

Повышение надежности сервоприводов беспилотных летательных аппаратов за счет оптимизации режима работы

Improving the dependability of the servo drives of unmanned aerial vehicles through optimized operating modes

Коробейников И.С.¹, Вырыханов Д.А.^{1*}, Митяев М.В.¹
Korobeynikov I.S.¹, Vyrykhanov D.A.^{1*}, Mityaev M.V.¹

¹Акционерное общество «Конструкторское бюро промышленной автоматики», Саратов, Российская Федерация

¹Industrial Automation Design Bureau, Saratov, Russian Federation

*differentr@mail.ru



Коробейников И.С.



Вырыханов Д.А.



Митяев М.В.

Резюме. Цель. Повышение отказоустойчивости сервопривода за счет отдельного резервирования структурных элементов. Методы. В статье применяются методы гармонического анализа, теории надежности технических систем. Результаты. Проведено сравнение значений средней наработки до отказа сервоприводов, отличающихся степенью резервирования составляющих их структурных элементов (внешних соединителей, датчиков обратной связи, плат управления, электродвигателей и силовых редукторов). Показано, что резервирование структурных элементов одновременно с обеспечением возможности переключения на оставшиеся в работоспособном состоянии элементы в процессе работы сервопривода позволяет в три раза увеличить устойчивость к отказу. Предложен критерий определения момента времени принятия решения об изменении структуры электропривода до момента отказа резервированного элемента структуры электропривода. Заключение. Предлагаемый в статье подход позволяет формализовать порядок изменения структуры электропривода в целях обеспечения требуемого уровня отказоустойчивости.

Abstract. Aim. Improving the reliability of servo drives through partial redundancy of structural components. Methods. The paper uses methods of harmonic analysis, technical system dependability theory. Results. The mean times to failure of servo drives that differ in terms of the level of redundancy of structural elements (external connectors, feedback sensors, control boards, electric motors and load gears) were compared. It was shown that structural element redundancy along with the capability to switch to still-operable elements in the course of servo drive operation enable a triple increase of the failure tolerance. The authors suggested criteria for identifying the moment of time for decision-making regarding an electric servo's structure modification before the moment of failure of the redundant element of such servo. Conclusion. The method suggested in the paper allows formalizing the process of electric servo structure modification for the purpose of ensuring the required level of failure tolerance.

Ключевые слова: сервопривод, надежность, отказоустойчивость, беспилотный летательный аппарат, режим.

Keywords: servo drive, dependability, failure tolerance, unmanned aerial vehicle, mode.

Для цитирования: Коробейников И.С., Вырыханов Д.А., Митяев М.В. Повышение надежности сервоприводов беспилотных летательных аппаратов за счет оптимизации режима работы // Надежность. 2022. №4. С. 16-22. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-4-16-22>

For citation: Korobeynikov I.S., Vyrykhanov D.A., Mityaev M.V. Improving the dependability of the servo drives of unmanned aerial vehicles through optimized operating modes. Dependability 2022;4:16-22. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-4-16-22>

Поступила 28.04.2022 / После доработки 20.10.2022 / К печати 15.12.2022

Received on: 28.04.2022 / Revised on: 20.10.2022 / For printing: 15.12.2022.

Введение

В настоящее время развитие малоразмерной беспилотной авиации (МБА) массой до 2-3 тонн требует создания высоконадежных сервоприводов управления закрылками, элеронами, автоматами перекоса, хвостовыми стабилизаторами; приводов дроссельных заслонок поршневых двигателей и других ответственных систем. В составе системы управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) сервопривод является ключевым исполнительным звеном, отказ которого приводит к аварийной ситуации, как правило, заканчивающейся гибелью аппарата и невыполнением полетного задания. В этой связи разработка методов снижения вероятности отказа сервоприводных систем управления БПЛА является актуальной научно-практической задачей.

1. Требования, предъявляемые к надежности сервоприводов летательных аппаратов

В соответствии с концепцией электрификации бортовых систем летательных аппаратов, сервоприводы МБА выполняются на базе систем электропривода. Преимуществами электроприводов, по сравнению с распространенными гидравлическими приводами, являются: отсутствие трубопроводов и рабочей жидкости, что уменьшает полетную массу; высокий КПД; высокие динамические характеристики сервопривода вследствие относительно меньшей присоединенной массы движущихся частей.

