

УДК 621.31

КОМПЛЕКСНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Фридрих В.В.

Научный руководитель – АРТЕМЕНКО К.И.

Современные быстродействующие устройства релейной защиты имеют время срабатывания 0,02–0,1 с. В течение такого короткого промежутка после возникновения возмущающего воздействия, находясь под влиянием интенсивных переходных процессов в цепи защищаемого объекта и целого ряда других факторов, устройство РЗ должно сработать, если КЗ находится в зоне его действия, и не должно, если КЗ – вне защищаемой зоны или возмущающим воздействием является не КЗ, а какое-либо другое явление.

При любых внезапных изменениях режима электрической системы в реальных условиях возникают переходные процессы как в ее элементах, измерительных трансформаторах тока и напряжения, так и в цепях РЗ. Это сопровождается переходом токов и напряжений в данных элементах, имеющих до возмущения, к их новым значениям. Указанное приводит к тому, что в переходном режиме контролируемая величина из-за наличия свободных составляющих переходных процессов в электрической системе и измерительных трансформаторах отличается от установившегося значения. При этом возможны замедления в срабатывании РЗ при внутренних КЗ и излишние действия, если КЗ внешние. К аналогичному эффекту могут привести и переходные процессы в цепях самого устройства РЗ при скачкообразных изменениях входных величин.

Одним из основных методов исследования поведения РЗ при возмущениях в электрической системе является математическое моделирование.

Исследования на физических моделях также носят экспериментальный характер и выполняются аналогично натуральному эксперименту на реальном объекте. Так, исследования режимов КЗ, устойчивости на электродинамической модели дают наглядные результаты, регистрируемые с помощью тех же приборов, что используются в натурном эксперименте, и представляемые в виде осциллограмм.

В связи с возрастающей оснащённостью проектных, научно-исследовательских и эксплуатационных организаций ПЭВМ, повышением их быстродействия, объемов памяти, совершенствованием средств отображения результатов расчета все более широкое признание получают методы математического моделирования. Математические модели используются для решения всех видов перечисленных выше классов математических задач. Модели для воспроизведения алгебраических и дифференциальных уравнений, составляемых на основе физических законов, называют аналитическими. Для сложных объектов, аналитические модели которых получаются очень громоздкими или вообще не могут быть созданы из-за отсутствия строгого математического описания, используются имитационные математические модели. Они представляют собой описания результатов выполняемых функций элементами моделируемого объекта в виде математических и логических зависимостей при заданных вероятностно или детерминировано внешних воздействиях.

Современные ПЭВМ, оснащенные программными и техническими средствами вывода информации, дают результаты решения дифференциальных уравнений, представляемые в таком же виде, как и в натурном эксперименте, т. е. в виде осциллограмм. Благодаря высокому быстродействию и большому объему памяти ПЭВМ могут воспроизводить математические модели отдельных объектов.

Методы математического моделирования и вычислительного эксперимента предназначены для оценки качества выполняемых функций, т. е. селективности, быстродействия, чувствительности сложных, устройств РЗ при различного рода заданных возмущающих воздействиях. Структура математических моделей, предназначенных для

указанной цели, должна составляться с учетом всех факторов, влияющих на поведение исследуемого устройства РЗ и критериев оценки его поведения.

Комплексная математическая модель устройства РЗ, предназначенная для оценки его быстродействия, селективности, чувствительности, представляет собой совокупность математических и логических зависимостей, описывающих устройства защиты, измерительные трансформаторы тока и напряжения, защищаемый объект с достаточной полнотой, обеспечивающей необходимые достоверность и точность результатов.

В связи с существенным влиянием на поведение защиты переходных процессов математическое описание защищаемого объекта, измерительных трансформаторов, измерительных органов устройств защиты выполняется на основе физических законов, связывающих мгновенные значения электрических и магнитных величин, характеризующих режим объекта, с его конструктивными параметрами. Наличие нелинейных элементов в моделируемых объектах, исключающее возможность использования принципа наложения, делает нецелесообразным отдельный анализ и оценку свободных и вынужденных составляющих переходного процесса. Поэтому в рассматриваемых моделях используются физические законы, отражающие связь между мгновенными значениями полных токов, напряжений, магнитных величин и конструктивными параметрами моделируемого объекта. Математическим аппаратом таких моделей являются обыкновенные дифференциальные и алгебраические уравнения.

Вследствие несимметрии процессов математические модели даже симметричных объектов должны отражать их реальное трехфазное исполнение. В описании электрических цепей обязателен учет активных сопротивлений, поскольку именно они определяют длительность существования переходного режима. При моделировании необходимо учитывать такие факторы, степень влияния которых заранее оценить не представляется возможным. Это, например, несимметрия силовых трансформаторов, насыщение магнитных систем, проводимости для потоков нулевой последовательности в силовых трансформаторах, относительное движение роторов синхронных машин и др. Учет таких факторов при высокой точности воспроизведения результатов моделирования позволяет количественно оценить степень их влияния и повышает достоверность результатов.

Поскольку модели предназначены для решения конкретных задач с использованием полученных количественных результатов для оценки поведения реальных устройств РЗ, все математические зависимости составляются в именованных единицах международной системы единиц.

Вычислительный эксперимент на основе комплексных математических моделей РЗ может быть использован при разработке новых устройств защиты для их предварительной проверки вместо испытаний на электродинамических моделях и реальных объектах. При проектировании РЗ энергообъектов вычислительный эксперимент необходим для уточненной проверки их селективности, чувствительности, быстродействия, в эксплуатации – для оценки поведения РЗ в сложных условиях, например, при расследовании аварий.

Литература

1 Романюк, Ф. А. Информационное обеспечение вычислительного эксперимента в релейной защите и автоматике энергосистем / Ф. А. Романюк, В. И. Новаш. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1998. – 257 с.

2 Ефанов, В. И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем и релейной защите / В. И. Ефанов. – Томск : ДМК Пресс, 2012. – 224 с.