

С. Н. Бабий, к. т. н.; О. А. Паянок, к. т. н.; Е. Д. Фолюшняк

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ АНАЛОГОВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Предложена математическая модель диагностирования автоматических аналоговых управляющих устройств электропривода, которая позволяет повысить качество диагностирования электропривода. Это реализуется благодаря ускоренному поиску измерительного канала, в котором присутствует экстремальный уровень сигнала, и учета параметра сбоев в каждом измерительном канале.

Ключевые слова: управляющее устройство, диагностика, электрический привод.

Постановка проблемы

Разработка систем регулируемого электропривода (ЭП), а также методов и средств его диагностирования является перспективным направлением развития современной науки и техники [1].

Несмотря на широкое использование в последнее время ЭП с микропроцессорными системами управления, распространёнными являются ЭП с аналоговыми и цифро-аналоговыми системами управления. В результате естественных процессов старения и влияния различных возмущающих воздействий, имеющих место при эксплуатации, характеристики ЭП со временем ухудшаются. Следует заметить, что существенное влияние на качество характеристик ЭП осуществляют именно аналоговые блоки управления, которые являются наиболее чувствительными к процессам старения и разного рода возмущениям.

Именно поэтому возникает необходимость мониторинга технического состояния ЭП в целом и, в частности, автоматических аналоговых управляющих устройств (АУУ) их систем управления, который реализуют путем проведения непрерывного контроля и диагностирования.

Анализ последних исследований и публикаций

Некоторые аспекты решения данного вопроса рассмотрены в работах [2 – 5]. В работе [2] рассмотрены пять основных подходов к диагностированию электрооборудования в процессе его эксплуатации или в рамках проведения тестовых испытаний: сравнение диагностического параметра с установленным значением; использование известных вероятностных соотношений между неисправностью и наблюдаемыми изменениями параметров; определение минимального количества точек, в которых наблюдаются диагностические сигналы; проверка тестовыми сигналами; создание полных математических моделей диагностируемых объектов. В работах [3, 4] разработаны математические модели диагностирования замкнутых и разомкнутых систем управления электроприводом, в основу которых положен подход сравнения диагностических параметров с зоной допустимых значений для заданного режима работы. Указанные модели имеют ограниченность, поскольку не учитывают параметр сбоев в каждом измерительном канале. Использование данного параметра позволило бы осуществлять прогнозирование состояния ЭП. В работе [5] показан другой подход к решению данной проблемы путем создания диагностических моделей в виде адаптивных нейро-нечетких сетей.

Постановка задачи исследования

Разработка математической модели диагностирования автоматических АУУ ЭП, которая реализует ускоренный поиск измерительного канала, в цепи которого присутствует экстремальный уровень сигнала, а также учитывает параметр сбоев в каждом измерительном канале, что позволит повысить качество диагностирования ЭП в целом и, в частности, автоматических АУУ его системы управления. Неучитывание сбоев в начале их возникновения влечет незначительное ухудшение характеристик привода, а на более позднем этапе может стать причиной полного его отказа.

Основные материалы исследований

Как известно, элементной базой автоматических АУУ ЭП являются радиоэлектронные элементы и устройства, которые в процессе эксплуатации ЭП подвергаются воздействию различных внешних (климатических, механических) и внутренних факторов. Эти факторы приводят к выходу одного или нескольких параметров, характеризующих работу автоматических АУУ ЭП, за пределы допустимых значений [6], которые определяются основным и предельным полями допуска.

Работа устройства с параметрами, которые находятся за пределами граничного поля допуска (ГПД), является недопустимой, поскольку последующая эксплуатация объекта может повлечь создание аварийных ситуаций. Если же параметры находятся за пределами основного поля допуска (ОПД), то его последующее использование по назначению является нецелесообразным, исходя из требований функциональной пригодности, безопасной эксплуатации и ремонтно-восстановительных работ.

Сложность диагностирования замкнутых систем управления объясняется наличием обратных связей (ОС). Появление недопустимого уровня параметра на выходе какого-либо одного элемента влечет появление недопустимых уровней параметров на входах других элементов, охваченных контуром ОС. Это происходит независимо от того, обусловлено это неисправностью самого элемента или на его вход был подан недопустимый уровень сигнала с выхода какого-то элемента, не входящего в контур ОС [7]. Поэтому при разработке модели диагностирования необходимо предусмотреть возможность выявления именно дефектного АУУ без создания искусственных разрывов в контурах регулирования.

