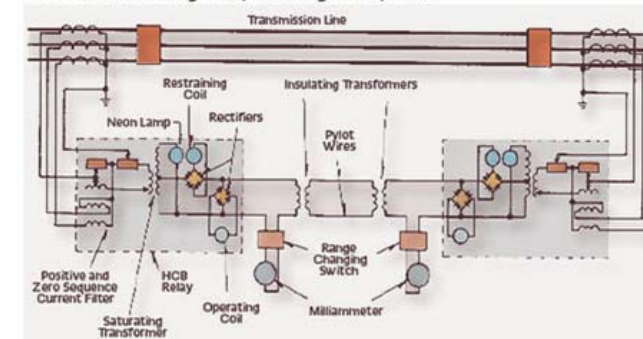


Рис. 14
Схема работы защиты НСВ,
Westinghouse, 1938 [19]

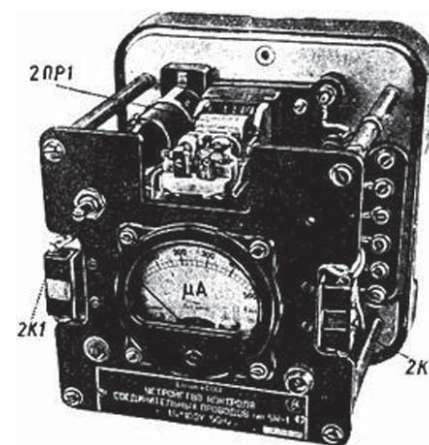


Рис. 15. Устройство ДЗЛ-1 [15, с. 9]

конструктора по релейной защите ЧЭАЗ Г.Ф. Эдельштейна, а после его ухода на пенсию — М.Б. Цфасмана. Оба они — бывшие ХЭМЗовцы. Техническое задание на создание всех этих защит готовилось в институте «Теплоэлектропроект», а потом в «Энергосетьпроект» (ЭСП). Большой вклад в развитие теории и практики продольных ДЗЛ внесли такие советские ученые, как Г.И. Атабеков, А.Д. Дроздов, В.Л. Фабрикант, С.Я. Петров, А.Б. Чернин, Г.Т. Грек и др. [9, с. 7–8].

В конце 1960-х гг. в ЧЭТНИИ (позже ВНИИР) началась разработка защиты ДЗЛ-2 (рис. 16), которой руководил В.А. Борисов. Затем она была передана на ЧЭАЗ. Р.З. Розенблюм также принимала активное участие во всех «баталиях» по ДЗЛ-2 с ЭСП, ВНИИР и во время эксплуатации. Уже штучно панели ДЗЛ-2 на ЧЭАЗ

выпускались по заказам вплоть до 2012 г. Дело в том, что, когда еще во времена СССР сняли с производства поляризованные реле РП-7, использовавшиеся в пусковых и измерительных органах этой защиты, на заводе был небольшой запас поляризованных реле. Со временем он был израсходован. Хотя во всех изделиях ЧЭАЗ РП-7 заменили на полупроводниковые нуль-индикаторы, только в ДЗЛ-2 не смогли этого сделать. Эксплуатация защиты ДЗЛ-2 кое-где продолжается до сих пор и уже составляет более 50 лет [9, с. 7–8].

В 1992 г. на конференциях СИГРЭ в докладах японских специалистов появились сообщения о цифровых ДЗЛ с передачей мгновенных значений токов по цифровому каналу связи и несколько позже, в сообщениях британцев, — с передачей векторов. В иностранных энергосистемах применение цифровых

ДЗЛ началось достаточно давно, и сейчас они широко используются. Так, например, компанией ABB был создан REL-551, производить который стали с середины 1990-х гг., и RED-670, выпускают который с середины первого десятилетия 2000-х гг. [9, с. 8–9].

В ООО НПП «ЭКРА» были разработаны микропроцессорные ДЗЛ серии ШЗ2607 091-093 для ВЛ 110-220 кВ, с 2007 г. освоено их серийное производство и начата промышленная эксплуатация. Цифровая информация между полуккомплектами защиты может передаваться как по выделенным оптическим каналам связи (КС), так и впервые в практике РФ через мультиплексированные цифровые сети (в том числе с использованием стандарта IEEE C37.94). Разработка проводилась под руководством Н.А. Дони. В терминалах ДЗЛ, установленных на разных концах защищаемой линии, осуществляется синхронизация моментов взятия цифровых отсчетов аналоговых сигналов и синхронизация цифровой обработки сигналов. При наличии КС терминалы представляют собой одно устройство с единой системой сигналов. Цифровых каналов связи два — основной и резервный. Переключение из них производится автоматически. Кроме ДЗЛ, в состав шкафов входит полноценный комплект ступенчатых



Рис. 16
Устройство ДЗЛ-2 [16]



Рис. 17. Шкаф типа ШЭ2710 591

защит (КСЗ), позволяющий организовать вторую основную защиту ВЛ, при наличии дополнительной аппаратуры передачи команд по независимым КС. В функциональную схему защиты введены элементы, обеспечивающие ее правильное функционирование на многоконцевых линиях при отсутствии комплектов защиты на ответвлениях без питания. Для такого применения защита отстроена от бросков тока намагничивания и от повреждений на стороне низкого напряжения трансформаторов ответвлений [9, с. 9–10].

