

УДК 62-52-83:656.56

А.В. Серебряков

К ВОПРОСУ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предложена универсальная схема стабилизации выходных параметров электроэнергии, вырабатываемой различными альтернативными источниками энергии. Получена функциональная модель электромеханической части автономного источника энергии. Разработана математическая модель, позволяющая установить зависимость значений выходной переменной от значений входных переменных. Предложен алгоритм диагностирования электромеханической части альтернативных источников энергии, позволяющий выявить неисправность каждого элемента системы.

Ключевые слова: альтернативный источник энергии, система диагностики, диагностика, алгоритм диагностирования.

Развитие отечественной промышленности и увеличение потребления электроэнергии со стороны населения стимулируют расширение масштабов исследований, направленных на совершенствование топливно-энергетического комплекса РФ и снижение расходов традиционных углеводородных источников электроэнергии [1]. Вместе с тем, в отечественной и мировой электроэнергетике за многие годы накоплен достаточно большой опыт по созданию и использованию альтернативных автономных источников энергии. Исследования по созданию и совершенствованию возобновляемых источников энергии имеют высокие перспективы применения в настоящее время [2]. Более того, новая аппаратная база электромашиностроения, силовой электроники и микропроцессорной техники предрасполагает к созданию высокотехнологичных, энергоэффективных и быстро окупаемых агрегатов и систем. В связи с этим, потребуется новая или усовершенствованная система диагностики и прогнозирования технического состояния существующего или создаваемого автономного источника [3].

Принцип работы целого ряда нетрадиционных источников энергии основан на вращении ротора генератора за счет различных внешних сил [4]. Величина напряжения и частота на зажимах статорной обмотки генератора зависит от целого ряда факторов. Изменение скорости вращения, электрической нагрузки на валу генератора приводит к изменению величины выходного напряжения и частоты. Для стабилизации выходных параметров применяется следующая схема (рис. 1).

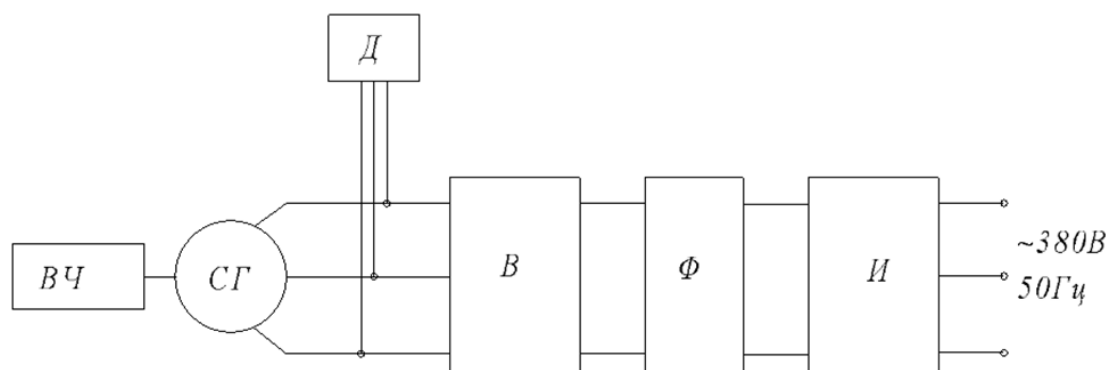


Рис. 1. Функциональная схема стабилизации тока нетрадиционных источников энергии:
ВЧ – вращающаяся часть; СГ – синхронный генератор; Д – система датчиков;
В – выпрямитель; Ф – фильтр; И – инвертор

Использование данной схемы позволяет получить на выходе системы стабилизированное напряжение 380В, 50Гц. Для достижения наиболее эффективной и надежной работы установки, целесообразно разработать систему оперативной диагностики технического состояния, которая обеспечит корректную и безотказную работу электромеханической части автономной установки. Система должна сигнализировать о параметрах нагрева, электродинамических нагрузках, состоянии питающей сети и возникших ошибках и неисправностях.

Важность анализа электропривода как объекта диагностирования связана с исследованием функционирования исправного состояния электропривода, разделением на элементы электропривода, определением параметров, характеризующих техническое состояние, пределами изменения технической возможности установки, оценкой степени детализации возможных мест, видов, причин и частоты появления дефектов электропривода, учитывая затраты, связанных с осуществлением элементарных проверок [5, 6].

