

УДК 621.314.2: 621.316.925.1

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

П. А. Белозёров, Т. Ю. Шевченко

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Рассматриваются устройство и принцип действия автотрансформатора, а также области его применения в электроэнергетике. Перечисляются необходимые виды релейной защиты автотрансформатора. Обсуждается их реализация на базе микропроцессорных цифровых программируемых устройств. Проанализированы расчетное и графическое направления автоматизации проектирования, приведены примеры программных продуктов. Рассматривается применение в процессе проектирования имитационного моделирования как относительно недорогого средства получения информации о переходных процессах, ограничениях, достоверности допущений, принимаемых в инженерных расчетах. Сформулированы общие требования к свойствам имитационных моделей в электроэнергетике.

Ключевые слова: автотрансформатор, релейная защита, системы автоматизированного проектирования, имитационное моделирование, микропроцессорное устройство, цифровое устройство, сокращение издержек.

THE AUTOMATION OF RELAY PROTECTION DESIGN FOR AUTOTRANSFORMERS

P. A. Belozarov, T. Yu. Shevchenko

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

In this article the authors explain construction, principle of operation and main applications in the electric power industry of the autotransformer, list the necessary types of relay protection for the autotransformer. The implementation of such a protections on the basis of microprocessor-based digital programmable devices is discussed. Computational and graphical directions of design automation are considered, and examples of software products are given. We consider the use of simulation modeling in the design process as a relatively inexpensive means of obtaining information about transients, limitations, and the reliability of assumptions made in engineering calculations. General requirements for the properties of simulation models in the electric power industry formulated.

Keywords: autotransformer, relay protection, computer-aided design systems, simulation, microprocessor device, digital device, cost reduction.

Введение. В условиях рыночной экономики любая деятельность по производству и проектированию чего-либо находится под жестким прессингом конкурентной борьбы за свою нишу на рынке с другими исполнителями аналогичных работ. Помимо лучшей цены, конкурентными преимуществами являются скорость и качество выполнения работ. Вышесказанное относится, в частности, к процессам проектирования релейной защиты автотрансформаторов. В условиях цифровизации экономики важное значение приобретает использование в процессе проектирования информационных технологий.

Устройство и область применения автотрансформатора. Автотрансформатор (АТ) представляет собой электрический аппарат, в котором передача энергии осуществляется как магнитным полем, так и за счет электрической связи между первичной и вторичной обмотками [1]. На рис. 1 показана электрическая принципиальная схема АТ, где:

w_1 и w_2 — числа витков в первичной и вторичной обмотках;

I_1 и I_2 — токи в первичной и вторичной обмотках;
 U_1 и U_2 — напряжения на первичной и вторичной обмотках;
 U_{12} — разность потенциалов между точками 1 и 2;
 I_H — ток нагрузки;
 Z_H — сопротивление нагрузки.

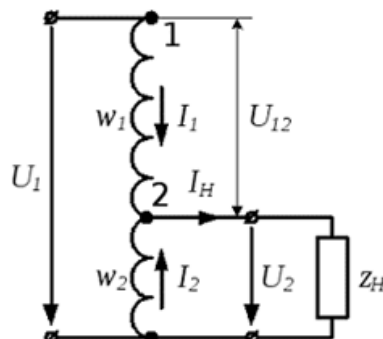


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема АТ

В АТ, за счет совмещения обмоток при небольших коэффициентах трансформации $k = U_2/U_1$, обеспечивается экономия меди, по сравнению с трансформаторами. Поэтому АТ используют в электроэнергетике при преобразовании близких напряжений: 110 и 220, 220 и 330, 330 и 500, 500 и 750 кВ. Автотрансформаторы, ввиду меньшего расхода меди и стали, в заданных габаритах удается изготавливать большей мощности, чем трансформаторы. Габариты крупных изделий лимитируются возможностями их доставки с завода на место эксплуатации по существующим транспортным путям.

Недостатком АТ является необходимость выполнять изоляцию обеих обмоток на большее напряжение, поскольку отсутствует гальваническая развязка между обмотками.