С 2011 г. осуществлен ряд поставок и получен опыт эксплуатации варианта ДЗЛ для трехконцевых ВЛ с тремя источниками питания. В 2012 г. закончена разработка

шкафа ДЗЛ для ВЛ 330–750 кВ типа ШЭ2710 591 (рис. 17). В состав устройства входят: ДЗЛ с цифровыми КС, КСЗ, устройство адаптивного ОАПВ с передачей команд по «своим» КС или через дополнительную аппаратуру передачи команд по независимым КС [9, с. 10]. В настоящее время в эксплуатации находится около 2000 шкафов ДЗЛ производства НПП «ЭКРА».

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЧ-ТЕХНИКИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ АВАРИЙНЫХ СИГНАЛОВ И КОМАНД РЗ И ПА

В 1950-х гг. в связи со строительством Куйбышевской и Волгоградской ГЭС и сверхдлинных ЛЭП 400 и 500 кВ между этими ГЭС и Москвой возникла проблема создания специальной противоаварийной автоматики (ПА). Для передачи информации в этой системе решено было использовать каналы ВЧ-связи по ВЛ [20].

Разработку и производство технических средств для каналов ВЧ-связи осуществлял межотраслевой научно-производственный комплекс, в составе лаборатории ВЧ-связи ВНИИЭ, СКБ «Молния» и завода «Нептун» (г. Одесса). Лаборатория ВЧ-связи сформулировала принципы выполнения каналов различного назначения и определила их основные параметры, СКБ «Молния» — схемы и конструкции аппаратуры, а завод «Нептун» осуществлял ее промышленный выпуск [20].

Во ВНИИЭ руководителем работы по каналам автоматики и защиты был Г.В. Микуцкий, В.С. Скитальцев

создавал аппаратуру для передачи команд ПА. К этой аппаратуре предъявлялись весьма высокие требования в части быстродействия, безопасности и надежности передачи. В итоге были разработаны принципы передачи сигналов команд, структура построения передающей приемной частей аппаратуры, методика расчета помехозащитности приемной части, рассчитаны оптимальные параметры основных элементов схем, обеспечивающие выполнение предъявляемых требований [20]. Первая аппаратура для передачи отключающих сигналов типа УТО была включена в эксплуатацию в 1958 г. на ВЛ 500 кВ Владимир — Арзамас. Далее было создано несколько модификаций подобной аппаратуры (ТО-1; ТО-5). В 1965 г. был начат промышленный выпуск высокочастотной аппаратуры телеотключения (ВЧТО), передававшей пять команд. С 1969 г. вместо аппаратуры ВЧТО на лампах начали выпускать аппаратуру ВЧТО-М на транзисторах (рис. 18) [2, с. 7].



Рис. 18. Аппаратура ВЧТО-М

Было выпущено несколько десятков комплектов этой аппаратуры для ЛЭП 220–500 кВ. Это позволило создать новые виды систем противоаварийной автоматики. Аппаратурой ВЧТО-М были оснащены все межведомственные ЛЭП страны [6, с. 151].

В связи с усложнением требований к системам противоаварийной автоматики, в том числе увеличением числа команд, перекрываемого затухания, уменьшением времени передачи команд, возникла необходимость разработки новой аппаратуры для передачи сигналов команд. В результате под руководством В.С. Скитальцева был создан комплекс аппаратуры АНКА-АВПА (рис. 19 на с. 66), выпуск которой начался в 1978 г. Эта аппаратура позволяла передавать 14 сигналов-команд, что обеспечивало гибкое дозирование управляющих воздействий в системе противоаварийной автоматики [6, с. 151–152]. В.Ф. Чесноковым были предложены и реализованы технические решения по организации двухчастотного последовательного кодирования команд в аппаратуре АНКА-АВПА, что позволило увеличить число передаваемых сигналов-команд до 24 [21].

Несколько сотен комплектов аппаратуры АНКА-АВПА были установлены в центрах противоаварийного управления региональных энергообъединений на всей территории СССР. Большая часть этих комплектов находится в эксплуатации до настоящего времени [20].

Разработки аппаратуры телепередачи фазы начались во ВНИИЭ в 1959 г. в связи с необходимостью обеспечить автоматическое регулирование асинхронизированных генераторов Иовской ГЭС Колэнерго. Первый канал телепередачи фазы был создан в 1961 г. на линии 110 кВ. В 1963 г. на аппаратуре ВНИИЭ создан канал телепередачи

фазы на ВЛ 500 кВ в Иркутскэнерго [2, с. 7].

Начиная с 1960 г., во ВНИИЭ под руководством В.С. Скитальцева велись разработки аппаратуры для телепередачи вектора напряжения промышленной частоты для целей учета потерь в сетях в системе автоматического регулирования частоты и активной мощности (САУР ЧМ) [7, 193]. Эта работа завершилась созданием сети каналов телепередачи фазы в южных энергосистемах. Однако система САУР ЧМ в дальнейшем была признана неперспективной, и аппаратура телепередачи вектора не была передана в промышленное производство. Долгое время оставалась неясной также область применения телепередачи фазы, и только с 1970 г. началось проектирование систем противоаварийной автоматики, составной частью которой является телепередача фазы.