Факторы, влияющие на надежность электромеханической части электропривода в процессе эксплуатации, можно разбить на три группы:

- конструкция и качество изготовления (факторы, не зависящие от потребителя);
- режим эксплуатации (частично зависящие от потребителя);
- качество обслуживания, качество ремонта (зависящие от потребителя).

Так как необходимо иметь постоянный контроль за работой системы, то следует применить функциональную модель диагностирования, построенную при определенных предположениях:

- каждый функциональный элемент модели может иметь конечное множество входных сигналов и только один выходной сигнал;
- для каждого функционального элемента модели есть определённые функциональные зависимости между входными и выходными сигналами, а также их допустимые значения;
- внешние входные сигналы функционального элемента принимают только допустимые значения;
- линии связи между функциональными элементами модели абсолютно надежны и должны соответствовать направленной взаимосвязи элементов принципиальной электрической или функциональной схемы объекта диагностирования;
- при выходе за пределы допустимых значений хотя бы одного из входных сигналов на выходе функционального элемента появляется недопустимый сигнал;
- функциональный элемент модели считается дефектным, если при допустимых входных сигналах на выходе элемента появляется недопустимый сигнал.

Таким образом, функциональная модель электромеханической части альтернативного источника энергии имеет вид (рис. 2).

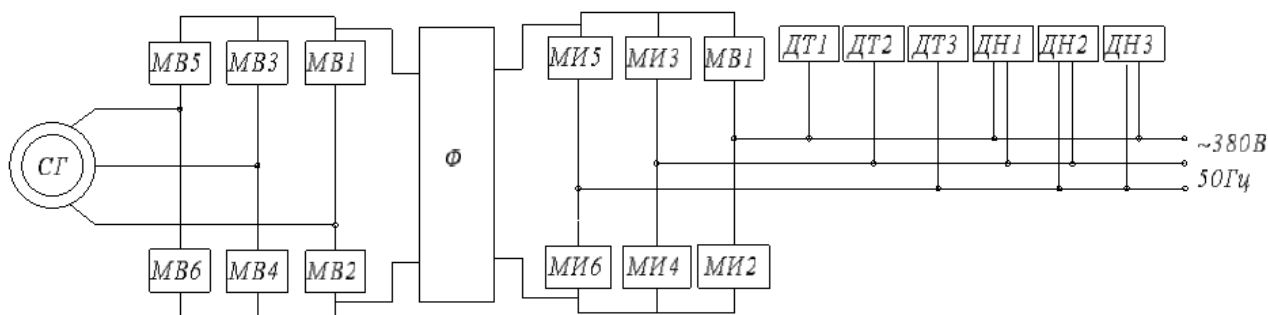


Рис. 2. Функциональная модель электромеханической части:

DT1-DT3, DN1-DN3 – датчики токов и напряжений;

MB 1 – MB6, MI 1 – MI6 - модули выпрямителя и инвертора соответственно;

U – выходное трехфазное напряжение

На основе функциональной модели строится математическая (логическая) модель, где указывается заключение о техническом состоянии каждого элемента по результатам оценки значений его входных и выходных сигналов вида «в допуске - не в допуске», «ноль или единица». При описании элементов диагностирования логично применять те математические формы и аппараты, которые бы наилучшим образом соответствовали поиску дефекта в данном устройстве. Однако необходимость сопряжения между собой разнородных математических моделей вынуждает пользоваться более общими математическими описаниями электропривода как объекта диагностирования. Одно из таких описаний представление электропривода абстрактной динамической системой, функционирование которой состоит в изменении состояния системы под внешними и внутренними воздействиями. Математическая модель подобной системы может быть определена как взаимосвязь переменных [7,8]:

$$(T, X, Z, S, S_0, F^*, F, L^*, L), \tag{1}$$

где T – множество моментов времени t ;

X, Z – множества входных x и выходных z сигналов системы;

S – множество состояний s системы;

S_0 – замкнутая область состояний системы, ограничивающая возможные перемещения s в процессе функционирования системы;

$F^*(T, X, S) = S_c^*$, $F(T, X, S) = S_c$ – операторы переходов, отражающие изменения состояния системы под действием внутренних и внешних возмущений;

$L^*(T, X, S) = Z_c^*$, $L(T, X, S) = Z_c$ – операторы выходов, описывающие формирование выходного сигнала под действием внутренних и внешних возмущений.