Защиты АТ. Для защиты АТ необходимо, чтобы выполнялись следующие защитные функции [2, 3]: максимальная токовая защита; дифференциальная защита; газовая защита; защита от перегрузки, внешних коротких замыканий и витковых замыканий. В настоящее время часто используется релейная защита АТ при помощи микропроцессорных устройств, например, «Сириус-Т3». Это устройство выполняет все вышеперечисленные функции защиты [3]. Вид панели микропроцессорного устройства защиты «Сириус-Т3» показан на рис. 2.



Рис. 2. Панель микропроцессорного устройства защиты «Сириус-Т3»

Применение в устройстве модульной многопроцессорной архитектуры, наряду с современными технологиями поверхностного монтажа, обеспечивают высокую надежность, большую вычислительную мощность и быстродействие, а также высокую точность измерения электрических величин и временных интервалов, что дает возможность снизить ступени селективности и повысить чувствительность защиты. Безусловным достоинством микропроцессорных устройств защиты является возможность программирования их характеристик, в том числе уставок.

В эксплуатации в электроэнергетической отрасли находятся устройства релейной защиты, реализованные на электромеханической, полупроводниковой и микропроцессорной (цифровой) базах. Обобщенная функциональная схема цифрового устройства токовых защит показана на рис. 3 [4]. Токовые защиты являются основой любой системы релейной защиты и автоматики.



Рис. 3. Обобщенная функциональная схема цифрового устройства токовых защит

Направления и средства автоматизации проектирования защит. Имитационное моделирование. При проектировании релейной защиты вообще и защиты АТ, в частности, используются как специализированные программные продукты, так и средства разработки инструментов расчета с открытым кодом: от разнообразных языков программирования высокого уровня [5] до электронных таблиц *Microsoft Excel*. Также широко используются программы для вычерчивания схем (*AutoCAD, Visio* и др.). Автоматизация проектирования позволяет: избегать ошибок, связанных с «человеческим фактором»; накапливать электронные банки данных с характеристиками элементной базы релейной защиты, типовыми проектными решениями; с минимальными затратами времени и усилий актуализировать результаты расчетов при изменении характеристик или номенклатуры применяемых защитных устройств.

В процессе проектирования всегда производится некоторое количество выборов (значений величин, элементной базы, типов охлаждения и пр.). Часто выбор должен быть произведен на многокритериальной основе. Далее, зачастую, спустя множество шагов расчетного алгоритма, производится проверка, которая, если не все критерии выбора были в должной мере удовлетворены, может показать на необходимость возврата к тому выбору и его изменению. Это относится к рутинным расчетам, занимающим много времени и требующим определенной квалификации проектировщика. Поэтому актуальным направлением автоматизации проектирования является автоматизация именно процедур выбора на многокритериальной основе.

Такая автоматизация экономит много рабочего времени, но требует наличия постоянно актуализируемых баз данных по видам различного рода оборудования, требованиям стандартов. Еще более продвинутым этапом автоматизации проектирования является возможность создания такого проекта, по которому можно было бы не только разработать и изготовить изделие, но и управлять его жизненным циклом, накапливая и используя в работе (иногда годы и десятилетия спустя после выпуска) информацию о технических обслуживаниях и ремонтах изделия, его эксплуатации, модернизации и утилизации. В России наиболее известно сейчас в этом отношении программное обеспечение *Autodesk Revit MEP*, функционально предназначенное для инженеров электроснабжения, вентиляции и водоснабжения. *Revit* предоставляет возможности трехмерного моделирования элементов конструкции и их плоского черчения, создания пользовательских объектов, организации совместной работы над проектом, начиная от концепции и заканчивая выпуском рабочих чертежей и спецификаций. Наиболее полно у нас в стране *Revit*-подобные программы, основанные на информационном принципе моделирования объектов проектирования, востребованы пока в строительной отрасли, где при проектировании зданий в обязательном порядке присутствуют также система электроснабжения и слаботочные системы (сигнализация, управление, безопасность, пожаротушение).

