

Проф. А.Д. Яризов, к.т.н., Московский государственный горный университет

## ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Важнейшей тенденцией развития современного электропривода является широкое внедрение средств вычислительной техники и в связи с этим увеличение числа выполняемых функций, а также переход к более точным режимам работы, связанным с интенсификацией технологических процессов. Это усложняет структуру систем управления электроприводами и значительно повышает «цену» отказа их в работе. При определенном среднем уровне надежности элементов электропривода надежность системы быстро уменьшается при увеличении их числа, поскольку отказ элемента в ряде случаев вызывает отказ всей системы или значительной ее части. Проблема надежности электропривода за последнее время резко обострилась, что объясняется следующими объективными причинами:

- ◆ значительным увеличением сложности;
- ◆ экстремальностью условий эксплуатации;
- ◆ интенсивностью работы.

Особенно актуальна проблема надежности электропривода технологических установок горной, нефтяной и газовой промышленности с высокой ответственностью выполняемых функций (вентиляторов шахтного проветривания, газо- и нефтеперекачивающих агрегатов и др.).

Особенность современного электропривода состоит в отчетливо выраженной тенденции его комплектования из стандартного набора унифицированных функциональных устройств (средств вычислительной техники, преобразователей электрической энергии, элементов информационного канала и др.).

Вопросы обеспечения надежности электропривода должны решаться на всех этапах: проектирования, изготовления, и эксплуа-

тации. В ходе проектирования решаются задачи создания электропривода с техническими характеристиками, отвечающими заданным требованиям надежности и ремонтпригодности. При изготовлении элементов электропривода реализуется уровень надежности, заложенный при проектировании, а в эксплуатации с помощью правильно спланированной программы обслуживания. Важнейшим является этап проектирования, который в значительной степени определяет характеристики надежности на последующих этапах.

Элементы (блоки) электропривода могут быть ремонтируемыми. После отказа они подвергаются ремонту, состоящему в полном восстановлении или замене отказавшего элемента. Процесс функционирования электропривода с восстановлением элементов можно представить как последовательность интервалов работоспособности, чередующихся с интервалами простоя, вызванными отказами. Продолжительность интервалов работоспособности и простоя является непрерывной случайной величиной, исчерпывающими характеристиками которой являются интегральные функции распределения или плотности вероятностей.

На этапе проектирования отсутствуют экспериментальные статистические данные, получаемые на более поздних этапах обработки испытаний и эксплуатации к вновь создаваемым образцам электропривода. В связи с этим на этапе проектирования часто используют априорный анализ надежности, базирующийся на гипотетических математических моделях, отражающих вероятностные процессы функционирования реальных устройств. В первую очередь это относится к математическим моделям после-

довательности отказов и восстановления элементов электропривода. В инженерной практике при анализе надежности получили распространение аналитические методы, предполагающие экспоненциальные законы распределения отказов и простейшие потоки отказов элементов электропривода. Однако на практике законы распределения отказов могут подчиняться другим законам: Вейбулла (при оценке надежности электромеханических узлов, например, подшипниковых), нормальному (токоусъемных узлов), логарифмическому нормальному (электромашинных преобразователей) и др. Задача исследования надежности электропривода может значительно усложниться, если работоспособность некоторых его элементов зависит от состояния других элементов (например, блоков питания). В этом случае необходимо пользоваться условными законами распределения вероятностей.

Метод имитационного моделирования, реализуемый на ЭВМ, снимает ограничения, накладываемые аналитическими методами (экспоненциальный закон распределения отказов, простейший поток событий) при решении задач надежности. Имитационное моделирование, представляющее собой машинную реализацию метода статистических испытаний (метода Монте-Карло), позволяет решать задачи не только анализа (оценки вариантов структуры и влияния изменения различных параметров электропривода), но и синтеза, когда требуется создать систему с заданными характеристиками надежности при определенных ограничениях, которая является оптимальной по выбранным критериям оценки эффективности.

Сущность метода статистических испытаний применительно к исследованию задач надежности

состоит в построении вероятностного аналога системы и получении множества реализаций случайного процесса, которые обрабатываются с использованием методов математической статистики. При этом влияние различных случайных факторов в процессе моделирования учитывается введением элементов случайности путем бросания «жребия». В качестве элемента случайности используется датчик псевдослучайных чисел с равномерным распределением в интервале 0, 1, который используется для моделирования случайных процессов. При этом наиболее часто возникают задачи моделирования случайных событий и случайных величин.

В первом случае случайные события появляются в процессе моделирования в соответствии с заданными вероятностями, а во втором - реализации случайных величин с учетом заданных функций распределения. Обработка результатов моделирования ведется по ограниченному числу реализаций случайного процесса (выборке). При этом минимальный объем испытаний (выборки) определяется из условия получения заданной точности и достоверности. Точность оценки определяется вели-

чиной доверительного интервала, а достоверность - доверительной вероятностью.

Статистическая обработка результатов моделирования может производиться по множеству реализаций случайного процесса и, если система обладает эргодическими свойствами, по одной достаточно продолжительной во времени реализации.

Таким образом, имитационное моделирование при исследовании задач надежности заменяет физический эксперимент (проведение испытаний на надежность множества изделий) математическим исследованием, сохраняя сущность и характер эксперимента и используя статистические методы для обработки его результатов.

Имитационную модель можно рассматривать как средство проведения машинного эксперимента, причем эксперимент может ставиться многократно и заранее планироваться. При этом необходимо выбрать методику оценки адекватности получаемых результатов и автоматизировать процесс их обработки. Поэтому имитационные модели надежности сложных систем автоматизированного электропривода могут характеризоваться наличием математиче-

ского, информационного, технического и других видов обеспечения.

Основным недостатком, проявляющимся при использовании метода имитационного моделирования, является частный характер полученного решения, а не в общем виде, как это имеет место при аналитическом решении задачи. Поэтому для полного анализа характеристики надежности системы, а не получения только отдельной точки, необходимо многократно воспроизводить имитационный эксперимент, варьируя исходные данные задачи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессонов А.А., Мороз А.В. Надежность систем автоматического регулирования. -Л.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. -М.: Наука, 1978.
3. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы надежности. -М.: Наука, 1965.
4. Котеленц Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытание и надежность электрических машин. -М.: Высшая школа, 1988.
5. Рипс Я.А., Савельев Б.А. Анализ и расчет надежности систем управления электроприводами. -М.: Энергия, 1974.

© А.Д. Яризов