

Кафедре релейной защиты и автоматизации энергосистем НИУ “МЭИ” 80 лет!

- **Волошин А. А.**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой РЗАЭ Национального исследовательского университета “Московский энергетический институт”, Москва
- **Арцишевский Я. Л.**, канд. техн. наук, доцент, заместитель по научной работе заведующего кафедрой РЗАЭ НИУ “Московский энергетический институт”, Москва

16 ноября 1943 г. подписан приказ о создании кафедры релейная защита и автоматизация энергосистем Московского энергетического института. Основное направление деятельности кафедры: подготовка специалистов-энергетиков и проведение научных исследований. Показано, как своей образовательной и научной работой специалисты кафедры способствовали развитию релейной защиты и автоматики энергообъектов в соответствии с требованием времени.

Ключевые слова: 80 лет кафедре РЗАЭ НИУ “МЭИ”, история, учебная работа, научная работа, развитие элементной базы устройств РЗ, публикации, учебные лабораторные установки, научное оборудование.

В Московском энергетическом институте подготовка специалистов в области релейной защиты электрических систем в пределах общей специальности “Электрические станции, сети и системы” была начата на электроэнергетическом факультете (ЭЭФ) в 1938/39 учебном году постановкой специального курса релейной защиты, который был подготовлен Аексеем Михайловичем Федосеевым, и углублённой проработкой этих вопросов в дипломных проектах. Первый курс по автоматизации энергосистем был подготовлен и прочитан П. Г. Грудинским в 1940 г.

В 1943 г. по инициативе декана ЭЭФ профессора А. А. Глазунова на факультете была образована кафедра релейной защиты и автоматизации энергетических систем (РЗАЭ), которой поручили чтение общих и специальных курсов релейной защиты, автоматизации и телемеханизации электроэнергетических систем, ведение специального курсового и дипломного проектирования и других видов занятий. Кафедру возглавил профессор (впоследствии академик) Сергей Алексеевич Лебедев.

За годы работы С. А. Лебедева на кафедре РЗАЭ была заложена традиция научной постановки вновь создававшихся дисциплин по автоматизации ЭЭС, развитию коллектива, созданию лабораторной базы под разные учебные дисциплины, выполнение первых на ЭЭФ научно-исследовательских работ по РЗАЭ.

С 1948 г. С. А. Лебедев передал руководство кафедрой Ивану Ивановичу Соловьёву, а сам увлёкся созданием вычислительных средств управления. Он разработал серию малых электронно-счётных машин (МЭСМ), а затем и боль-

ших, включая БЭСМ-6, которые сыграли большую роль в развитии науки и обеспечении обороноспособности нашей страны.

Профессор, доктор технических наук, академик АН СССР, Герой Социалистического Труда С. А. Лебедев стал впоследствии руководителем Института точной механики и вычислительной техники АН СССР (теперь Институт вычислительной техники им. С. А. Лебедева). Им была создана и возглавлена вторая в его биографии кафедра Вычислительной техники в МЭИ.

В первоначальный состав кафедры РЗАЭ входили профессор П. Г. Грудинский (имевший основное место работы на кафедре электрических станций), доцент В. Л. Фабрикант, доцент А. М. Федосеев (вскоре назначенный заместителем заведующего кафедрой), аспиранты В. Л. Козис и Е. Л. Сиротинский и старший научный сотрудник Г. В. Зевеке.

С 1948 по 1973 г. кафедру возглавлял Иван Иванович Соловьёв, доктор технических наук, профессор, дважды лауреат Государственной пре-



С. А. Лебедев



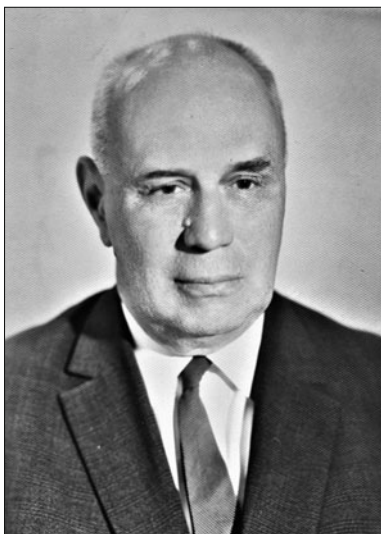
И. И. Соловьёв

мии. В военные и первые послевоенные годы он руководил службой релейной защиты и автоматики Мосэнерго. Под его руководством впервые в мире в этой энергосистеме были освоены и внедрены такие виды автоматики, как автоматическое повторное

включение и автоматическая частотная разгрузка, значительно повысившие надёжность электроснабжения потребителей. В настоящее время эти виды автоматики широко используются во всех энергосистемах мира. И. И. Соловьёв много и плодотворно занимался также вопросами автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов.