Основным требованием при создании авиационных сервоприводов является обеспечение вероятности безотказной работы – не менее 0,998 в течение часа полета. Данное требование обеспечивается за счет совершенствования конструкции (структуры) и оптимизации режима работы сервопривода. В настоящее время основным методом повышения надежности технических систем является резервирование ответственных комплектующих: электродвигателя, планетарного редуктора, информационно-силовой платы управления, датчиков угловых координат выходного вала сервопривода и т.д., что приводит к значительному увеличению массогабаритных характеристик. Оптимизировать список резервируемых подсистем сервопривода возможно за счет определения (в том числе прогнозирования) информационной подсистемой технического состояния отдельных составляющих сервопривода и переключения на оставшиеся в работоспособном состоянии. Таким образом, задача обеспечения требуемого уровня надежности сервопривода решается разработкой алгоритма изменения структуры сервопривода в условиях деградации технического состояния его отдельных составляющих, а также в условиях ограничений, накладываемых на массогабаритные, энергетические и информационно-вычислительные параметры.

2. Описание сервопривода дроссельной заслонки авиационного поршневого двигателя АПД-140

В настоящей работе на примере разработки сервопривода дроссельной заслонки авиационного поршневого двигателя АПД-140 приводится сопоставление параметров надежности вариантов конструктивного исполнения сервопривода, разработанных с учетом и без учета возможностей информационной системы принимать решение об оптимальной структуре изделия.

Для частного решения вышеописанной задачи, в рамках проведенных опытно-конструкторских работ была создана конструкция электрической дроссельной заслонки (рис. 1), совмещенная с дублированным электродвигателем, дублированным контроллером управления, дублированным датчиком обратной связи и силовым редуктором. Назначением дроссельной заслонки является изменение проходного отверстия воздухопровода по сигналам электронного регулятора двигателя летательного аппарата – от полностью открытого до полностью закрытого. Дроссельная заслонка должна обеспечивать собственную работоспособность в тяжелых условиях полета БПЛА, характеризующихся наиболее жесткими требованиями по электромагнитной совместимости, молниестойкости, устойчивости к климатическим и механическим воздействующим факторам авиационных агрегатов. В случае полного отказа дроссельной заслонки или потери электропитания в результате аварии системы электроснабжения БПЛА, механизм дроссельной заслонки откроет проходное сечение воздухопровода, обеспечив подачу воздуха в двигатель.

Структурно дроссельная заслонка образует два канала управления положением поворотного элемента (основной и дублирующий), которые, в свою очередь, при частичном отказе составных элементов имеют возможность реализовать реконфигурацию, задействовав работоспособные элементы для создания полноценного канала управления. Например, работоспособный контроллер основного канала может управлять работоспособным двигателем дублирующего канала, используя датчик обратной связи – свой или соседнего канала.

Каждый из каналов принимает команды и передает информацию о своем техническом состоянии по каналам информационного обмена ARINC 429, что обеспечивает высокую помехозащищенность информационного обмена. Также каждый канал контролирует информацию о техническом состоянии соседнего канала, выдаваемую соседним каналом по каналу информационного обмена ARINC 429.

При работе осуществляется непрерывный контроль состояния датчиков тока, температуры, положения вала электродвигателя и поворотного элемента, соответствия математической модели для определения исправности каналов. Также каждым каналом для оценки состояния

соседнего канала осуществляется прием и анализ информации выдаваемой соседним каналом в электронный регулятор управления двигателем по каналу ARINC 429. Контроллер дроссельной заслонки (КДЗ) второго канала обрабатывает информацию с датчиков параллельно с КДЗ основного канала, а также подает управляющие сигналы на электродвигатель (ЭДВ) второго канала, однако сам ЭДВ обесточен. В таком случае переход на управление вторым каналом будет осуществлен намного быстрее, нежели при холодном резервировании КДЗ. В случае отказа одного из датчиков обратной связи (ДОС)