С 1990 г. выпускалась аппаратура АНКА-В. Это модификация аппаратуры АНКА-АВПА, состоящая из передатчика и приемника, которые обеспечивают быструю передачу и прием сигналов-команд, а также фазы напряжения промышленной частоты или сигналов телеинформации [7, с. 213].

В начале 2000-х гг. был организован выпуск устройств передачи сигналов команд РЗ и ПА УПК-Ц (А.Г. Чирков, Ю.Г. Чирков) и АКА «Кедр» (В.И. Босенко, А.Г. Смирнов, А.Л. Горохов). С 2004 г. началась разработка совмещенной аппаратуры для передачи ВЧ-сигналов и команд релейной защиты (В.С. Скитальцев).

С 2013 г. был начат выпуск устройств передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК) с использованием цифровых каналов связи. Это линейка устройств ШЭ2607 091/32К [11] и ШЭ2607 091/64К, позже модернизированных и получивших за-

ВРЕЗ



Рис. 19
Аппаратура АНКА-АВПА

водские наименования ШЭ2607 096 (на 16 команд) и ШЭ2607 097 (на 32 команды).

В настоящее время ведутся работы по совершенствованию и расширению номенклатуры устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики и систем связи в электроэнергетике с целью решения любых задач «под ключ».

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ ДЛЯ НУЖД ДИСПЕТЧЕРСКОГО И ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В 1960–1970-х гг. был создан и начат выпуск комплекса аппаратуры каналов телефонной связи, телемеханики и передачи данных по ВЧ-каналам системообразующих ЛЭП сверхвысокого напряжения. Для организации магистральных каналов связи по системообразующим линиям электропередачи была разработана 12-канальная аппаратура связи, работающая в основном по тросовым каналам [6, с. 152].

В 1980-х гг. на смену снятой с производства пришла новая комбинированная аппаратура для магистральных каналов связи по ЛЭП 220–750 кВ и ЛЭП 35–220 кВ, в которой имелась упрощенная автоматика, обеспечивающая вызов одного абонента телефонного канала. Тогда же была создана и внедрена аппаратура каналов телемеханики, которая позволяла организовать до шести каналов телемеханики [6, с. 152].

В 1970–1980-х гг. проводилась большая работа по расширению произ-

водственных мощностей основного выпускающего предприятия — одесского завода «Нептун» — за счет средств Минэнерго СССР. В связи с постоянным увеличением объема производства аппаратуры ВЧ-связи по ЛЭП основным и практически единственным координатором этой важнейшей работы был заместитель начальника службы телемеханики и связи ЦДУ ЕЭС России Н.П. Красовицкий [6, с. 152].

С 1975 г. началось успешное сотрудничество с югославской фирмой «Искра» в части создания и внедрения в электроэнергетике комплекса ВЧ-оборудования связи. В комплекс входили: 12-канальная система передачи, усилитель мощности и ВЧ-преобразователь, разработанный и изготовленный фирмой «Искра» при непосредственном участии специалистов ЦДУ ЕЭС России (В.В. Мороз, В.Т. Лаврушин), ВНИИЭ (Ю.П. Шкарин) и института «Энергосетьпроект» (В.Х. Ишкин, И.И. Цитвер, В.В. Серебряный, Б.А. Жучков). Данная аппаратура была предназначена для организации ВЧ-каналов связи по ЛЭП 110 кВ и выше для получения линейного спектра частот в диапазоне 16–620 кГц [6, с. 152].

В 1967 г. Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР 11 министерствам (МПС, Минэнерго СССР, Мингазпрому СССР, Миннефтепрому СССР и др.) было дано разрешение на создание собственных магистральных отраслевых сетей связи. В соответствии с подготовленным генеральной проектной организацией — институтом «Энергосетьпроект» (В.Х. Ишкин, В.А. Серебряный) планом развития средств связи, предусматривалось в течение 15–20 лет построить три крупнейшие магистральные кабельные линии связи (МКЛС):

1. Северо-Западную, проходящую через территории, обслуживаемые Мосэнерго, Тулаэнерго,

2. Южную, проходящую через территории, обслуживаемые Мосэнерго, Рязаньэнерго, Воронежэнерго, Донбассэнерго, Киевэнерго;
3. Восточную, проходящую через территории, обслуживаемые Мосэнерго, Владимирэнерго, Горэнерго, Куйбышевэнерго [6, с. 152–153].

Первую крупную МКЛС начали сооружать в Мосэнерго еще в начале 1970-х гг. с использованием четырехчетверочных симметричных кабелей, уплотняемых системами К-60 (рис. 20 на с. 68). Ее проектная мощность составляла 480 аналоговых каналов. В тот же период приступили к строительству Южной магистрали на участке Киев — Артемовск с применением аналогичных кабелей и аппаратуры [5].