С 1973 по 1979 г. заведующим кафедрой был доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной и Ленинской премий Алексей Михайлович Федосеев – один из основоположников такой важнейшей области автоматики энергосистем, как релейная защита, назначением которой является быстрое обнаружение и отключение поврежденного элемента электроэнергетической системы. Под руководством А. М. Федосеева проводились разработки, проектирование и ввод в эксплуатацию систем релейной защиты и автоматики

линий высокого и сверхвысокого напряжения. Он возглавлял научно-техническую комиссию по релейной защите энергосистем Госкомитета по науке и технике. Под его руководством и при непосредственном участии осуществлялся выпуск Руководящих указаний по релейной защите различных элементов электроэнергетических



А. М. Федосеев

систем, которыми пользуются релейщики РФ и стран СНГ, большое внимание он уделял отработке терминологической базы релейной защиты. Учебники по релейной защите А. М. Федосеева по сей день пользуются широким признанием.

В 1979 – 1996 гг. кафедрой заведовал доктор технических наук, профессор Виктор Павлович Морозкин. Под его руководством на кафедре проводилась модернизация учебно-лабораторной базы по релейной защите, автоматике, электропередачам постоянного тока, элементам автоматики, теории регулирования, системам диспетчерского управления. Под руководством В. П. Морозкина прошла замена лабораторных стендов на новые, заводского изготовления, переработано методическое обеспечение. В эти годы развивается международное сотрудничество. В 1994 г. выходит в свет совместное российско-германское учебное пособие под редакцией В. П. Морозкина и Д. Энгелге “Автоматизация электроэнергетических систем”.

С 1996 по 2015 г. кафедру возглавлял Анатолий Фёдорович Дьяков, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, академик-секретарь АЭН РФ, почётный президент РАО “ЕЭС России”. Он возглавлял на кафедре Ведущую научно-педагогическую школу, регулярно получал гранты Президента РФ. Анатолий Фёдорович развивал научные направления по предотвращению и ликвидации голледных аварий в энергосистемах, повышению надёжности работы персонала в энергетике; руководил рядом научно-техниче-



В. П. Морозкин



А. Ф. Дьяков

ских программ, в частности, программой по методологии интеграции системы управления электроэнергетическими системами, обучения и тренинга персонала энергообъектов.

А. Ф. Дьяков был удостоен Государственной премии РФ в области науки и техники в 1996 г., Премии Президента РФ в области образования в 1999 г., премии Правительства РФ в области науки и техники в 2003 г.

Много внимания кафедре уделял заместитель заведующего кафедрой Борис Константинович Максимов, под руководством и при активном участии которого на кафедре РЗиАЭ производилась постепенно действующая модернизация учебных лабораторий.



Б. К. Максимов

Темы научно-методических работ профессора Б. К. Максимова сближали кафедру РЗиАЭ и кафедру ТЭВН по проблемам электромагнитной совместимости. Под руководством А. Ф. Дьякова и Б. К. Максимова были подготовлены основополагающие НТД, монографии и учебники для релейщиков.

Все научные исследования и работы проводились в соответствии

с развитием техники производства и распределения электроэнергии. На основе научно-исследовательских работ кафедры были созданы высоконадёжные комплексы релейной защиты и автоматики электропередач высокого и сверхвысокого напряжения 750 и 1150 кВ, обеспечивающие практически одновременное с двух сторон электропередачи отключение повреждённых участков с весьма малыми собственными временами срабатывания. Достижение высоких показателей технического совершенства этих комплексов обеспечило повышение устойчивости параллельной работы энергосистем и снижение уровней внутренних перенапряжений. Разработчики: В. Г. Дорогунцев, Н. И. Овчаренко, Р. В. Темкина, В. В. Будкин, Э. И. Басс. Доктор техн. наук, профессор Н. И. Овчаренко удостоен премии Президента РФ в области образования в 1999 г.

Результаты научно-исследовательских работ кафедры позволили разработать ряд устройств для линий электропередачи постоянного тока. Разработчики: В. М. Маранчак, В. Н. Новелла, О. А. Глухарев, С. П. Вейский. На базе созданной

на кафедре физической модели были отработаны технические решения по селективной быстродействующей защите, а также устройства для определения расстояния до места повреждения. Эти разработки были применены на линиях электропередачи постоянного тока Волгоград – Донбасс и заложены в технический проект ЛЭП Экибастуз – Центр.

Впервые в СССР на подстанции Талашкино (Смоленскэнерго) была установлена экспериментальная цифровая релейная защита с волоконно-оптическим каналом связи от трансформаторов тока, разработанная В. Е. Казанским, Я. Л. Арцишевским, Т. А. Серединой. В дальнейшем совместно с ВЭИ был разработан и испытан оптико-электронный трансформатор тока высокого напряжения. В течение многих лет под научным руководством доцента В. Е. Казанского проводились исследования и публиковались монографии по работе трансформаторов тока в схемах релейной защиты.

