

единиц или десятков миллиом между двумя выводами элемента имитирует их короткое замыкание. Преимущество такого метода – независимость от типа модели компонента и простота реализации. Однако он имеет и недостатки. Данный метод позволяет имитировать только отказы типа «обрыв цепи» и «короткое замыкание». Кроме того, он вносит избыточность в описание схемы, например, имитация обрыва вывода резистора путем включения последовательно с ним второго резистора.

Кроме описанного выше метода имитации неисправностей элементов возможны следующие варианты:

- изменение параметров модели компонента, если он описан в виде встроенной модели;
- изменение параметров макромодели компонента;
- включение нового компонента в описание макромодели данного компонента;
- изменение параметров моделей компонентов, входящих в состав макромодели данного компонента.

Рассмотрим методы моделирования неисправностей некоторых электронных компонентов, описанных встроенными моделями. Обрыв резистора может имитироваться путем увеличения параметра сопротивления до значения порядка сотен мегаом или единиц гигаом. Для имитации обрыва одного электрода резистора достаточно уменьшить параметр сопротивления до значения единиц или десятком миллиом.

Несмотря на то, что модель конденсатора не имеет параметров, определяющих его эквивалентное последовательное сопротивление, или сопротивление изоляции, имитировать обрыв его выводов или их короткое замыкание возможно также не прибегая к включению дополнительных элементов. Для этого достаточно изменить параметр емкости. Так, для имитации короткого замыкания необходимо значение этого параметра установить порядка  $10^{10}$ – $10^{12}$  Ф.

Увеличение прямого сопротивления полупроводникового диода имитируется путем увеличения параметра объемного сопротивления его модели. Увеличивая этот параметр до значения порядка сотен мегаом или единиц гигаом можно также имитировать обрыв электродов диода. На значение напряжения открытия диода оказывает влияние коэффициент инжекции. Изменяя этот параметр можно выполнять имитацию изменения напряжения открытия диода.

Таким образом, комбинируя различные методы внесения изменений в описание электрической схемы, можно имитировать большинство неисправностей элемента, включенных в перечень, независимо от сложности этого элемента.

УДК 656.25

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИНТЕРФЕЙСА УПРАВЛЕНИЯ СТРЕЛОЧНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

А. А. КОРОЛЁВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время для управления стрелочными электроприводами в микропроцессорной централизации (МПЦ) «Путь» применяются релейные блоки. Типовая структурная схема взаимодействия ядра МПЦ с релейным блоком управления стрелкой приведена на рисунке 1.

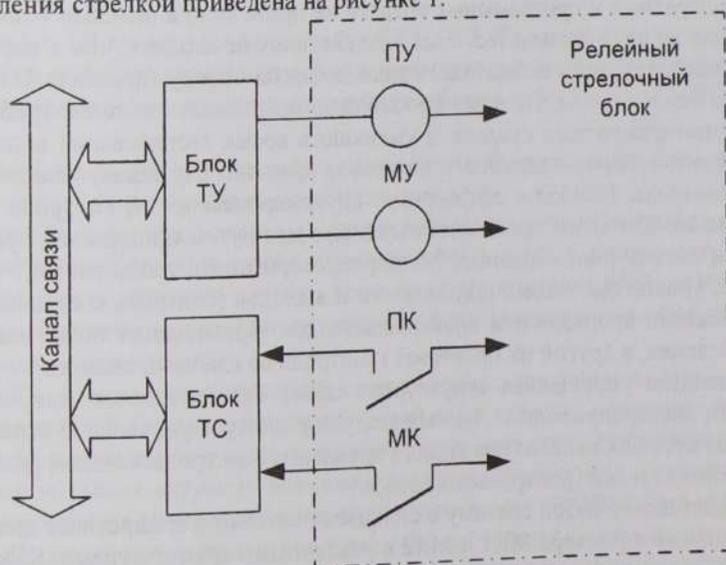


Рисунок 1 – Структурная схема взаимодействия ядра МПЦ с релейным блоком управления стрелкой

Управляющие напряжения для реле ПУ и МУ формирует микропроцессорный блок телеуправления ТУ. Для считывания информации с контактов реле контроля положения стрелки (ПК и МК) применяется микропроцессорный блок телесигнализации (ТС). Блоки ТУ и ТС обмениваются информацией с ядром системы микропроцессорной централизации (МПЦ) посредством канала связи.