В 1988 г. была введена в эксплуатацию Северо-Западная магистраль протяженностью более 2000 км, проходящая через энергосистемы ОЭС Центра и Северо-Запада, на которой впервые в СССР была установлена аппаратура К 300 и БК-960 на коаксиальных кабелях. Одновременно была создана разветвленная кабельная сеть в ОЭС Северо-Запада, Урала, Юга и других энергообъединениях [5].

Широко использовалось также кооперативное строительство МКЛС вместе с другими министерствами. Для сооружения МКЛС в Минэнерго СССР был создан специализированный строительный-монтажный трест «Энергостроймонтажсвязь» во главе с М.Н. Борзовым [6, с. 153].

Существенный вклад в создание кабельной сети отрасли внесли специалисты ЦДУ ЕЭС России, Института «Энергосетьпроект» и его отделений, некоторых ОДУ и энерго-

систем В.В. Айзенберг, М.А. Артибилов, У.М. Берзиньш, И.С. Беспалов, В.Х. Ишкин, А.И. Кочетков, К.Е. Михайлов, В.В. Мороз, М.Я. Поляк, А.И. Шакенас, Г.А. Якимов и др. [6, с. 153].

Радиорелейные линии (РРЛ) связи начали сооружаться в нашей стране с середины 1950-х гг. как наиболее прогрессивный вид связи. На первом этапе внедрялись в основном одноканальные РРЛ на аппаратуре РРС-1М (рис. 21 на с. 69). В 1960-х гг. в соответствии с требованиями отечественных специалистов венгерской промышленностью был начат выпуск радиорелейной аппаратуры, которая внедрялась практически во всех энергосистемах страны. Затем совместно с венгерскими специалистами была разработана новая 32-канальная аппаратура ДМ 400/32 [5], переведенная в дальнейшем на новую сетку частот 390–470 МГц [6, с. 154].

В 1988 г. была введена в опытную эксплуатацию первая в отрасли цифровая РРЛ на 2 Мбит/с, работающая в диапазоне 1,9–2,1 ГГц [6, с. 154].

Радиорелейные линии широко применялись в электроэнергетике для организации внутрисистемных каналов связи. Они также сооружались вдоль магистральных ЛЭП сверхвысокого и ультравысокого напряжений с целью их комплексного использования для передачи данных, телефонной связи, телемеханики, организации линейно-эксплуатационной связи. Радиорелейные линии связи организовывались, главным образом, в районах, труднодоступных для строительства КЛС. Для организации РРЛ в основном использовались частоты в диапазонах 400 (ДМ-400/32) и 8000 МГц (ДМ-8000/32) [6, с. 154]. На 1 января 2000 г. в эксплуатации находилось более 2500 радиорелейных станций [6, с. 166].

Большую работу по внедрению в электроэнергетике РРЛ провели специалисты «Энергосетьпроект», «Сельэнергосетьпроект» и ВНИИЭ, ЦДУ ЕЭС России, ряда ОДУ и энергосистем С.С. Агафонов, А.В. Вержболович, С.Р. Дмитриев, В.Х. Ишкин, А.Л. Лютиков, Д.С. Метрикин, В.Л. Плотников, В.В. Тараничев, В.И. Тимченко, И.Р. Широкустип и др. [6, с. 154].

Ультракратковолновая (УКВ) радиосвязь, внедрение которой началось в 1960-х гг., сыграла важную роль в обеспечении надежного энергоснабжения потребителей. Основа внедрения УКВ-радиосвязи в энергосистемах была заложена в решении Научно-технического совета Минэнерго СССР от 28 октября 1965 г., в котором были выдвинуты принципиально новые требования к организации УКВ-радиосвязи на предприятиях электрических сетей. В соответствии с этим решением в институте «Энергосетьпроект» были разработаны рекомендации по широкому использованию УКВ-радиосвязи в эксплуатационном обслуживании радиосвязи [6, с. 154–155].

В 1969 г. в ОРГРЭС прошел семинар, на котором были рассмотрены результаты работы предприятий и организаций в области внедрения УКВ-радиосвязи в энергосистемах, в том числе первый опыт применения венгерских радиостанций типа ФМ в Литовглавэнерго (В.Ю. Булавас), Белглавэнерго (А.В. Вержболович) и Чувашэнерго (В.А. Власов), предложения специалистов ОРГРЭС по увеличению дальности радиосвязи путем приема радиоканалов на проводные каналы, возможности и перспективы применения УКВ-радиосвязи на блочных электростанциях [6, с. 155].

На первом этапе для организации УКВ-радиосвязи использовались частоты в диапазоне 36–46 МГц.

Рис. 20
Аппаратура системы связи К-60 [24]



В середине 1960-х гг. для всех энергосистем отрасли были выделены 20 частот в диапазоне 150–153 МГц и 8 частот в диапазоне 160–161 МГц. В начале 1970-х гг. Минэнерго СССР были даны рекомендации Госинспекцией электросвязи Минсвязи СССР о переводе УКВ-радиосетей отрасли на новую сетку частот 162–168 МГц (были выделены 28 значений частот: 18 — для дуплексной и 10 — для симплексной связи) [6, с. 155].