Разработанный на кафедре Е. Л. Сиротинским и Н. И. Панфиловым автоматический синхронизатор генераторов на электростанциях типа СА-1 нашёл широкое применение в электроэнергетике. Панфилов Н. И. совместно с НПФ “Радиус” разработал микропроцессорный синхронизатор типа “СПРИНТ”.

В годы руководства кафедрой А. Ф. Дьяковым с участием профессора Б. К. Максимова была реализована программа развития вычислительного центра кафедры на базе подаренного ПАО “ФСК ЕЭС” программно-аппаратного комплекса RTDS (Канада). Последующие научно-исследовательские работы, выполненные на RTDS, дали интересные и важные результаты.

Были разработаны методики исследования и настройки автоматических регуляторов возбуждения синхронного генератора (АРВ СГ) отечественного и зарубежного производства в соответствии с требованиями стандарта ОАО “СО ЕЭС” и проверено их использование при анализе функционирования АРВ и выборе параметров настройки АРВ СГ конкретной электростанции.

В совокупности эти методики позволяют оценить качество функционирования АРВ, определить области статической устойчивости системы регулирования для заданных параметров АРВ, а также выбрать оптимальные настройки АРВ для требуемых условий.

Анализ областей устойчивости позволяет достаточно точно оценить параметры переходных процессов (длительность переходного процесса, коэффициент демпфирования и величину перерегулирования) при любых настройках АРВ и оценить ожидаемый результат их функционирования.

Используется несколько способов визуализации информации о параметрах переходных про-

цессов и сравнения результатов испытаний, в том числе и гипервекторы.

Векторные представления и измерения в течение многих десятилетий используются в теории и практике электротехники, при испытаниях электрооборудования, в анализе и синтезе устройств релейной защиты, автоматики и регулирования. На кафедре рассматриваются различные способы обработки и визуализации экспериментальных данных, полученных при исследовании сложных колебательных систем и их моделей. Ставится цель определения максимально информативного способа представления переходных процессов. Показано, что представление колебательных процессов на плоскости с двумя системами координат позволяет максимально учесть информацию обо всех параметрах колебательного процесса. Все разработанные способы визуализации и анализа состава переходных процессов дополняют друг друга и позволяют представить полную характеристику переходных процессов.

В устройствах синхронизированных векторных измерений (УСВИ) широко используются различные реализации дискретного преобразования Фурье. В условиях отсутствия помех любой описанный алгоритм показывает идеальные выходные результаты, по которым можно судить о состоянии энергосистемы. Но при наличии помех практически ни один из алгоритмов не способен полностью определить спектр их воздействия.

Разработано модернизированное дискретное преобразование Фурье, дающее быстрый (окно наблюдения 10 мс), точный и простой для реализации алгоритм получения оценок параметров синусоидального колебания при соблюдении требований стандарта МЭК С37.118.

Разработанный алгоритм предлагает доступное решение УСВИ для улучшения качества наблюдения и управления энергосистемой при наличии интергармонических колебаний с возможностью определения их параметров.

В настоящее время в крупных электроэнергетических системах по всему миру массово внедряются УСВИ. Это создаёт предпосылки использовать измерения УСВИ и для оценки параметров схемы замещения силового оборудования, в том числе и параметров схемы замещения силового двухобмоточного трансформатора.

Силовые трансформаторы в различных конструктивных исполнениях являются одним из важнейших и дорогих элементов энергосистемы. Неожиданный отказ силового трансформатора может привести к значительным затратам на ремонт и финансовым потерям из-за внепланового отключения. Дефекты элементов силовых трансформаторов вызывают отклонения параметров силового трансформатора, которые проявляются в значениях режимных параметров трансформаторов, следовательно, по отклонениям этих параметров

можно производить обнаружение дефектов силовых трансформаторов, а также связанные с ними изменения параметров схем замещения, вплоть до предельно допустимых. Влияние трансформаторов на режим работы системы учитывается с помощью схемы замещения.

Вопросы выявления и исследования возникающих в энергосистеме высокоамплитудных низкочастотных колебаний параметров электрического режима (НЧК ПЭР) в настоящее время являются важными для обеспечения устойчивости работы генерирующего оборудования и сохранения динамической устойчивости энергосистемы. Разработаны методики идентификации НЧК ПЭР, определения источника колебаний, мониторинга колебательной устойчивости энергосистемы, а также эффективного демпфирования НЧК, что является необходимым условием обеспечения надёжности работы энергосистемы.

Применение устройств синхронизированных векторных измерителей позволяет с высокой точностью определять источники НЧК в энергосистеме любой природы появления, причём в зависимости от количества установленных измерителей в энергосистеме, можно конкретизировать источник до конечного первичного оборудования.