Индекс * принадлежит операторам, учитывающим действие внутренних возмущений.

Для распознавания технического состояния объекта диагностирования принято пользоваться набором классов технических состояний

$$E = \{ E_i \}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, N, \tag{2}$$

где E_i – подмножество технических состояний объекта, характеризующих совокупность возможных его состояний s_i с указанием соответствующих граничных условий (областей s_{oi}) и выполнимости этих условий по всем переменным состояниям s_i .

Предположим, что каждый i – й элемент объекта диагностирования выполняет лишь один алгоритм функционирования, а минимальная форма функции условия его работы состоит из одного члена конъюнкции внешних и внутренних переменных, т. е. имеет вид

$$\Phi_i = (F_i * L_i) \wedge x_{i1} \wedge x_{i2} \wedge \dots \wedge x_{ik}, \tag{3}$$

где F_i, L_i – операторы переходов и выходов в зависимости (1);

* – знак взаимодействия операторов;

x_{ik} – k входных сигналов 1-го элемента.

Тогда фактическое значение выходного сигнала z_i 1-го элемента логической модели будет зависеть от значения функции и его технического состояния E_i (2).

Возможные наборы значений двоичных переменных и E_i и соответствующие им значения выходного сигнала:

$\Phi_i = 1$, если функция условий работы i -го элемента является конъюнкцией его входных сигналов, все значения которых допустимы (т. е. равны единице);

$\Phi_i = 0$, если функция условий работы i -го элемента является конъюнкцией его входных сигналов, не все значения которых допустимы;

$E_i = 1$, если i -й элемент является исправным;

$E_i = 0$, если i – элемент неисправен.

Для получения логической (математической) модели объекта каждый его функциональный элемент заменяется логическим блоком, имеющим один выход и существенные для данного выхода входы. Построение логической модели производится непосредственно по функциональной схеме объекта диагностирования. Логическая модель может быть представлена в виде графа. Вершины графа будут являться элементами логической модели, а также ее входными и выходными сигналами, а дуги – связью между элементами и внешними входными и выходными сигналами (рис. 3).