На выделенных частотах внедрялись венгерские радиостанции ФМ-10/164 с блоками телесигнализации, которые обеспечивали передачу аварийно-предупредительной сигнализации с необслуживаемых подстанций. Кроме того, на базе этих радиостанций при необходимости создавались системы дальней радиосвязи на расстояния до 130–150 км [6, с. 155–156].

В 1980-х гг. начала внедряться новая аппаратура ФМ-300 на интегральных схемах с блоками телесигнализации и устройствами ретрансляции. Скомплектованные из этих блоков радиостанции обеспечивали: телефонную радиосвязь между стационарными, мобильными или другими подвиж-

ными радиостанциями; дистанционное управление радиостанцией из одного или двух пунктов; передачу сигналов о состоянии или неисправности оборудования необслуживаемых подстанций; автоматическую ретрансляцию речи и сигналов через одну или две промежуточные подстанции. Также в 1980-х гг. УКВ-радиосвязь начала внедряться на АЭС [6, с. 156]. На 1 января 2000 г. в отрасли эксплуатировались 90 тыс. УКВ-радиостанций различного назначения [6, с. 166].

Ввод в эксплуатацию магистральных линий связи существенно повысил эффективность оперативно-технического и автоматического управления за счет создания на базе этих линий автоматизированных производственных телефонных сетей (ПТС) на всех уровнях управления. Развитие ПТС получило после проведенного в 1970 г. в Кемерово семинара «Автоматизация дальней телефонной связи энергетических объектов с диспетчерскими управлениями энергосистем на базе внедрения новой коммутационной аппаратуры и устройств дальнего набора», организованного Минэнерго СССР, НТОЭ и ЭП и ОРГРЭС [6, с. 156].

На первом этапе в качестве коммутационной техники широко использовались электромеханические системы (декадно-шаговые и координатные автоматические телефонные станции — АТС), которые к концу 1970-х гг. практически исчерпали свои технологические (быстродействие, надежность) и функциональные возможности [6, с. 156].

В 1980-х гг. началось широкое внедрение квазиэлектронной коммутационной техники на базе АТС отечественного производства типа «Квант» (рис. 22 на с. 70), которое в основном обеспечило ЦДУ ЕЭС СССР. В это же время началось широкое использование АТС серии ЕСК производства Болгарии, в ЦДУ ЕЭС СССР и ОДУ Центра стали вводить в эксплуатацию АТС типа ЕСК производства Siemens [6, с. 156].

К концу 1980-х гг. в связи с появлением цифровых каналов связи существующая коммутационная техника перестала соответствовать новым требованиям. В связи с этим в 1988–1989 гг. были введены в эксплуатацию первые цифровые электронные АТС общей емкостью более 4000 номеров (в ОДУ Урала и Средней Волги, Белглавэнерго, Ленэнерго и в Московском узле

связи Минэнерго СССР). Внедрение современной цифровой коммутационной техники позволило повысить надежность и качество передачи информации [6, с. 157].

Внедрение волоконно-оптической технологии в электроэнергетике нашей страны началось в 1979 г. после разработки Координационного плана, утвержденного Научно-техническим советом Минэнерго СССР 2 февраля 1979 г. В соответствии с решением НТС, функции головной организации по внедрению волоконно-оптической технологии были возложены на институт «Энергосетьпроект». На первых этапах применение волоконно-оптической технологии предусматривалось на внутриобъектных системах передачи информации. На заседании НТС 18 марта 1985 г. были рассмотрены состояние и перспективы внедрения волоконно-оптических систем в электроэнергетике [6, с. 157].

В первой половине 1980-х гг. волоконно-оптическая технология была внедрена на Запорожской ГРЭС и ПС 750 кВ Западно-Украинская. В этот же период была введена первая ВОЛС на участке ЦДП Мосэнерго–Московский узел связи [6, с. 157].



Рис. 21
Малоканальная радиорелейная станция РРС-1М [25]

В 1989 г. первая реальная ВОЛС с подвеской на опорах ЛЭП (ВОЛС-ВЛ) была внедрена в АО «Ленэнерго» под руководством и при непосредственном участии С.И. Тарасова. Общая протяженность участка составляла 4,5 км [6, с. 157].

К концу 1980-х гг. дальнейшее расширение масштабов ЕЭС, стремление к более эффективному использованию электрических сетей усложнили задачу управления режимами, что в свою очередь обусловило необходимость совершенствования систем автоматического и диспетчерского управления и основ надежного функционирования этих систем — телекоммуникационных сетей отрасли. Проведенный системотехнический и экономический анализ показал, что телекоммуникационные сети являлись на тот момент практически полностью аналоговыми и не могли в полной мере обеспечить все возрастающие требования управления отраслью, поэтому в конце 1980-х гг. в электроэнергетике начался переход от аналоговых телекоммуникационных сетей к цифровым [6, с. 158].

В 1990 г. появился первый программный документ, в котором были описаны разработанные ЦДУ ЕЭС основные этапы создания цифровых телекоммуникационных сетей:

1. На первом этапе (до 2005 г.) предусматривалось создание интегрально-цифровых сетей связи — Integrated Digital Network (IDN), в которых должна была обеспечиваться интеграция цифровых систем передачи и коммутации. Одним из главных решений этого этапа являлся переход сетей связи отрасли на единую систему сигнализации. При этом с целью повышения эффективности цифровизации необходимо было в каждой из зон обеспечить комплексное внедрение цифро-

вых систем передачи и коммутации [6, с. 158].

