

снабжения. Отличия выражаются в:

- значительной интенсивности технологии процесса подготовки и проведения пуска РКН;
- жесткой циклограмме работы технологического оборудования КРК, связанной с необходимостью пуска РКН в строго определенное время;
- применении взрывоопасных и отравляющих топливных компонентов;
- неравномерном графике энергопотребления, который носит ступенчатый характер;
- высокой степени надежности технологических систем во время максимума нагрузки и недоступностью к ним обслуживающего персонала при проведении пуска РКН;
- многоплановости функционирования наземного технологического оборудования, которая характеризуется периодичностью, цикличностью, высокой интенсивностью и продолжительностью штатных работ.

Указанные признаки выдвигают особые требования к системе электроснабжения технологического оборудования КРК, в структуру которой входят три независимые друг от друга системы:

- электроснабжения технологического оборудования стартового комплекса;
- электроснабжения технологического оборудования технического комплекса ракеты-носителя;
- электроснабжения технологического оборудования технического комплекса космического аппарата и головного блока.

Очевидно, что проблема анализа качества энергоснабжения в системах бесперебойного питания КРК является актуальной и может проводиться на основе численного моделирования на специализированных математических моделях с включением параметров контроля накопителей энергии в составе СГЭС.

2. Решение проблемы

2.1. Моделирование сети. Моделирование сети позволит провести анализ качества питающего на-

пряжения большой группы оборудования в заданных ограничениях при допустимых отклонениях и, как следствие, ввести необходимую защиту приборов, а на конечных этапах создания сети, в частности внутреннего энергоснабжения, проверить устойчивость при изменении характера и величины нагрузки с учетом работы накопителей энергии в составе ИБП.

Необходимым этапом решения задач управления, прогнозирования поведения, моделирования СЭС является получения их адекватных моделей, которые базируются на теоретическом и на экспериментальном анализе свойств системы. Теоретический анализ основан на изучении физических и химических процессов, которые происходят в системе, позволяет получить математическое описание в виде, например, дифференциальных уравнений. При экспериментальном анализе на основе наблюдений входных и выходных сигналов системы можно получить ее параметрическую или непараметрическую модель.

Наиболее распространены параметрические модели, которые требуют решения задач структурной и параметрической идентификации, включающие при этом ограниченное количество параметров. Разнообразие видов нелинейности в описании модели не позволяет создать единую теорию идентификации таких нелинейных систем, которой является ЭС. Наиболее часто используемый классический подход основан на аппроксимации нелинейности, например рядами Вольтера, Гаммерштейна, Винера, полиномами Колмогорова-Габора и т.д., однако сфера использования таких моделей ограничена. Кроме того, дополнительные сложности в получении адекватного математического описания вызваны наличием в реальных сигналах погрешностей, которые требуют предварительной фильтрации.

Рассмотрим задачу идентификации СЭС, описываемой NARMAX – моделью [3, 4]:

$$\tilde{y}(k) = f[y(k-1), \dots, y(k-m), u(k-1), \dots, u(k-n), k] + x(k), \quad (1)$$

где $\tilde{y}(k), u(i)$ – выходные и входные сигналы объекта в момент времени t соответственно; m, n – порядки опоздания по выходным и входным каналам; $f[\dots]$ – неизвестная нелинейная функция; ξ – погрешность измерения выходного сигнала.

Введем вектор обобщенного входного сигнала

Тогда уравнение может быть записано в таком виде:

$$\tilde{y}(k) = f[x(k), k] + \xi(k). \quad (2)$$

Задача идентификации заключается в оценке функции $f[\dots]$ по измеренным входным и выходным переменным.

Рассмотри схему идентификации СЭС, включающей ИБП, приведенную на рис. 2. Наиболее используемым для решения задачи идентификации нелинейных динамических объектов является многошаговый персептрон (МП) и радиально-базисные сети (РБС), которые используют аппроксимацию нелинейного оператора $f[\dots]$ нейронной сетью.

Уравнение МП имеет вид:

$$y(k) = f^k \left[(\omega^q)^T f^{q-1} (\omega^{q-1})^{T-1} f^{q-2} \dots \right], \quad (3)$$

где q – количество шаров в сети; ω^i – вектор весовых параметров нейрона; $f^i[\dots]$ – функция активации шара.