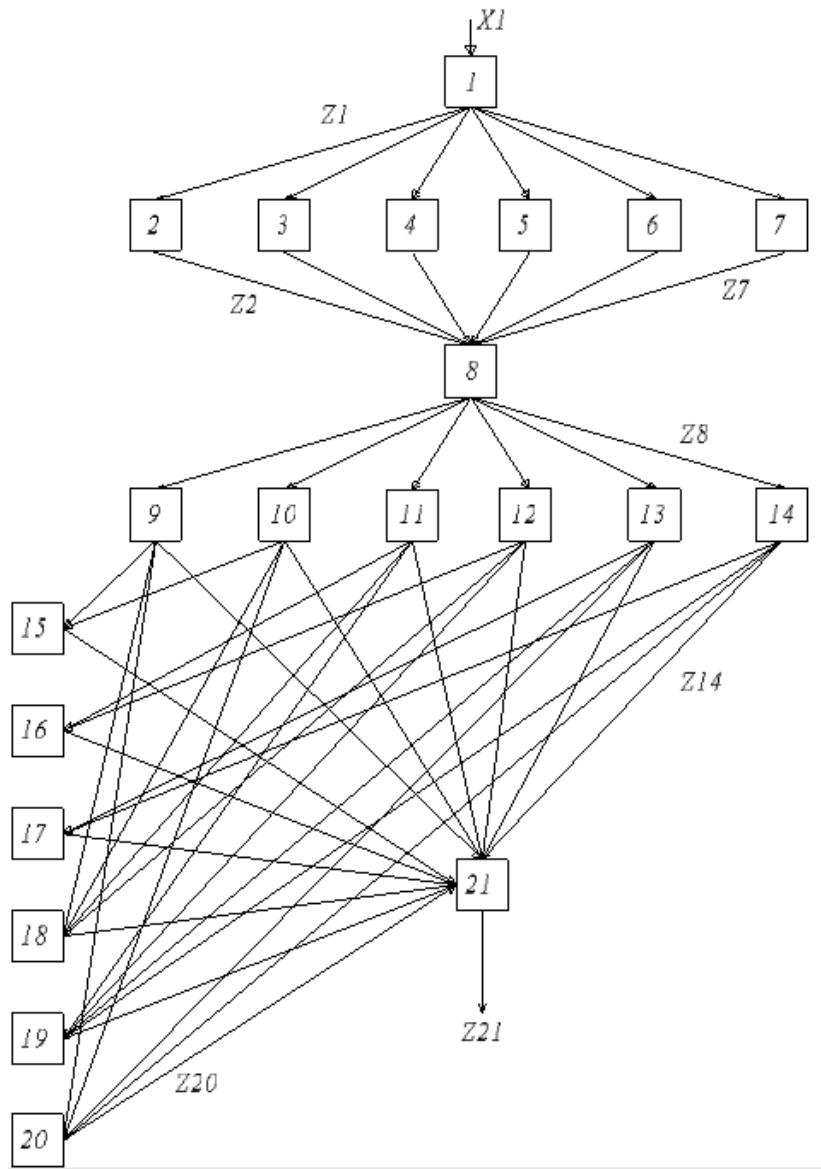


Рис. 3. Математическая модель электромеханической части

Входные и выходные сигналы объекта диагностирования представлены дугами с символами x и Z . Индекс i , соответствует номеру элемента на функциональной схеме. Соответствие внешних входных x и выходных Z сигналов.

После математического описания строится таблица функций неисправностей. Она задает поведение объекта диагностирования в исправном и всех возможных неисправных состояниях. На рис. 4 в форме ориентированного графа представлен алгоритм диагностирования в системе оперативной диагностики технического состояния. Внутренние вершины графа представляют собой элементарные проверки (выходные координаты Z_i).