- На втором этапе (до 2010 г.) предусматривалось создание цифровых сетей интегрально-обслуживания — Integrated Services Digital Network (ISDN). Эти сети — результат развития сетей связи и вычислительных сетей, обеспечивающих предоставление пользователям более широкого спектра услуг [6, с. 158].
- На третьем этапе (до 2015 г.) предусматривался переход к широкополосной сети интегрально-обслуживания для организации отраслевой транспортной сети и интеллектуальных сетей [6, с. 158–159].

Внедрение новейших информационных технологий осуществлялось в рамках интенсивного развития в отрасли волоконно-оптических кабелей на опорах линий электропередачи 110–500 кВ, цифровой коммутационной техники, систем спутниковой связи [6, с. 159].

Отсутствие единой, доступной для всех пользователей отрасли телекоммуникационной сети связи приводило к большим потерям и непроизводительным затратам, поэтому в середине 1990-х гг. перед РАО «ЕЭС России» встала задача разработки концепции развития отраслевой телекоммуникационной сети связи. Приказом президента РАО «ЕЭС России» от 3 сентября 1995 г.

№ 400 был создан Исполнительный совет по развитию электросвязи и телемеханики электроэнергетики, на который были возложены задачи разработки концепции и координации работ по ее реализации [6, с. 159].

Во второй половине 1995 г. коллектив специалистов из ЦДУ ЕЭС России с участием специалистов вычислительного центра, института «Энергосетьпроект», Московского узла связи, АО «Информтехсвязь», ЗАО «ОПТЭН», ВНИИЭ и ряда других организаций разработал Концепцию развития Единой сети электросвязи и телемеханики электроэнергетики (ЕСЭТЭ), в которой были изложены основные положения развития телекоммуникационной сети отрасли на 1995–2005 гг. [6, с. 159]. На 1 января 2000 г. уровень цифровизации телекоммуникационных сетей составил около 15 % [6, с. 160].

На базе первичной сети отрасли были созданы вторичные сети следующего назначения:

- производственные телефонные сети различных уровней управления оперативно-диспетчерской, технологической и административно-хозяйственной деятельностью;
- телефонные сети селекторных совещаний;
- телеграфные сети;

- телеинформационные сети (по уровням управления) АСДУ, обеспечивающие передачу сигналов телеизмерения, телесигнализации и телеуправления;
- сети автоматического регулирования частоты и активной мощности;
- сети автоматического управления аварийными режимами, обеспечивающие передачу сигналов для систем релейной защиты, противоаварийной автоматики и автоматического отключения нагрузок (САОН);
- сети передачи данных различного назначения, включая телекоммуникационную сеть «Электра»;
- сети факсимильной связи, предназначенные для передачи копий печатных и графических документов [6, с. 160].

В 1996–1997 гг. на Шадринском телефонном заводе (М.А. Артибилов) было освоено многосерийное производство аппаратуры ВЧ-связи для ЛЭП АКСТ «Линия», предназначенной для организации каналов связи и передачи данных по ВЧ-трактам ЛЭП всех классов напряжений. В это же время специалисты ЦДУ ЕЭС России (Н.И. Строганов), ВНИИЭ (Л.И. Брауде, Ю.П. Шкарин) и Мосэнерго (В.Т. Лаврушин) проводили работы с фирмой Iskra Sysen по дальнейшему совершенствованию аппаратуры серии ЕТ (ЕТ-7 и ЕТ-8). В аппаратуре ЕТ-7 применяется односторонняя амплитудная модуляция (Single Side Band, SSB). Высокочастотный диапазон ЕТ-7 составляет от 32 до 600 кГц. В аппаратуре ЕТ-8 обеспечиваются полная программируемость НЧ и ВЧ на месте эксплуатации без какого-либо изменения аппаратных блоков, гибкая структура оборудования, простое осуществление встречных вариантов НЧ-окончаний, модульность исполнения, прямое изменение комплектации оборудования



Рис. 22
АТС «Квант» [26]

на месте эксплуатации, мониторинг исполнения обоих комплектов аппаратуры ВЧ-канала, доступный с каждой стороны канала связи [6, с. 160–161].

Одновременно в 1999 г. Мосэнерго совместно с фирмой АВВ освоило производство первой в нашей стране современной цифровой аппаратуры ВЧ-каналов по ЛЭП. Кроме того, специалистами ВНИИЭ были разработаны обоснования необходимости замены устаревшего оборудования новым цифровым, которые сводились к следующему:

- необходимо иметь возможность постоянного контроля за состоянием аппаратуры ВЧ-связи, диагностического прогнозирования результатов и выдачи соответствующих сообщений, в том числе на удаленный пункт оперативного управления сетью связи. В отдельных случаях может потребоваться возможность дистанционного управления режимами аппаратуры (ее конфигурация);
- аппаратура ВЧ-связи должна давать возможность передачи данных со скоростью до 32 Кбит/с (по крайней мере, до 19,2 Кбит/с) с перспективой перехода на скорость 81 Кбит/с;
- объем передаваемой информации на единицу полосы частот, занимаемых каналом в линии, должен быть увеличен в 2–3 раза по сравнению с аппаратурой на аналоговой элементной базе [6, с. 161].