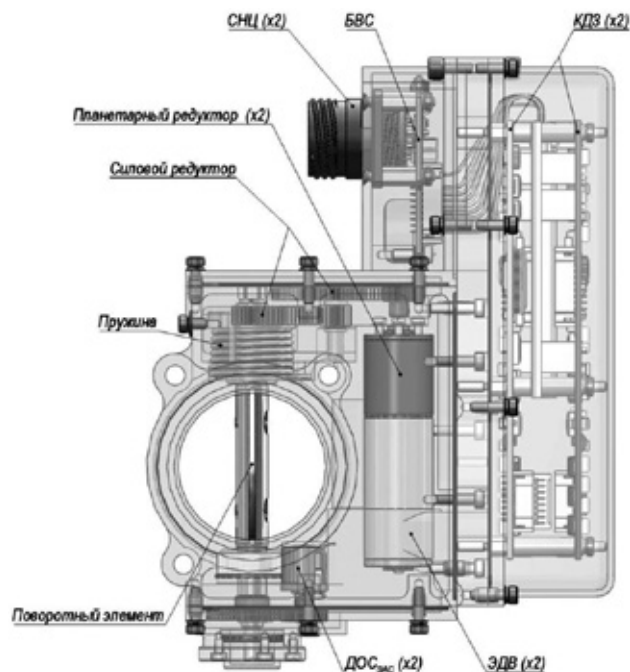


Рис. 1. Конструкция дроссельной заслонки. СНЦ – электрический соединитель; БЭС – блок внешних соединителей; КДЗ – контроллер дроссельной заслонки; ЭДВ – электродвигатель; ДОС_{зас} – датчик обратной связи

используется информация с другого, функционирующего в состоянии горячего резерва.

Оценка надежности системы проведена в соответствии с положениями ГОСТ 27.301-95 [1]. В статье приняты следующие предпосылки и допущения:

- времена распределения отказов структурных элементов распределены по показательному закону. Это допущение основывается на том, что исследуемая система в подавляющем большинстве состоит из электронных компонент, поток отказов которых по практическим наблюдениям является простейшим [2];

- отказы структурных составляющих рассматриваемой технической системы взаимно независимы. Это допущение основывается на конструкции БПЛА.

В состав дроссельной заслонки (ДЗ) входят два канала (рис. 2) (основной и резервный) управления положением поворотного элемента, при этом электро-механическая часть находится в холодном резервировании (параллельное ненагруженное соединение), а электронная в горячем (параллельное нагруженное соединение). Пунктирными линиями на рис. 2 показаны возможные изменения в структуре сервопривода, реализуемые согласно результатам контроля работоспособности информационного канала управления, ДОС. Также по результатам программно-аппаратной самодиагностики контроллера возможна передача управления соседнему контроллеру.

3. Анализ показателей надежности сервопривода дроссельной заслонки авиационного поршневого двигателя АПД-140

Сравнение показателей надежности рассматриваемого сервопривода при возможности динамического изменения его структуры и без нее иллюстрируется различием логических схем расчета надежности данных