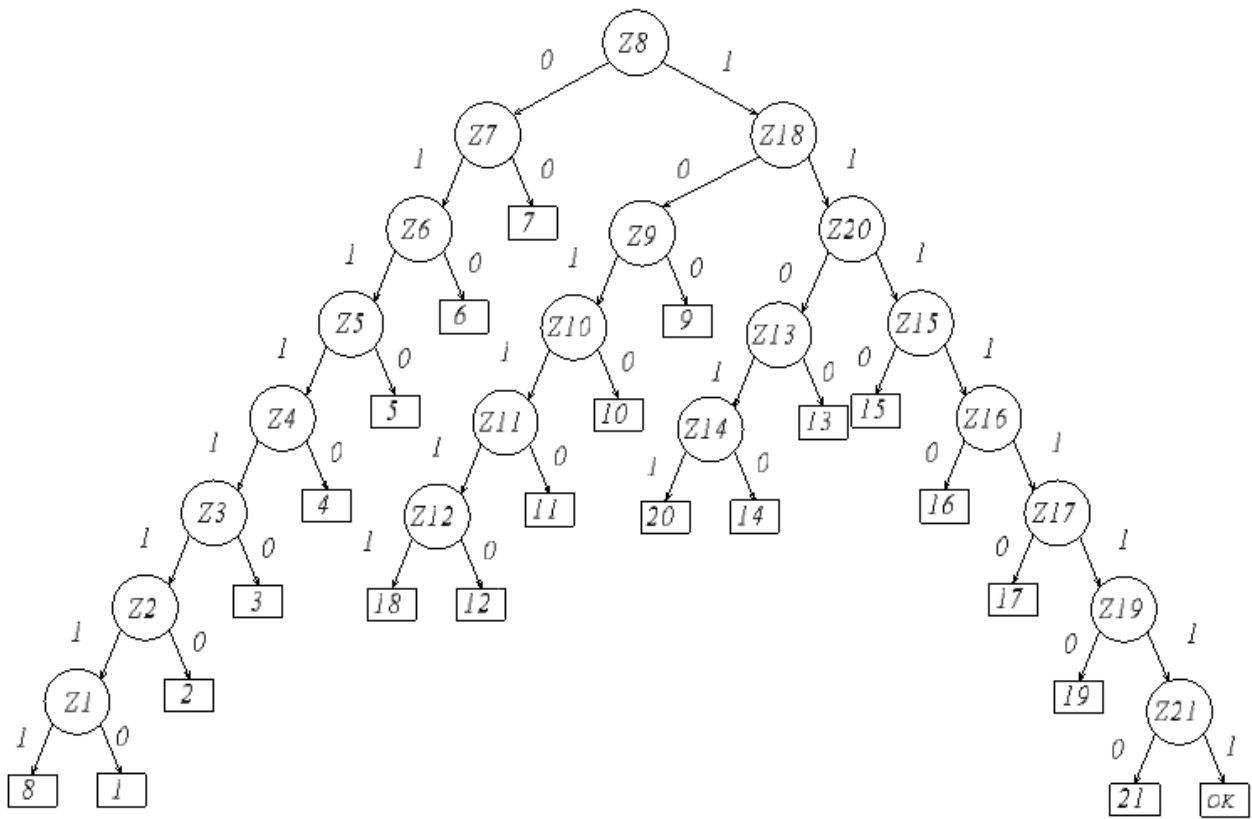


Рис. 4. Алгоритм диагностирования привода

Для наглядности граф представлен в виде квадратов с номерами элементов, неисправности которых выявлены, и дугами, которые указывают на исправное (единица) или неисправное (ноль) техническое состояние i -го элемента, из вершин которого исходят дуги.

Выводы

Предложенная универсальная схема стабилизации выходных параметров электроэнергии, вырабатываемой различными альтернативными источниками энергии, применима к электромеханическим системам малых ГЭС, ветроэнергетических установок, приливных, волновых электростанций и целого ряда других альтернативных источников энергии, где используется вращение вала генератора для выработки электроэнергии. Полученные функциональная и математическая модель электромеханической части автономного источника энергии позволяют установить зависимость и взаимовлияние между различными элементами системы. Предложенный алгоритм диагностирования позволяет выявить неисправность любого элемента.

Библиографический список

1. **Онищенко, Г.Б.** Развитие энергетики России. Направления инновационно-технологического развития / Г.Б. Онищенко, Г.Б. Лазарев. – М.: РСА, 2008. – 200 с.
2. **Крюков, О.В.** Интеллектуальные ветроэнергетические установки для автономных систем электроснабжения / А.В. Серебряков, О.В. Крюков; НГТУ им. Р.Е. Алексева. – Нижний Новгород, 2014. – 135 с.
3. **Васенин, А.Б.** Диагностика электромеханической части ветроэнергетических установок / А.Б. Васенин, О.В. Крюков // Электромеханичні і енергозберігаючі системи. – 2012. – №3(19). – С. 549–552.
4. **Титов, В.Г.** Дифференцирование нагрузки в системах электроснабжения автономных потребителей / В.Г. Титов, Е.А.Чернов, А.В. Шахов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексева. – 2015. – № 2 (109). – С. 203–209.
5. **Крюков, О.В.** Метод и система принятия решений по прогнозированию технического состоя-

- ния электроприводных газоперекачивающих агрегатов / О.В. Крюков, А.В. Серебряков // Электротехнические системы и комплексы. – 2015. – № 4 (29). – С. 35–38.
6. **Крюков, О.В.** Artificial neural networks of technical state prediction of gas compressor units electric motors / О.В. Крюков, А.В. Серебряков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2016. – Т. 16. – № 1. – С. 66–74.
 7. **Серебряков, А.В.** Оптимизация диагностирования электромеханической части ветроэнергетических установок // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. № 3. С. 39-46.
 8. **Серебряков, А.В.** Универсальная система мониторинга электродвигателей газоперекачивающих агрегатов / А.В. Серебряков, О.В. Крюков // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2016. – № 4 (546). – С. 74–81.

*Дата поступления
в редакцию 23.09.2016*

A.V. Serebryakov

TO THE QUESTION OF DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alekseev

We propose a universal scheme of stabilization of output parameters of electricity generated by various alternative sources of energy in this paper. The obtained functional model of the electromechanical part of the autonomous energy source. A mathematical model is developed, allowing to establish the dependence of values of the output variable from the values of the input variables. The algorithm of diagnosing of the electromechanical part of the alternative energy sources, allowing to identify the fault in each system component.

Key words: alternative energy source, system of diagnostic, diagnostics, algorithm of diagnostics.