Одной из существенных проблем при проектировании является отсутствие у проектировщиков необходимого объема достоверных исходных данных о процессах, происходящих в защищаемых электрических цепях и устройствах, об экстремальных значениях величин. В этой связи нужно отметить важную роль имитационного моделирования. Имитационная модель — компьютерная модель, позволяющая учитывать большое количество характеристик моделируемого объекта, тем самым получать в ходе вычислительных экспериментов результаты, близкие к поведению реального объекта. Применительно к области электроэнергетики имитационная модель должна быть пригодна для решения систем дифференциальных и алгебраических уравнений. Результаты вычислений должны быть доступны в виде мгновенных значений величин. Если в распоряжении проектировщика имеются инструменты имитационного моделирования, то фактически в его распоряжении оказываются данные обо всех возможных режимах работы проектируемых защищаемых объектов и их защит. Компьютерное моделирование способно предоставить сведения даже о таких режимах работы, которые практически невозможно получить из натуральных экспериментов из-за дороговизны или угрозы разрушения объекта. Имитационное моделирование помогает оценить влияние разнообразных допущений, часто принимаемых в инженерных расчетах, на конечный результат. При этом ключевым моментом является адекватность используемой модели реальному объекту, а также область применимости модели (обычно она имеет ограничения). Важен удачный выбор инструмента моделирования на основе соотношения точность результата/затраты времени (а также на основе общеизвестного критерия цена/качество). Наиболее распространенными программными пакетами для имитационного моделирования электрических и электронных (аналоговых и цифровых) систем являются *MATLAB Simulink* и *SimPowerSystems* [6, 7], а также *CAD*-программы на базе специализированного для описания схем языка программирования *Spice* [5] (*LTSpice* [8], *OrCAD* [9], *Micro-Cap*, *Multisim* и др.).

Заключение. В целом использование компьютерного моделирования в процессе проектирования дает возможность ускорить процесс, повысить точность результатов, сократить издержки на проведение макетирования схем и их испытания (впрочем, речь не идет о полной отмене испытаний).

Библиографический список

1. Копылов, И. П. Электрические машины: Учебник для вузов / И. П. Копылов. — Москва : Энергоатомиздат, 1986. — 360 с.
2. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями / Под ред. А. М. Меламед. — Москва : Норматика, 2020. — 464 с.
3. Галагуров, А. Б. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики автотрансформатора / А. Б. Галагуров, Д. В. Белов // Наука, техника и образование. — 2019. — № 6 (59). — С. 33–36.
4. Исаков, У. К. Разработка системы адаптации уставок срабатывания токовых защит электрооборудования горнодобывающей промышленности: дис. ... д-ра. философии (PhD) / У. К. Исаков. — Караганда, 2016. — 105 с.
5. Никитенко, А. Г. Информатика и компьютерное моделирование в электроаппаратостроении: учеб. пособие для вузов по спец. «Электрические и электронные аппараты» / А. Г. Никитенко [и др.]. — Москва : Высш. шк., 1999. — 375 с.
6. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink/ И. В. Черных. — Москва : ДМК Пресс, 2012. — 288 с.
7. Румянцев, Ю. В. Комплексная модель для исследования функционирования цифровой дифференциальной защиты силового трансформатора / Ю. В. Румянцев // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. — 2016. — Т. 59, № 3. — С. 203–224.
8. Сохор, Ю. Н. Моделирование устройств в *LTSpice* : учебно-методическое пособие / Ю. Н. Сохор. — Псков : Изд-во Псковск. гос. политехн. ин-та, 2008. — 165 с.
9. Кеун, Дж. Электронное моделирование в *OrCAD* / Дж. Кеун. — Москва : ДМК Пресс, 2010. — 628 с.

Об авторах:

Белозёров Павел Андреевич, магистрант кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), belzjorov@mail.ru

Шевченко Татьяна Юрьевна, магистрант кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), shewatanha@gmail.com

Authors:

Belozorov, Pavel A. master degree student, the department of Intelligent electrical networks, Don State Technical University (1,Gagarina sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), belzjorov@mail.ru

Shevchenko, Tatyana Yu. master degree student, the department of Intelligent electrical networks, Don State Technical University (1,Gagarina sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), shewatanha@gmail.com