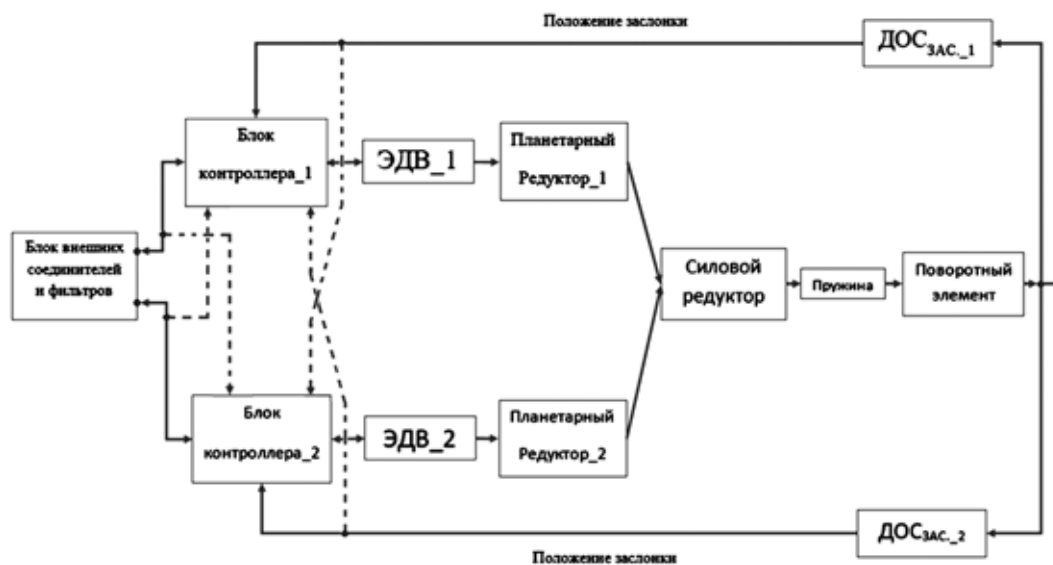


Рис. 2. Структурная схема дроссельной заслонки

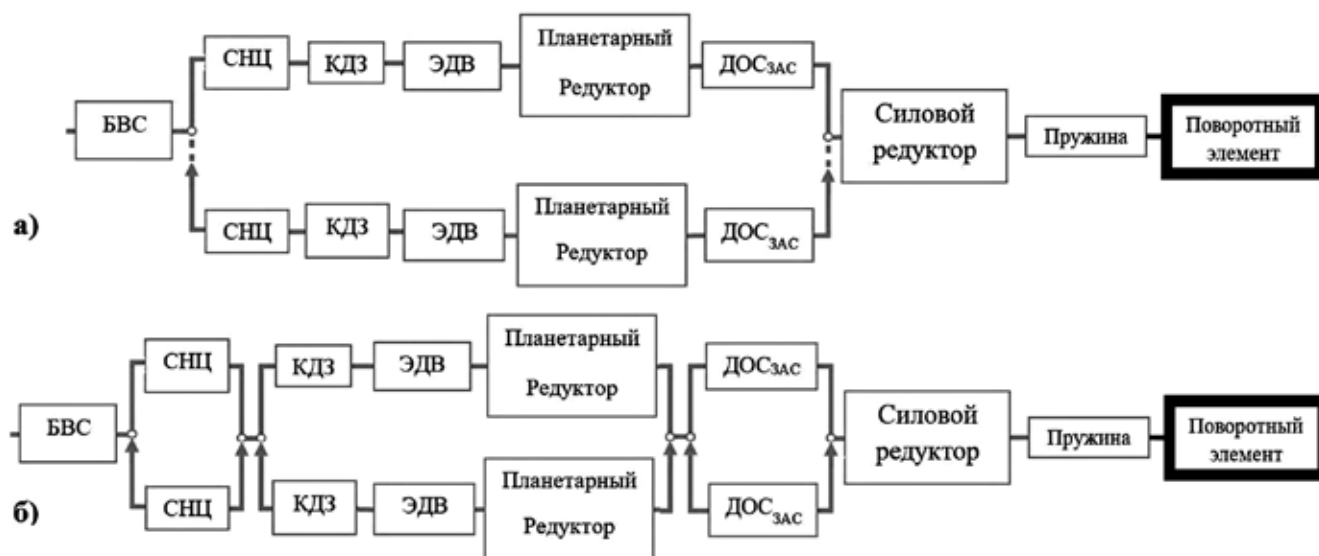


Рис. 3. Варианты схем расчета надежности сервопривода

вариантов, представленных на рис. 3, где обозначено: БВС – блок внешних соединителей, СНЦ – соединитель низкочастотный цилиндрический.

Согласно теории надежности [3, 8] вероятность безотказной работы структурной схемы ДЗ в течение одного часа, при которой отсутствует возможность раздельного резервирования (рис. 3, а) рассчитывается согласно выражению:

$$P_1 = P_{\text{БВС}} \left[1 - (1 - P_{\text{СНЦ}} P_{\text{КДЗ}} P_{\text{ЭДВ}} P_{\text{ПР}} P_{\text{ДОС}})^2 \right] P_{\text{СР}} P_{\text{П}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{БВС}}$ – вероятность безотказной работы блока внешних соединителей; $P_{\text{СНЦ}}$ – вероятность безотказной работы внутренних электрических соединителей; $P_{\text{КДЗ}}$ – вероятность безотказной работы контроллера

дрессельной заслонки; $P_{\text{ЭДВ}}$ – вероятность безотказной работы электродвигателя; $P_{\text{ПР}}$ – вероятность безотказной работы планетарного редуктора; $P_{\text{ДОС}}$ – вероятность безотказной работы датчика обратной связи; $P_{\text{СР}}$ – вероятность безотказной работы силового редуктора; $P_{\text{П}}$ – вероятность безотказной работы возвратной пружины.

Вероятность безотказной работы структурной схемы ДЗ в течение одного часа, при которой возможно осуществление раздельного резервирования (рис. 3, б) рассчитывается согласно выражению:

$$P_2 = P_{\text{БВС}} \left[1 - (1 - P_{\text{СНЦ}})^2 \right] \left[1 - (1 - P_{\text{КДЗ}} P_{\text{ЭДВ}} P_{\text{ПР}})^2 \right] \times \left[1 - (1 - P_{\text{ДОС}})^2 \right] P_{\text{СР}} P_{\text{П}}, \quad (2)$$