Модель типа РБС, которая использует для аппроксимации $f[\dots]$ некоторые функции $\Phi_i(x)$, может быть задана таким способом:

$$\hat{y}(k) = \sum_{i=0}^N c_i \Phi_i(x), \quad (4)$$

где c_i – весовые коэффициенты, которые подлежат определению.

Если базисная функция выбрана в виде

$$\gamma_i(x) = \exp \left\{ -\frac{\|x - r_i\|^2}{r_i^2} \right\}, \quad (5)$$

где γ_i, r_i – центры и радиусы базисных функций соответственно, $\|\dots\|$ – евклидова норма, то определению подлежит вектор

$$\omega(k) = (c_0(k), c_1(k), \mu_1^k, \dots, \mu_N^k, c_N(k)), \quad (6)$$

который содержит все неизвестные параметры сети.

Задачей идентификации в этом случае является в обучении сети, т.е. в таком настраивании параметров при котором обеспечивался бы минимум функционала

$$J = e^2(k) = M \{ [\tilde{y}(k) - \hat{y}(k)]^2 \}. \quad (7)$$

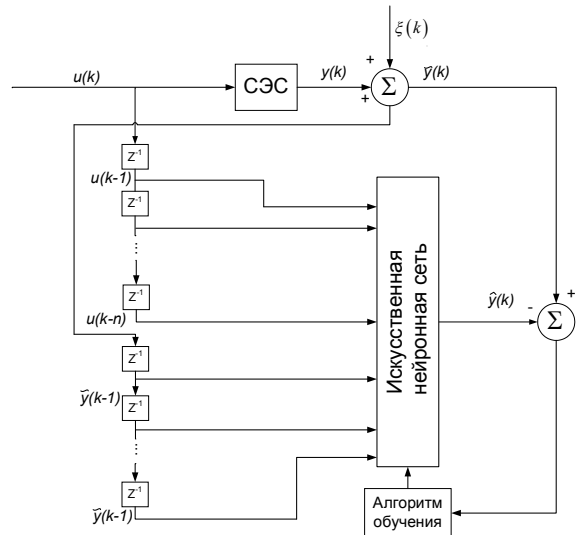


Рис. 2. Схема идентификации СЭС

Обучение сети производится с помощью любого метода минимизации функционала.

2.2. Контроль и диагностика электрохимических накопителей энергии в СГЭС. В ИБП, функционирующих в СГЭС КРК, электрохимические накопители работают в дежурном режиме с подзарядом (рис. 3). В этих условиях эксплуатации в аккумуляторах протекают различные деградационные процессы.

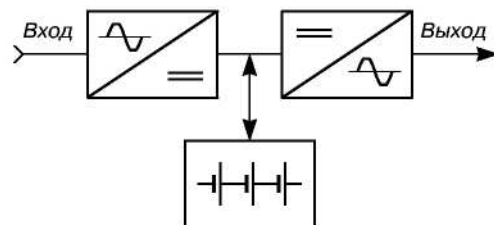


Рис. 3. Структурная схема ИБП

Эти процессы являются достаточно изученными в отдельности, однако, действуя в комплексе чаще

всего трудно предсказуемы, а их своевременный контроль является важной задачей, решение которой во многом определяет качество работы ИБП и всей СГЭС, особенно во внештатных режимах. В результате деградации происходит постепенное снижение выходного напряжения аккумуляторов, что в большинстве случаев приводит к отказу. Деградационные процессы связаны с необратимыми или частично-обратимыми химическими реакциями или структурными изменениями в активных массах электродов и ведут к изменениям во внутренней структуре аккумулятора (рис. 4). Эти изменения неизбежны, однако их можно диагностировать, представляется возможным предсказать, и, в конечном итоге, компенсировать [5].



Рис. 4. Деградационные процессы в аккумуляторах

В связи с этим проблема качественного оперативного контроля и диагностирования состояния аккумуляторов, прогнозирования их параметров в любой момент времени на основе известных текущих технических характеристик по данным оперативной диагностики напрямую пересекается и может быть интегрирована в задачу моделирования сети.

Оценить эффективность работы электрохимических накопителей можно путем анализа их емкостных характеристик, т.е. основным контрольным па-

раметром является емкость аккумулятора [6]. При этом емкость может быть оценена по внешним функциональным откликам и проанализирована по неразрушающему контролю внутреннего состояния электрохимической системы. С учетом того, что емкость аккумулятора зависит от множества параметров, ее однозначное определение по одному из них является весьма сложной задачей. В общем случае емкость электрохимического накопителя может быть описана математической моделью следующего вида:

$$Q = f(U, I, r, T, \epsilon, n, t, \tau), \quad (8)$$

где U – напряжение на аккумуляторе; I – абсолютная величина тока заряда (разряда); r – внутреннее сопротивление аккумулятора; T – температура эксплуатации аккумулятора; ϵ – глубина разряда аккумулятора; n – количество циклов; t – время эксплуатации.