Для описанной выше структуры характерны следующие недостатки:

- для согласования релейного стрелочного блока с ядром системы МПЦ требуется наличие дополнительных модулей ТУ и ТС, что в свою очередь приводит к увеличению занимаемого пространства;
- высокая металлоемкость конструкции релейного стрелочного блока и, как следствие, высокая стоимость;
- наличие в конструкции электромагнитных реле подвижных частей приводит к их износу;
- отсутствие самодиагностики релейного стрелочного блока приводит к увеличению времени поиска неисправностей.

Учитывая приведенные выше недостатки, а также тот факт, что объемы производства электромагнитных реле с каждым годом снижаются, перспективной является разработка бесконтактного интерфейса управления стрелкой.

В качестве коммутирующих элементов в бесконтактном блоке применяются полупроводниковые приборы (тиристоры, транзисторы или твердотельные реле на их основе). В отличие от электромагнитных реле первого класса надежности полупроводниковые коммутирующие приборы имеют симметричный отказ, т. е. вероятность обрыва цепи в таком элементе приблизительно равна вероятности короткого замыкания цепи (пробой полупроводникового прибора). Интенсивность отказов большинства полупроводниковых приборов имеет порядок  $10^{-6}$  1/ч. Следовательно, интенсивность опасных отказов таких приборов имеет тот же порядок, что значительно выше предельно допустимой интенсивности опасных отказов систем ЖАТ. Эта особенность полупроводниковых приборов не позволяет их использовать непосредственно для реализации безопасных систем.

Для повышения безопасности систем ЖАТ используются 3 стратегии:

- безотказность;
- отказоустойчивость;
- безопасное поведение при отказах.

Первые две стратегии подразумевают, что система, которая правильно выполняет свой алгоритм функционирования, безопасна. Третья стратегия используется специально для безопасных систем и заключается в переводе системы в защитное необратимое состояние при появлении отказа. Обратный переход в работоспособное состояние исключается (маловероятен) и производится искусственным путем (обычно с участием персонала).

Безопасность технических средств в значительной степени определяется влиянием человеческого фактора на всех стадиях жизненного цикла (разработки, изготовления и эксплуатации). Поэтому для создания безопасных технических средств должна дополнительно использоваться стратегия безошибочности.

При использовании полупроводниковых приборов в качестве коммутирующих элементов в системах ЖАТ для достижения необходимых показателей безопасности возможно применение сочетания различных видов резервирования с контролем и диагностикой появления сбоев и отказов этих приборов.

Наиболее широко распространенная концепция безопасности микроэлектронных СЖАТ требует, чтобы одиночные дефекты аппаратных и программных средств не приводили к опасным отказам и обнаруживались с заданной вероятностью на рабочих или тестовых воздействиях не позднее, чем в системе возникнет второй дефект. Проблема усложняется, если не все одиночные дефекты обнаруживаются. Тогда новый отказ может привести к нарушению безопасности. Поэтому необходимо предъявлять высокие требования по достоверности контроля программно-аппаратных средств и уменьшать время тестирования аппаратуры. Обнаружение отказа должно происходить в течение заданного интервала времени. Эту задачу решают внутрипроцессорный и межпроцессорный контроль. Наиболее эффективно внутрипроцессорный контроль осуществляется путем тестирования в отведенные для этого промежутки времени или путем применения принципов самоконтроля (самопроверяемости) и сигнатурного анализа. Межпроцессорный контроль состоит во взаимной проверке работы процессоров на уровне системных шин, памяти и выходов (контроль с сильными связями). При контроле с умеренными связями производится проверка выходов. Применяется также вариант, когда один процессор реализует вычисления, а другой их проверяет (контроль со слабыми связями).

На рисунке 2 приведена упрощенная структурная схема бесконтактного микропроцессорного модуля управления стрелочным электроприводом. Данный модуль реализует управление стрелочным электроприводом по 7 проводам, 3 из которых используются для управления электродвигателем (рабочая цепь), а 4 других – для контроля положения стрелки (контрольная цепь).

Данный модуль представляет собой систему с сильными связями и аппаратным диверситетом. Основу системы составляют 2 микроконтроллера МК1 и МК2 с различными архитектурами. Каждый из микроконтроллеров обменивается информацией со своим каналом ядра системы МПЦ. Также с целью синхронизации работы микроконтроллеров осуществляется межпроцессорный обмен данными. Помимо микроконтроллеров в состав модуля входят безопасные схемы управления БСУ1, БСУ2, силовые трехфазные тиристорные ключи

K1, K2, схемы контроля состояния силовых ключей СК1, СК2, схема реверсирования СР, силовой реверсирующий ключ РК и схема контроля положения стрелки.