В июне 1999 г. предприятием АВВ ВЭИ «Метроника» (Москва) был начат выпуск цифрового оборудования ВЧ-связи по линиям электропередачи 35–1150 кВ серии ETL-500. Комплекс аппаратуры ETL-500 предназначен для передачи сигналов речи, дуплексной передачи сигналов команд РЗ и ПА, передачи высокоскоростных

данных, данных телемеханики и АСКУЭ, данных систем диспетчерского и технологического управления [6, с. 162].

Период с 1990 по 2000 г. характеризуется интенсивным внедрением ВОЛС с подвеской волоконно-оптических кабелей на опорах линий электропередачи (ВОЛС-ВЛ). Первая ВОЛС была внедрена в Ленэнерго в 1989 г. Всего же за десятилетие в энергосистемах было построено около 7000 км ВОЛС-ВЛ с подвеской ВОК на ЛЭП напряжением 110, 154, 220 и 330 кВ [6, с. 162].

Впервые ВОЛС-ВЛ с подвеской на опорах ВОК, встроенного в горизонтальный трос (производства фирмы Nokia), была построена в 1993 г. на участке Госграница (Финляндия) — Санкт-Петербург и имела общую протяженность около 210 км. В 1993–1997 гг. была осуществлена подвеска отечественного самонесущего ВОК на опорах ЛЭП 154 кВ общей протяженностью более 400 км; здесь же были внедрены отечественные цифровые системы передачи [6, с. 162].

В 1995 г. совместно с АО «Ростелеком» была построена ВОЛС-ЛЭП подвеской ВОК на ЛЭП 110, 220 и 330 кВ общей протяженностью более 170 км. Она стала частью международной трансроссийской ВОЛС Кингисепп — Находка [6, с. 162].

В 1996 г. была введена в эксплуатацию ВОЛС-ВЛ на ЛЭП 110 кВ Иваново — Шуя в АО «Ивэнерго» в соответствии с разработанной фирмой Siemens технологией по прокладке ВОК под грозозащитным тросом с помощью примотки клейкой стеклолентой [6, с. 162].

В 1997–1998 гг. в АО «Кузбассэнерго» было введено в эксплуатацию

около 600 км ВОЛС-ВЛ с подвеской встроенного в грозозащитный трос ВОК на участках Кемерово — Новокузнецк, Кемерово — Югра и Кемерово — Анжеро-Судженск [6, с. 162–163].

В 1997–1999 гг. совместно с АО «Ростелеком» была построена крупнейшая в мире ВОЛС-ВЛ с подвеской встроенного в грозозащитный трос ВОК OPGW производства Alcoa Fujikura (США) и Fujikura (Япония) на ЛЭП 220 кВ по трассе Бирюсинск — Белогорск общей протяженностью около 3800 км. Эта ВОЛС является частью трансроссийской ВОЛС Кингисепп — Находка [6, с. 163].

Кроме того, в 1995–1999 гг. в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Пятигорске и других городах были введены в эксплуатацию ВОЛС-ВЛ с прокладкой ВОК в телефонном канале и грунте общей протяженностью 700 км [6, с. 163].

Интенсивному внедрению волоконно-оптической технологии в электроэнергетике способствовало то, что оптические волокна, применяемые в качестве среды распространения, имеют существенные преимущества перед другими средами распространения, а именно:

- широкая полоса пропускания;
- незначительное затухание сигнала;
- высокая защищенность от несанкционированного доступа;
- высокая помехозащищенность;
- гальваническая развязка;
- высокая термостойчивость, взрыво- и пожаробезопасность (выше 1000 °С);
- длительный срок эксплуатации (25 лет и более);
- малый вес и объем [6, с. 163].

В 1997 г. «Энергосетьсервисом», ЦДУ ЕЭС России, институтом

«Энергосетьпроект», ВНИИЭ, МУСЭ, ОПТЭН и другими организациями были разработаны Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше, которые способствовали реализации планов внедрения ВОЛС в электроэнергетике [6, с. 164].

В середине 1990-х гг. в электроэнергетике начались работы по внедрению спутниковых систем связи, которые до этого времени в отрасли практически не применялись. Спутниковые системы связи весьма перспективны в связи с большой территорией России, наличием труднодоступных районов, высокой окупаемостью затрат. Сети спутниковой связи — составная часть Единой сети электропередачи и телемеханики отрасли, их, в основном, предполагается использовать для следующих целей:

1. организация резервных каналов для оперативно-технологического управления на верхних уровнях управления;
2. обеспечение каналами связи объектов энергетического строительства и стройиндустрии;
3. организация линейно-эксплуатационной связи протяженных линий электропередачи СВН и УВН;
4. развертывание оперативной связи в районах ликвидации последствий различных катастроф;
5. создание каналов «последней мили» для технологических систем;
6. организация глобальной со-товой связи [6, с. 164].