Как видно из структуры модели емкость аккумулятора описывается довольно сложной функцией. Реализовать решение такой функции по внешним электротехническим параметрам весьма затруднительно. Для снижения неопределенности в описании аккумулятора можно ввести дополнительный неразрушающий контроль и диагностику внутреннего состояния электрохимической системы. Такой реализуется по схеме двойной функциональной и тестовой диагностики без вмешательства в штатную работу аккумулятора (рис. 5).

Применение такой диагностики позволит выделить главную причину потери емкости которая состоит в перекристаллизации активных масс электродов при длительном взаимодействии с электролитом. Предпосылками к потере емкости с изменением свойств внутренней структуры являются следующие процессы:

- физико-химические процессы на электродах;
- образование мостиков с проводимостью первого рода в материале сепаратора;

– челночные реакции окисления-восстановления в электролите.

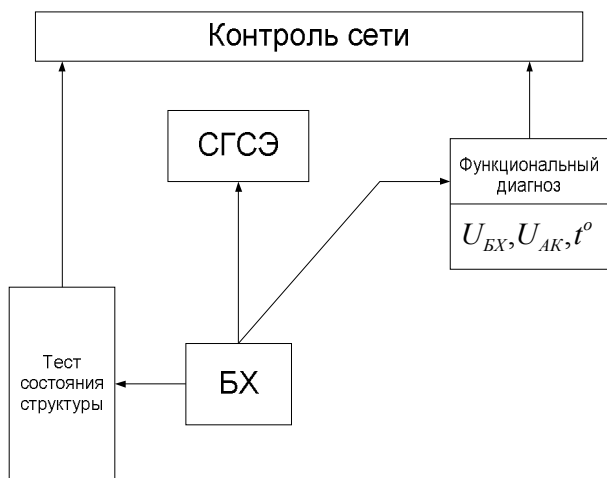


Рис. 5. Схема двойной диагностики электрохимического накопителя в составе СГЭС

Таким образом, для успешного решения задачи диагноза необходимым является контроль параметров штатного функционирования совместно с тестовым неразрушающим контролем внутреннего состояния электродов, электролита и сепаратора.

Серьезным препятствием построения надежного контроля и диагноза аккумулятора является зависимость интенсивности потери емкости от ряда трудно предсказуемых в условиях эксплуатации факторов, таких как:

- замыкание внутренней цепи вследствие образования проводящих мостиков;
- отличная от нормальных условий температура среды хранения и эксплуатации;
- состав и концентрация электролита;
- начальная заряженность.

Количественно оценка потери емкости обычно определяется величиной ее уменьшения за единицу времени хранения. Фактически потеря емкости может быть определена по соответствию функционального и тестового контроля аккумулятора при его работе в дежурном режиме или хранении в заряженном состоянии характерном для систем гарантированного энергоснабжения КРК.

Заключение

Анализ современных систем гарантированного энергоснабжения в плане постановки задачи может быть осуществлен различными методами моделирования сетей. Проведенные предварительные разработки показывают, что наиболее существенный вклад в анализ СГЭС можно выполнить с применением искусственной нейронной сети, в состав которой включается система контроля аккумуляторов, входящих в состав источника бесперебойного электропитания. При этом нейросетевое моделирование на сегодняшний момент только отрабатывается в области моделирования сетей энергоснабжения и требует адаптации для анализа подобных сложных технических систем.

Литература

1. Стромский И.В. Космические порты мира. – М.: Машиностроение, 1996. – 112 с.
2. На космодроме Байконур создана новая система управления коммерческими космическими аппаратами. ИА «ТС-ВПК». – [Электронный ресурс] режим доступа: <http://www.avias.com>.
3. Руденко О.Г., Бодянский Є В. Штучні нейронні мережі. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404 с.
4. Ham F.M. Kostanik I. Principles of Neurocomputing for Science and Engineering. – N. Y.: Mc Grsw-Hill Inc., 2001. – 340 p.
5. Романов В.В. Хамев Ю.М. Химические источники тока. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1978. – 264 с.
6. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

Поступила в редакцию 10.05.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.