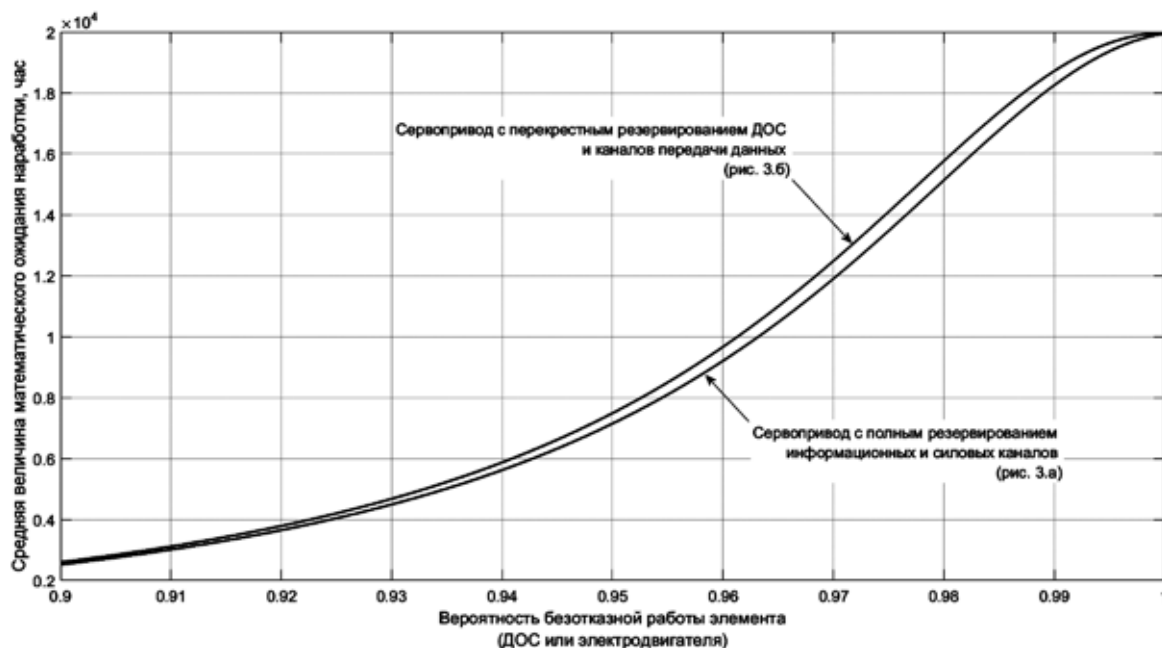


Рис. 4. Зависимость средней величины математического ожидания наработки до отказа вариантов сервопривода с различной структурой резервирования собственных элементов

Подставляя численные значения соответствующих вероятностей [3, 4] в выражения (1), (2) можно сделать вывод о том, что разница между средними значениями математического ожидания наработки до отказа в рассматриваемых вариантах составляет менее $1,0 \cdot 10^{-6}$ часов. При этом не учитывается режим работы сервопривода, определяемый тепловыми, токовыми, силовыми нагрузками, испытываемыми приводом, оказывающими влияние на фактическое состояние структурных составляющих сервопривода и приводящими, при некотором превышении их интегрального воздействия, к аварии. Также, выражения (1), (2) не учитывают процесс переключения сервопривода с вышедшего из строя элемента на резервный элемент конструкции. Данный процесс, в общем случае, должен характеризоваться некоторым показателем безотказности и вносить уточнения в обобщенные показатели надежности сервопривода.

Проведем анализ влияния показателей надежности составляющих структуры сервопривода на среднюю величину математического ожидания наработки изделия до отказа, определяемую согласно выражению:

$$T = 1/\lambda, \quad (3)$$

где λ – интенсивность отказов, определяемая исходя из вероятности $P_{1,2}$ безотказной работы всего изделия (1) или (2):

$$\lambda = -\ln(P). \quad (4)$$

Максимальное значение увеличения средней наработки до отказа наблюдается при определенном значении показателя надежности совершенствуемого элемента, что объясняется структурой уравнений (2), в составе которого присутствуют квадраты выражений содержащих показатель надежности совершенствуемого элемента (ДОС или ЭДВ). Таким образом, выбор оптимального списка резервируемых структурных элементов сервопривода должен происходить с учетом изменения величины его совокупного показателя надежности.

Важным показателем надежности оборудования является параметр отказоустойчивости, заключающийся в способности оборудования сохранять работоспособность после отказа его составляющего. Под величиной отказоустойчивости принимается максимальное число последовательных отказов структурных элементов технической системы, которое не приводит к потере работоспособности изделия.