В 1997–1998 гг. Главным вычислительным центром (ГВЦ) электроэнергетики с участием ЦДУ ЕЭС России был разработан проект спутниковой системы

связи отрасли, которым предусматривались передача потоков цифровых данных и соединение между собой на глобальном уровне региональных и локальных сетей связи различных типов: локальных вычислительных сетей, сотовой, транкинговой и других наземных средств связи [6, с. 164].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.yug.so-ups.ru/Page.aspx?IdP=1303> (дата обращения: 29.05.2019).
2. Микуцкий Г.В. Каналы высокочастотной связи для релейной защиты и автоматики. М.: Энергия, 1977. 312 с.
3. Измерения в ВЧ-связи. Каналы и аппаратура / Под ред. Ю.П. Шкарина. М.: Библиотека AnCom, 2014. 197 с.
4. Левиуш А.И. Дифференциально-фазная защита линии. История развития // Релейная защита и автоматизация. 2013. № 2. С. 16–20.
5. <http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/osnovnyye-etapy-razvitiya-sredstv-svyazi-v-energetike.html> (дата обращения: 29.05.2019).
6. Ишкин В.Х. Средства связи в электроэнергетике // Люди и годы большой энергетики. Очерки ветеранов диспетчерского управления в ЕЭС России. М., 2006. С. 149–172.
7. Рыжавский Г.Я. Высокочастотные каналы релейной защиты и противоаварийной автоматики. М.: Электроцентраладка, 2007. 416 с.
8. Зайцев Б.С., Чесноков В.Ф. Высокочастотный пост «ПВЗУ-Е» и его диагностика с применением комплекса «Ретом-ВЧМ». М.: Энергоатомиздат, 2009. 172 с.
9. Левиуш А.И. Продольная дифференциальная защита линии электропередачи с каналами связи // Энергия единой сети. 2014. № 6 (17). С. 6–14.
10. <http://www.eprussia.ru/epr/227/15227.htm> (дата обращения: 29.05.2019).
11. Информационное письмо № 27 ООО НПП «ЭКРА», www.ekra.ru/dokumentaciya/informacionnye-pisma/.
12. <http://www.nfraipk.ru/laboratorii> (дата обращения: 29.05.2019).
13. <http://forum220.ru/site-img/panel-vchb.jpg> (дата обращения: 29.05.2019).
14. <http://home.samgtu.ru/~es/labs.htm> (дата обращения: 19.07.2017).
15. Смородинский Я.М., Волков В.М. Руководящие указания по наладке, проверке и эксплуатации продольной дифференциальной защиты линий типа ДЗЛ-1. М.: Госэнергоиздат, 1962. 120 с.
16. <https://www.olx.ua/obyavlenie/rele-dzl-2-differentsialnaya-zaschita-linii-cheaz-IDqHk0a.html> (дата обращения: 29.05.2019).
17. Гельфанд Я.С., Дони Н.А., Левиуш А.И., Надель Л.А., Наумов А.М. Панель высокочастотной направленной защиты ПДЭ 2802. М.: Энергоатомиздат, 1992. 128 с.
18. Левиуш А.И., Дони Н.А., Надель Л.А., Наумов А.М. Высокочастотная направленная и дифференциально-фазная защита ПДЭ 2003 для ВЛ 500–750 кВ (релейная часть). М.: ЭНАС, 1996. 202 с.
19. https://www.pacw.org/no-cache/issue/june_2013_issue/history/protection_history_generations_of_protection.html (дата обращения: 28.08.2017).
20. Кузьмина Т.П., Левиуш А.И. Владимир Семенович Скитальцев — изобретатель и поэт // Релейная защита и автоматизация. 2017. № 1. С. 15.
21. Памяти Валентина Федоровича Чеснокова // Релейная защита и автоматизация. 2018. № 1. С. 8.
22. <http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/vch-zagraditeli-i-ustroystva-prisoedineniya-dlya-kanalov-svyazi-2.html> (дата обращения: 28.05.2019).
23. Купченко В.А. 70 лет на передовых рубежах электроэнергетики // Электрические станции. 2003. № 4.
24. <https://avikwolf.livejournal.com/21466.html> (дата обращения: 18.10.2017).
25. <http://www.test-test.narod.ru/old11.html> (дата обращения: 18.10.2017).
26. <http://www.demontageplus.ru/atskvant.php> (дата обращения: 18.10.2017).
27. XV Научно-техническая конференция. Релейная защита и автоматика энергосистем 2002. (21–24 мая 2002 г.). Сборник докладов. Москва 2002. 278 с.
28. http://dororz.ru/fc_20.htm (дата обращения: 10.06.2019).
29. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические основы. Т. 2. Электрические подстанции переменного тока. Средства и интеллектуальные системы управления / Под общей ред. чл.-корр. РАН А.Ф. Дьякова. М.: НТФ «Энергопрогресс» корпорации «ЕЭЭК», 2012. 668 с.

ЭКРА

СОХРАНЯЯ ЭНЕРГИЮ

ООО НПП «ЭКРА». 428020, г. Чебоксары, пр. И.Я. Яковлева, 3.
Тел./факс: (8352) 22-01-10, 22-01-30. www.ekra.ru, e-mail: ekra@ekra.ru