Следует учитывать, что каждый из диагностических параметров имеет собственные закономерности изменения во времени, а потому приходится индивидуально для каждого из них формировать границы областей допустимых значений, что приводит к усложнению процесса диагностирования и, соответственно, увеличению затрат времени на проведение одного цикла диагностирования. В связи с этим предлагается использовать предложенный в работе [4] подход и осуществить переход от непосредственного анализа диагностических параметров к анализу сигналов, которые бы характеризовали точность отработки входных задающих влияний и были выражены в относительных единицах, что позволит сформировать унифицированные, неизменные во времени границы областей их допустимых значений.

Соответствующая математическая модель параметров имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} i = \overline{1, n}, \\ \varepsilon_i(t) = \frac{x_i(t) - x_{ном_i}(t)}{x_{ном_i}(t)}, \\ \varepsilon_i(t) \in [-1, 1], \\ \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_i > 0, \text{ если } x_i > x_{ном_i}, \\ \varepsilon_i < 0, \text{ если } x_i < x_{ном_i}, \\ \varepsilon_i = 0, \text{ если } x_i = x_{ном_i}, \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (1)$$

где n – количество диагностированных автоматических АУУ системы управления ЭП; ε_i – параметр, который характеризует точность отработки входного задающего влияния i -ым АУУ в фиксированный момент времени t ; x_i – значения диагностического параметра на выходе i -го АУУ в фиксированный момент времени t ; $x_{ном_i}$ – номинальное значение диагностического параметра на выходе i -го АУУ в фиксированный момент времени t .

Формирование номинальных значений диагностических параметров обеспечивает соответствующая модель, которая с необходимой точностью воспроизводит функционирование отдельных АУУ ЭП, поскольку целостная модель не дает возможности учитывать действительные значения параметров, которые подаются на каждый из диагностированных АУУ.

В процессе работы ЭП, под действием разнообразных влияний, могут возникать сбои, которые необходимо отслеживать и анализировать. Накопление информации о сбоях, которые возникают в каждом измерительном канале, позволит выявлять наиболее чувствительный к действию возмущений автоматический АУУ и осуществлять прогнозирование состояния ЭП в целом и, в частности, его системы управления. Таким образом обеспечивается реализация принципа обслуживания ЭП по его фактическому техническому состоянию.

Учитывая вышеизложенное, математическая модель для диагностирования автоматических АУУ ЭП будет выглядеть так

$$\left\{ \begin{array}{l} i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}, \quad s_j = \overline{0, g}, \\ k = 1, \quad v = 1, \\ i = 1 \Rightarrow \begin{cases} j = 1, \\ \varepsilon_{\max_j} = |\varepsilon_i|, \end{cases} \\ \begin{cases} i = i + 1, \\ |\varepsilon_i| > \varepsilon_{\max_j} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} j = i, \\ \varepsilon_{\max_j} = |\varepsilon_i|, \end{cases} \\ x_j \rightarrow \text{const } 1, \quad \text{если} \quad \begin{cases} \varepsilon_{\max_j} \geq \varepsilon_{zp}, \\ \varepsilon_j > 0, \end{cases} \\ x_j \rightarrow \text{const } 0, \quad \text{если} \quad \begin{cases} \varepsilon_{\max_j} \geq \varepsilon_{zp}, \\ \varepsilon_j < 0, \end{cases} \\ x_j \rightarrow \text{var}(\text{const } 1), \quad \text{если} \quad \begin{cases} i = n, \\ \varepsilon_j > 0, \\ \varepsilon_{\max_j} \geq \varepsilon_{don}, \\ |\varepsilon_j| \rightarrow m, \quad m \geq q \vee \begin{cases} |\varepsilon_j| \rightarrow m, \quad 0 < m < q, \\ s_j = s_j + 1, \quad s_j \geq g, \end{cases} \end{cases} \\ x_j \rightarrow \text{var}(\text{const } 0), \quad \text{если} \quad \begin{cases} i = n, \\ \varepsilon_j < 0, \\ \varepsilon_{\max_j} \geq \varepsilon_{don}, \\ |\varepsilon_j| \rightarrow m, \quad m \geq q \vee \begin{cases} |\varepsilon_j| \rightarrow m, \quad 0 < m < q, \\ s_j = s_j + 1, \quad d \geq g, \end{cases} \end{cases} \end{array} \right. \quad (2)$$