Сервопривод, обладающий структурой согласно рис. 3, а может пережить только один отказ элементов, включенных в зарезервированный канал: СНЦ, КДЗ, ЭДВ, Планетарный редуктор или ДОС. В случае данного отказа его надежность, отнесенная к часу работы, снизится до значения, определяемого согласно выражению:

$$P_{1,1} = P_{\text{БВС}} P_{\text{СНЦ}} P_{\text{КДЗ}} P_{\text{ЭДВ}} P_{\text{ПР}} P_{\text{ДОС}} P_{\text{СР}} P_{\text{П}}. \quad (5)$$

Сервопривод с возможностью отдельного резервирования (согласно рис. 3, б), обеспечит наиболее быстрое снижение вероятности безотказной работы при последовательном выходе из строя:

а) СНЦ, при этом надежность определится выражением:

$$P_{2,1} = P_{\text{БВС}} P_{\text{СНЦ}} \left[1 - (1 - P_{\text{КДЗ}} P_{\text{ЭДВ}} P_{\text{ПР}})^2 \right] \times \left[1 - (1 - P_{\text{ДОС}})^2 \right] P_{\text{СР}} P_{\text{П}}, \quad (6)$$

б) ДОС, при этом надежность определится выражением:

$$P_{2,2} = P_{\text{БВС}} P_{\text{СНЦ}} \left[1 - (1 - P_{\text{КДЗ}} P_{\text{ЭДВ}} P_{\text{ПР}})^2 \right] P_{\text{ДОС}} P_{\text{СР}} P_{\text{П}}. \quad (7)$$

в) КДЗ, ЭДВ или Планетарного редуктора, при этом надежность определится согласно выражению (5), то есть $P_{2,3} = P_{1,1}$.

Таким образом, при обеспечении отдельного резервирования, несмотря на относительно незначительное увеличение среднего значения математического ожидания наработки до отказа, обеспечивается возможность максимально увеличить глубину отказоустойчивости в три раза: с одного переживаемого отказа до 3-х возможных отказов.

Реализация оптимального режима работы электропривода требует определения момента времени изменения структурной схемы за счет введения в работу элементов, находящихся в резерве. Как правило, в электроприводах авиационного применения данный момент времени определялся по факту выхода из строя электродвигателя, ДОС, СНЦ или иного элемента из списка зарезервированных (рис. 3, б). При этом наблюдается кратковременный нештатный режим работы электропривода в течение времени переключения, а вышедший из строя элемент уже невозможно вернуть в рабочее состояние. Повысить вероятность безотказной работы системы электропривода предлагается за счет прогнозирования технического состояния электропривода, в целях выявления предаварийного режима работы. В качестве технологии оценки фактического состояния электропривода были использованы методы оценки спектральных составляющих режимных параметров [5–7]. В качестве критерия оценки фактического состояния электропривода K предлагается использовать степень изменения разности начальных углов фаз вторых гармоник акустического шума, издаваемого системой электропривода, и функции суммарного тока, потребляемого электродвигателем:

$$K = \int_{v_n}^{v_k} (\phi_{0,эл.2} - \phi_{0,ак.2}) dv, \quad (8)$$

где v – угловая скорость вращения вала электродвигателя; v_n, v_k – начальное и конечное, соответственно, значение угловой скорости вращения вала электродвигателя; $\phi_{0,эл.2}$ – начальный угол сдвига фазы второй гармоники

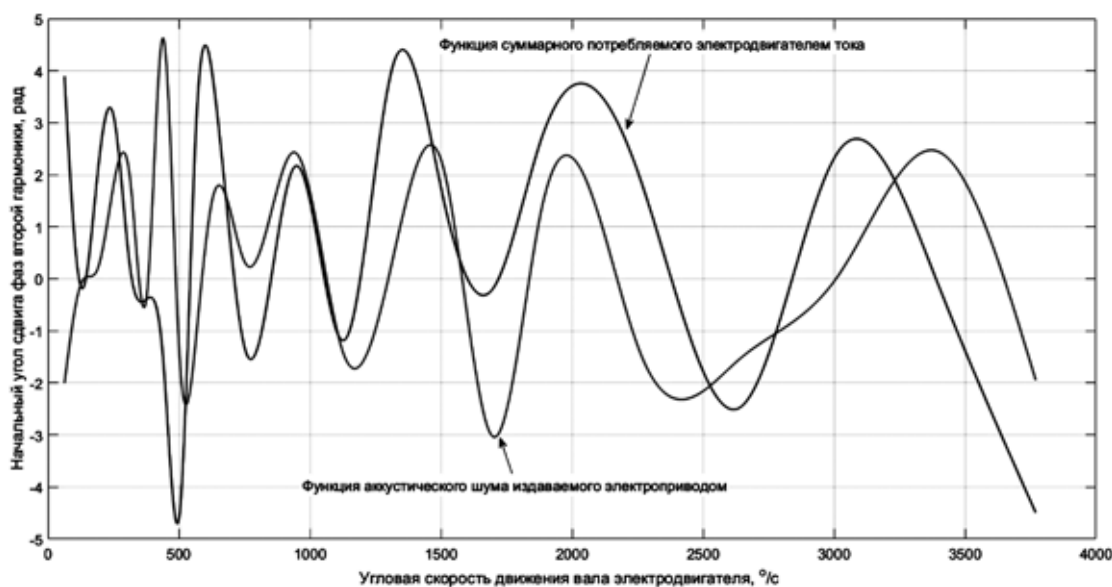


Рис. 5. Изменение начального угла сдвига фаз второй гармонической составляющей функций потребляемого электродвигателем тока и издаваемого им акустического шума в штатном режиме