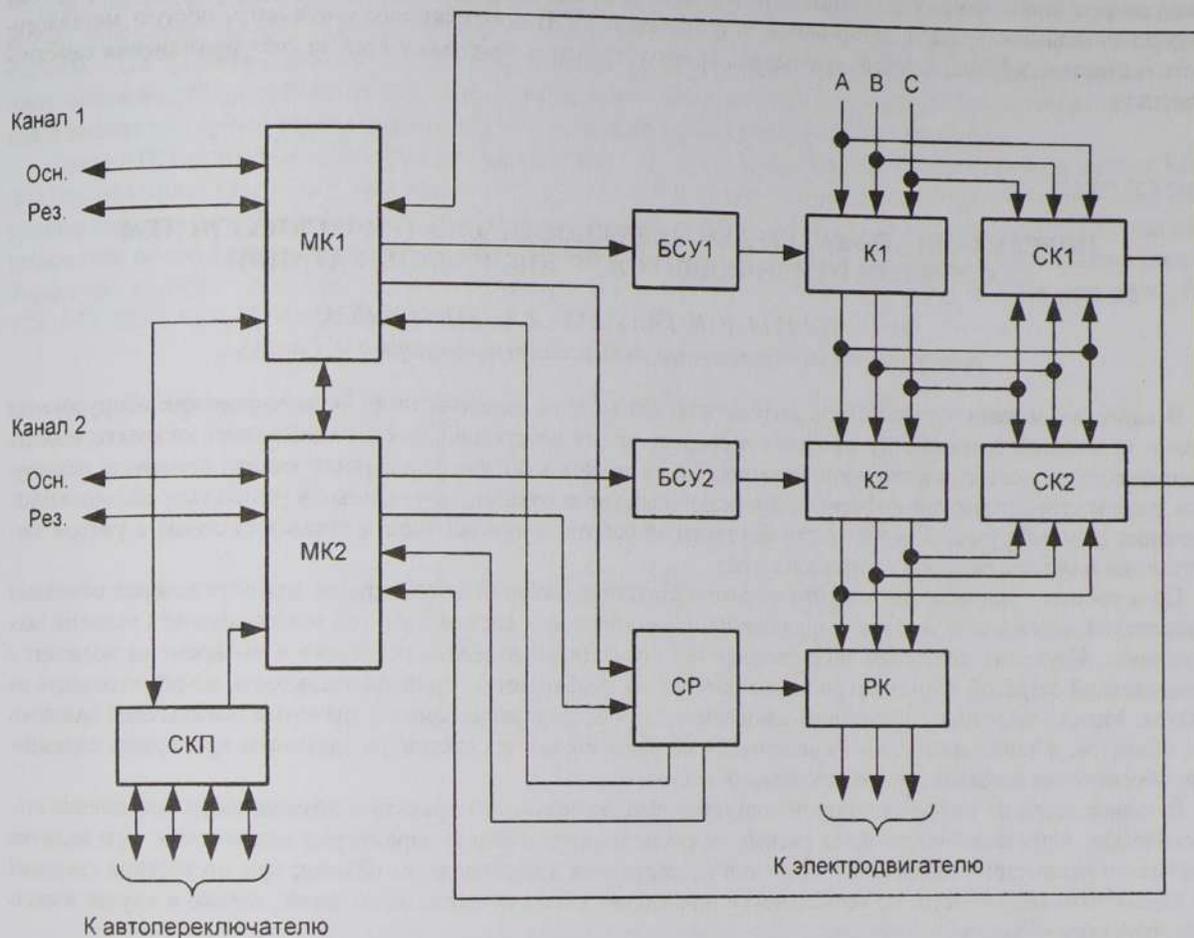


Рисунок 2 – Структурная схема бесконтактного микропроцессорного модуля управления стрелочным электроприводом

Каждый микроконтроллер управляет своим силовым ключом посредством безопасной схемы управления БСУ. Данная схема формирует управляющий сигнал для ключа при условии наличия на линиях микроконтроллера динамического парафазного сигнала. Применение такой схемы позволяет исключить открывание силового ключа при зависании микроконтроллера или неправильном функционировании управляющего программного обеспечения.

За состоянием ключей K1, K2 следят схемы контроля СК1, СК2. При закрытом состоянии ключей данные схемы формируют на входных линиях микроконтроллера парафазные динамические сигналы. Таким образом, микроконтроллеры могут отслеживать состояние ключей и сообщать ядру системы МПЦ о возможных неисправностях.

Реверсирующий силовой ключ РК обеспечивает смену порядка чередования фаз, что, в свою очередь, приводит в смене направления вращения электродвигателя привода.