где s_j – текущее количество сбоев, причем индекс j характеризует тот автоматический АУУ и, соответственно, тот измерительный канал, исходный сигнал в котором является экстремальным в данном цикле сканирования; g – предельное значение, которое определяет необходимое количество сбоев в одном измерительном канале для формирования вывода о будущей неисправности в данном измерительном канале; k – сигнал на выходе сенсора коммутации, свидетельствующий о положении коммутационного аппарата, которым подается напряжение питания; v – сигнал на выходе сенсора питания системы управления ЭП; $\varepsilon_{\max_j}$ – текущее экстремальное значение сигнала ε в данном цикле сканирования, которое было зафиксировано в j -ом измерительном канале; ε_{zp} – предельно допустимое значение отклонения диагностического параметра от его номинального значения по отношению к ППД; ε_{don} – предельно допустимое значение отклонения диагностического параметра от его номинального значения по отношению к ОПД; m – количество превышений диагностическим параметром пределов ОПД в течении времени, которое отведено на диагностирование одного измерительного канала; q – предельное значение, которое определяет необходимое количество превышений диагностическим параметром пределов ОПД (для выявления неисправности) в течении времени, которое отведено на диагностирование одного измерительного канала.

Выражение *const 1* (конституента единицы) значит, что на выходе i -го измерительного канала появляется постоянный максимально возможный выходной сигнал.

Выражение *const 0* (конституента нуля) значит, что на выходе i -го измерительного канала

появляется постоянный минимально возможный либо выходной сигнал отсутствует вообще.

Выражения $\text{var}(\text{const } 1)$ или $\text{var}(\text{const } 0)$ имеют аналогичные отмеченным выше значения, за исключением того, что соответствующая неисправность возникла по причине сбоев или длительного превышения параметром пределов ОПД.

Процесс диагностирования в соответствии с моделью (2) происходит таким образом. После окончания очередного цикла сканирования измерительных каналов и в случае неудовлетворительных результатов проверок на предмет определения неисправностей типа $\text{const } 1$ и $\text{const } 0$ осуществляется проверка на неисправности типа $\text{var}(\text{const } 1)$ или $\text{var}(\text{const } 0)$. В частности, если сигнал ε в j -ом измерительном канале за время проверки появляется m раз, причём $m \geq q$, тогда формируется вывод о неисправности типа $\text{var}(\text{const } 1)$ или $\text{var}(\text{const } 0)$. В противоположном случае, если $0 < m < q$, тогда фиксируется сбой в данном измерительном канале и начинается новый цикл сканирования. Если же количество сбоев в j -ом измерительном канале превышает некоторое предельное значение $s \geq g$, тогда формулируется вывод о неисправности типа $\text{var}(\text{const } 1)$ или $\text{var}(\text{const } 0)$.

Анализ данной математической модели позволяет сделать вывод, что для технической реализации соответствующего устройства диагностирования необходимо предусмотреть опрос n измерительных каналов с возможностью распознавания знака сигнала, а также сенсоров коммутации и напряжения питания. Кроме того, необходимо обеспечить обработку информации и выведение ее на экран для визуального контроля состояния исследуемого объекта, а также связь с ПЭВМ верхнего уровня для сохранения и последующей обработки информации.

Выводы

Разработана математическая модель диагностирования автоматических АУУ ЭП, которая, благодаря реализации ускоренного поиска измерительного канала, в цепи которого присутствует экстремальный уровень сигнала, и учета параметра сбоев в каждом измерительном канале, позволяет повысить качество диагностирования ЭП в целом и, в частности, автоматических АУУ его системы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильинский Н. Ф. Перспективы развития регулируемого электропривода / Н. Ф. Ильинский. // Электричество. – 2003. – № 2. – С. 2 – 7.
2. Марченко Б. Г., Мыслович М. В. Преспективные подходы к созданию систем диагностики электротехнического оборудования / Б. Г. Марченко, М. В. Мыслович. // Техническая электродинамика. – 1997. – № 2. – С. 49 – 52
3. Грабко В. В. Математична модель діагностичного контролю діючих систем керування електричним приводом / В. В. Грабко, С. М. Бабій. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Вип. 4/2006 (39), частина 1. – С. 139 – 140.
4. Бабій С. М. Підвищення якості діагностування трактів керування в системах електричного привода / С. М. Бабій. // Вісник ВПІ. – 2008. – № 1. – С. 78 – 83.
5. Агамалов О. Н. Оценка технического состояния электрооборудования в реальном масштабе времени методом нейро-нечеткой идентификации / О. Н. Агамалов. // Exponenta Pro. Математика в приложениях – 2003. – № 2. – С. 36 – 44.
6. Давыдов П. С., Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / П. С. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
7. Осипов О. И. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов / О. И. Осипов, Ю. С. Усынин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.

Бабій Сергій Николаевич – к. т. н., старший преподаватель кафедры электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте.

Паянок Александр Анатолієвич – к. т. н., старший преподаватель кафедры возобновляемой энергетики и транспортных электрических систем и комплексов.

Фолушняк Елена Дмитриевна – магистрант кафедры электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте.

Винницький національний технічний університет.