ской составляющей разложения функции потребляемого электродвигателем тока $i(t)$ в ряд:

$$i(t) = I_1 \sin(\omega_{эл.1}t + \phi_{0.эл.1}) + I_2 \sin(\omega_{эл.2}t + \phi_{0.эл.2}), \quad (9)$$

где I_1, I_2 — амплитуды, соответственно, первой и второй гармоники функции тока $i(t)$; $\omega_{эл.1}, \omega_{эл.2}$ — частоты, соответственно, первой и второй гармоники функции тока $i(t)$; $\phi_{0.эл.1}, \phi_{0.эл.2}$ — начальные углы сдвига фаз, соответственно, первой и второй гармоники функции тока $i(t)$; $\phi_{0.ак.2}$ — начальный угол сдвига фазы второй гармоники функции $\gamma(t)$ колебаний пьезодатчика, прикрепленного к корпусу электропривода, определяющей звуковые колебания, издаваемые электроприводом, при разложении данной функции в следующий ряд:

$$\gamma(t) = \gamma_1 \sin(\omega_{ак.1}t + \phi_{0.ак.1}) + \gamma_2 \sin(\omega_{ак.2}t + \phi_{0.ак.2}), \quad (10)$$

где γ_1, γ_2 — амплитуды, соответственно, первой и второй гармоники функции колебаний пьезодатчика $\gamma(t)$; $\omega_{ак.1}, \omega_{ак.2}$ — частоты, соответственно, первой и второй гармоники функции колебаний пьезодатчика $\gamma(t)$; $\phi_{0.ак.1}, \phi_{0.ак.2}$ — начальные углы сдвига фаз, соответственно, первой и второй гармоники функции колебаний пьезодатчика $\gamma(t)$.

Экспериментальные исследования показали, что в штатном режиме работы электропривода разность между начальными углами сдвига фаз вторых гармоник функций $i(t)$ и $\gamma(t)$ имеет явно выраженный минимум, что иллюстрируется на рис. 5. При этом первая гармоника данных функций не обладает данным свойством, что согласуется с источником [9], в котором в качестве критерия оценки наличия дефектов (трещин) в изделии при акустико-эмиссионном контроле предлагается использовать отношение амплитуд второй и первой гармоник регистрируемого акустического сигнала. В аварийном режиме работы соотношения между рассматриваемыми

углами $\phi_{0.эл.2}$ и $\phi_{0.ак.2}$ нарушаются, при этом, учитывая, что вторая гармоника функции $i(t)$ определяется частотой питающего обмотки электродвигателя напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), достигая величины 50 кГц, то регистрация предаварийного режима становится возможной на прогнозной величине нескольких периодов колебаний ШИМ, то есть порядка 100...200 мкс.

На основании приведенных положений, в отношении сервопривода дроссельной заслонки, разработанной силами АО «Конструкторское бюро промышленной автоматики» (ГК Ростех. г. Саратов), были предложены наиболее целесообразные меры к обеспечению высоких показателей надежности, в том числе:

- мониторинг фактического состояния обоих ДОС, с анализом адекватности поступающих от них информации, с алгоритмическим переключением на оставшийся в рабочем состоянии ДОС;
- мониторинг целостности каналов передачи данных от системы управления заслонкой, с переключением на оставшийся в работоспособном состоянии канал;
- мониторинг фактического состояния системы электропривода, согласно оценке величины параметра K в соответствии с (8).

Выводы

В результате расчета показателей надежности сервоприводных систем показано преимущество построения сервоприводов с отдельным резервированием собственных структурных элементов по показателю глубины отказоустойчивости.

Предложен метод оценки фактического состояния электропривода, а также критерий регистрации момента времени изменения структуры электропривода, в целях обеспечения заданной глубины отказоустойчивости.