Схема реверсирования СР формирует сигналы управления реверсирующим силовым ключом РК путем объединения сигналов, поступающих от микроконтроллеров МК1 и МК2. Кроме того, каждый из микроконтроллеров имеет возможность контроля сигнала, поступающего с выхода этой схемы на реверсирующий ключ. Это необходимо для исключения межфазных замыканий внутри ключа в случае появления неправильной комбинации управляющих сигналов.

Силовые ключи K1 и K2, а также реверсирующий ключ РК, образуют рабочую цепь. Для ключей K1 и K2 опасным отказом является пробой. Опасным отказом рабочей цепи является появление фазных токов во всех обмотках электродвигателя, приводящих к вращению его ротора, при отсутствии разрешающих сигналов на выходах микроконтроллеров. Такая ситуация возможна в случае пробоя всех коммутирующих элементов ключей K1 и K2 и одновременном включении реверсирующего ключа. Пробой коммутирующих элементов реверсирующего ключа РК является защитным, так как приводит к межфазному замыканию и перегоранию предохранителей FU1, FU2. Применение двух последовательно соединенных силовых ключей позволяет уменьшить вероятность появления опасного отказа в рабочей цепи. Накопление отказов в рабочей цепи исключается путем постоянного контроля состояния силовых ключей.

Таким образом, схема управления стрелочным электроприводом может быть реализована на полупроводниковых коммутирующих приборах без применения электромагнитных реле первого класса надежности. Переход от релейной схемы управления стрелочным электроприводом к бесконтактному микропроцессорному модулю позволит сократить занимаемое устройствами МПЦ пространство, уменьшить общую металлоемкость и стоимость МПЦ, а также уменьшить время устранения неисправностей за счет применения самодиагностики.

УДК 622.23.08

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*В. С. МОГИЛА, В. Н. ГАЛУШКО, Т. С. КОРОЛЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В качестве основных параметров математической модели надежности функционирования оборудования можно использовать наработку на отказ и среднее время восстановления, что позволяет охарактеризовать безотказность и долговечность оборудования. Такой подход к оценке вероятности отказа элементов реализуется учетом статистической информации о различных типах отказов, полученных в результате обследований. Значения результирующей вероятности безотказной работы и интенсивности отказов системы с учетом эксплуатации и без нее различны в несколько раз.

Цель работы – применение аналитического и статистического инструментария для определения основных показателей надежности электрооборудования и электрических систем с учетом изменяющихся условий эксплуатации. Изучение динамики закономерностей показателей надежности объектов во времени позволит с минимальной затратой времени и ресурсов обеспечить необходимую продолжительность и эффективность их работы. Можно выделить следующие основные задачи исследования: анализ значений показателей надежности объектов, а также динамики их изменения во времени; синтез систем по заданным критериям надежности; обеспечение и повышение надежности объектов.

В зависимости от информационной составляющей исследуемого объекта и возможности проведения статистических испытаний выполнены разные подходы по определению параметров надежности: при наличии данных по параметрам надежности объектов исследования в необходимом объеме; при отсутствии сведений по параметрам надежности, по возможности проведения статистических испытаний; только в случае известной структуры объекта.

Структура программного инструментария включает в себя следующие элементы: шаблон исходных данных и библиотеку реализованных элементов (bibl. elementov); шаблон данных параметров моделирования в виде номинальных величин и отклонений от них (parametr. modelirov); дерево возможных связей между элементами; шаблон влияния различных факторов в виде процедуры аналитической зависимости для каждого элемента системы между показателями надежности и параметрами моделирования.

Практическое применение результатов исследования заключается в создании обоснованных предпосылок определения основных показателей надежности электрических систем при воздействии различных факторов. Результаты исследования позволяют: прогнозировать показатели надежности электрооборудования в зависимости от условий эксплуатации; оценить степень опасности и установить “узкие места” электрических систем; разработать мероприятия по повышению эффективности функционирования электрооборудования. Изучение закономерностей и динамики изменения показателей надежности объектов во времени позволит обеспечить обоснованную с точки зрения надежности продолжительность их работы.

Степень новизны результатов, которые затронуты в исследовании, характеризуется следующими положениями: разработана структура постоянно пополняемой библиотеки влияющих факторов на показатели надежности во время эксплуатации; реализовано математическое описание функционального состояния электрических систем по имеющейся информации, основанное на локализации источников, снижающих ее работоспособность.

УДК 621.333.62-831

## АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННОМ ТЯГОВОМ ПРИВОДЕ

*В. С. МОГИЛА, О. С. МАРМОЗОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на Белорусской железной дороге вводится в эксплуатацию ЭПС с асинхронным тяговым приводом. Особенностью асинхронного двигателя является жесткая тяговая характеристика  $F(v)$ , поэто-