С использованием RTDS были подготовлены и защищены кандидатские диссертации Николаевой О. О., Елкиным С. В., Кошкаревой Л. А. (все под руководством канд. техн. наук, доцента Т. Г. Климовой) и Благоразумовым Д. О. (под руководством канд. техн. наук, доцента Волошина А. А.).

В настоящее время (с 2015 г.) кафедру возглавляет канд. техн. наук., доцент, член-корреспондент АЭН РФ Александр Александрович Волошин. Под его руководством на кафедре создан Центр компетенций Национальной технологической инициативы «ЦК НТИ «МЭИ», основным направлением деятельности которого являются технологии транспортировки электроэнергии и распределённых интеллектуальных энергосистем:

разработка, проектирование и внедрение надёжных и гибких электросетей, включающих в себя цифровые подстанции, интеллектуальные коммутационные аппараты, цифровые измерители электрических величин, универсальные измерительные контроллеры, автономные самобалансирующиеся микроэнергосистемы, программное обеспечение для управления сетями;

разработка, проектирование и внедрение объектов распределённой энергетики, включая накопители электроэнергии и силовые полупроводниковые устройства.

Кроме того, ЦК НТИ участвует в научно-исследовательских работах по национальным проектам, например, таким как разработка и внедрение электрических подстанций и станций с полностью цифровым управлением на вновь строящихся и ре-

конструируемых объектах энергетики. Также выполняются работы по обеспечению импортозамещения программного обеспечения и программно-аппаратных комплексов для предприятий электроэнергетики.

На кафедре две учебные программы: традиционная магистерская программа “Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем” – научный руководитель канд. техн. наук., доцент Арцишевский Я. Л. и созданная по тематике ЦК НТИ вторая магистерская программа “Интеллектуальные системы защиты, автоматизации и управления энергосистемами” – научный руководитель канд. техн. наук., доцент Волошин А. А.

Магистранты и аспиранты кафедры привлекаются к выполнению тем НИР и конструкторских разработок по направлениям:

системы управления потоками активной мощности в микроэнергосистемах с аккумуляторными накопителями и ВИЭ;

мультиагентные системы управления средствами компенсации реактивной мощности в электрических сетях 110 – 220 кВ;

программные комплексы автоматической проверки работоспособности и соответствия НТД проектов РЗА высокоавтоматизированных подстанций 110 – 220 кВ;

принципы и практическая реализация алгоритмов перераспределения функций основных и резервных защит в условиях отказов отдельных элементов многопроцессорной однородной системы защиты энергообъектов на базе универсальных МП-терминалов;

автоматический выбор размещения зарядных станций электрического автотранспорта и систем прогнозирования потока их загрузки;

разработка и испытание отечественного аналога RTDS – цифрового двойника энергосистемы (ЦДС);

методы и средства обеспечения кибербезопасности микропроцессорных комплексов РЗА.

Под эгидой IEEE ежегодно проводятся международные конференции молодёжной секции

СИГРЭ. В юбилейном для кафедры году планируется провести уже VI НТК “Релейная защита и автоматика”:

разработка РЗ и ОМП при ОЗЗ в сетях 6 – 35 кВ с реагированием на импульсный наложенный ток, сформированный методами недоимпульсной модуляции;

разработка систем управления на базе УСВЧ;

разработка РЗ и ПА сети линии ТЭЦ распределённых генерирующих объектов;

разработка релейной защиты управляемых шунтирующих реакторов 110 – 500 кВ;

исследование функциональной совместимости программных продуктов и устройств РЗА на базе стандарта МЭК 61850;

разработка методов и средств повышения быстродействия РЗА в системах электроснабжения 6 – 110 кВ за счёт интеграции с системами связи (ВОЛС, 5G).

В течение многих лет на кафедре РЗАЭ совместно с кафедрой ТЭВН работает секция НТК студентов и аспирантов “Радиотехника, электроника и энергетика”. В дни 80-летнего юбилея кафедры РЗАЭ идёт подготовка к 26 заседанию секции “Электрофизика и системы управления в энергетике”. С 2020 г. секция стала имени профессора, доктора техн. наук Максимова Б. К., который многие годы руководил электроэнергетическим факультетом (впоследствии Институтом электроэнергетики), а также кафедрой РЗАЭ в качестве первого заместителя заведующего кафедрой.

За годы работы секции были заслушаны и обсуждены более 850 докладов студентов и аспирантов. Лучшие доклады отмечены дипломами I-й и II-й степени.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Сафронову Б. А., Пашковской Е. Е., Климовой Т. Г., Темкиной Р. В., Рыбину С. Н., Васильеву А. Н., Лебедеву А. А., Максимова Р. С., Иванову А. А. за помощь в подготовке материалов для данной статьи.