Библиографический список

1. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. Введ. 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1995. 13 с.
2. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. М.: Журнал «Надежность», 2012. 212 с.
3. Анищенко В.А., Колосова И.В. Основы надежности систем электроснабжения. Минск: БНТУ, 2007. 151 с.
4. ОСТ 1 00132-97. Надежность изделий авиационной техники. Методы количественного анализа безотказности функциональных систем при проектировании самолетов и вертолетов Введ. 1998-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1997. 69 с.
5. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости электротехники. 2005. № 1 (31). С. 50–52.
6. Петухов В.С. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения // Новости электротехники. 2009. № 3 (57). С. 47–51.
7. Токарев Р.О., Шапошников В.В., Чабанов Е.А. Способы диагностики электрических машин // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 9–11 июня 2020) в 2 т. Пермь, Изд-во Перм. нац. ис-следов. политехн. ун-та, 2020. Т. 2. С. 93–99.
8. Теория вероятностей / А.В. Печинкин, О.И. Тескин, Г.М. Цветкова и др.; под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 456 с.
9. Глебович С.А. Управление отказоустойчивостью при оценке технического состояния компенсаторов трубопровода // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. № 10. С. 58–63.

References

1. GOST 27.002-95. Dependability in technics. Dependability prediction. Basic principles. Moscow: Izdatelstvo Standartov; 1995. (in Russ.)
2. Shubinsky I.B. [Structural dependability of information systems. Analysis methods]. Moscow: Dependability Journal; 2012. (in Russ.)
3. Anishchenko V.A., Kolosova I.V. [Introduction to the dependability of power supply systems: a study guide for higher education establishments]. Minsk: BNTU; 2007. (in Russ.)
4. OST 1 00132-97. [Dependability of aviation equipment. Methods for quantitative analysis of the reliability of functional systems in the process of airplane and helicopter design]. Moscow: Izdatelstvo standartov; 1997. (in Russ.)
5. Petukhov V.S., Sokolov V.A. [Electric motor condition diagnostics. Method for spectrum analysis of the consumption current]. *Novosti elektrotekhniki* 2005;1(31):50-52. (in Russ.)

6. Petukhov V.S. [Electric motor diagnostics. Spectrum analysis of Park's vector values of current and voltage]. *Novosti elektrotekhniki* 2009;3(57):47-51. (in Russ.)

7. Tokarev R.O., Shaposhnikov V.V., Chabanov E.A. [Methods for electric machine diagnostics]. In: [Proceedings of the All-Russian Research and Practice Conference Automated Control Systems and Information Technology]. Perm: Perm State University Publishing; 2020. Pp. 93-99. (in Russ.)

8. Pechinkin A.V., Teskin O.I., Tsvetkova G.M. et al. Zarubin V.S., Krishchenko A.P., editors. [Probability theory]. Moscow: Bauman MSTU Publishing; 2004. (in Russ.)

9. Glebovich S.A. [Managing failure tolerance as part of evaluation of the technical condition of pipeline compensators]. *Izvestiya TulGU: Tekhnicheskie nauki* 2015;7(1):134-139. (in Russ.)

Сведения об авторах

Коробейников Илья Сергеевич – начальник отдела электромеханизмов, Акционерное общество «Конструкторское бюро промышленной автоматики», Саратов, Российская Федерация, e-mail: korobeynikovilya@mail.ru

Вырыханов Денис Александрович – кандидат технических наук, инженер-системотехник, Акционерное общество «Конструкторское бюро промышленной автоматики», Саратов, Российская Федерация, e-mail: differentr@mail.ru

Митяев Максим Васильевич – ведущий инженер, Акционерное общество «Конструкторское бюро промышленной автоматики», Саратов, Российская Федерация, e-mail: m.v.mityaev@mail.ru

About the authors

Ilya S. Korobeynikov, Head of Unit for Electrical Mechanisms, Industrial Automation Design Bureau, Saratov, Russian Federation, e-mail: korobeynikovilya@mail.ru

Denis A. Vyrykhanov, Candidate of Engineering, Systems Engineer, Industrial Automation Design Bureau, Saratov, Russian Federation, e-mail: differentr@mail.ru

Maxim V. Mityaev, Lead Engineer, Industrial Automation Design Bureau, Saratov, Russian Federation, e-mail: m.v.mityaev@mail.ru

Вклад авторов в статью

Коробейников И.С. – формулировка описания объекта исследования, определены параметры надежности элементов дроссельной заслонки, принято участие в расчетах приведенных в статье.

Вырыханов Д.А. – расчет и анализ параметров надежности дроссельной заслонки, полученных в статье.

Митяев М.В. – разработка структурных схем определения показателей надежности дроссельной заслонки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.