

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Машиностроение и машиноведение

Машиноведение, системы приводов и детали машин

Трефилов М.А., аспирант Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТИ ПЕТРИ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ВОЗМОЖНЫЕ ОТКАЗЫ

Рассмотрены вопросы представления технических систем в виде сетей Петри. Предложена математическая модель системы электромеханического привода поступательного перемещения. Проведен расчет вероятности возникновения ошибки в ходе работы системы.

Ключевые слова: сеть Петри, надежность технической системы.

APPLICATION OF PETRI NETS FOR ANALYSIS OF TECHNICAL SYSTEM FOR POSSIBLE FAILURES

Technical system presentation using Petri nets is described in this article. An example of a mathematical model for a forward motion electromechanical drive system is given. A failure probability is counted using Petri net based method.

Keywords: Petri nets, reliability technical system.

Надежность – свойство системы сохранять способность выполнять заданные функции. Это довольно сложное свойство, включающее, в свою очередь, в зависимости от назначений системы и условий ее эксплуатации такие свойства, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Анализ системы на надежность и ошибки является важной частью моделирования и оценки работоспособности сложных систем. Во многих производственных приложениях отказ системы зависит не только от всех ошибочных состояний компонентов системы, но и от последовательности возникновения этих ошибок. Поэтому данную ситуацию нельзя исключать из рассмотрения.

В настоящее время анализ на такого рода ошибки систем базируются либо на нереальных предположениях, либо неприменимы для реальных производственных нужд. В данной работе приводится альтернативная методология оценки ошибок сложных систем. Моделирование системы осуществляется с использованием аппарата сетей Петри. Также применяется принцип счетчиков для учета времени.

Рассмотрим модель динамики электромеханического привода поступательного перемещения [3]. В моноблочной конструкции привода исполнительный механизм размещен в полюсе ротора электрической машины. Динамика данного привода исследуется на основе двухмассовой математической модели.

Для составления модели системы воспользуемся аппаратом сетей Петри, которые широко используются в качестве инструмента моделирования сложных систем. Сети Петри можно применять как средство визуальной связи компонентов, подобное блок-схеме, блочной диаграмме, дереву неисправностей и сетям. Их использование повышает понимание взаимосвязей между различными компонентами. Моделирование с помощью сетей Петри дает возможность оценки качества и надежности при отказах, вызванных комбинацией незапланированных ошибок и их последовательностях.

На рисунке 1 приведена сеть Петри для модели динамики моноблочного электромеханического привода поступательного перемещения, описанного выше.

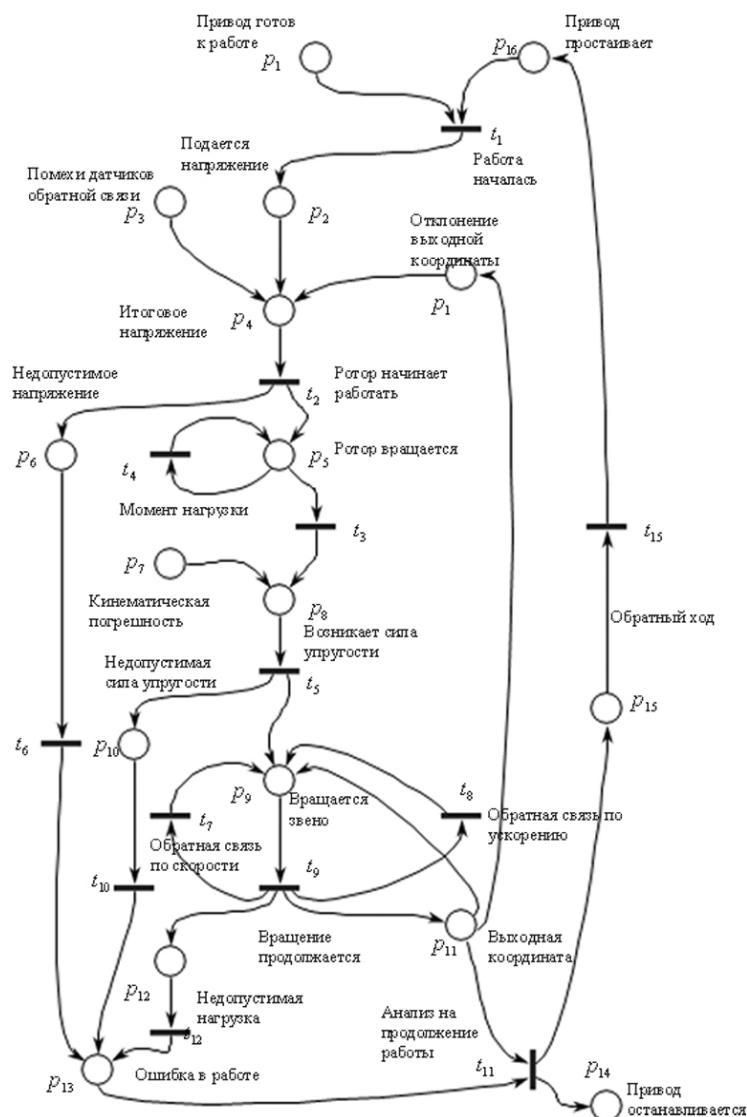


Рис. 1. Сеть Петри для рассматриваемой системы

Структура методологии анализа мехатронной системы на надежность состоит из пяти основных этапов. Данная структура объединяет анализ дерева отказов, анализ состояния и последствий отказа и моделирование динамической сети Петри для определения возможных ошибок и последовательности их возникновения. Для расчета вероятности возникновения ошибки применяется принцип счетчиков сети Петри [1].

Анализ на ошибки начинается с определения потенциально возможных отказов системы, которые могут вызвать серьезные ошибки в процессе работы или в продукте. Серьезная ошибка – это неудовлетворительное выполнение действий, возникающее в процессе работы или тестирования. Обычно, данный анализ можно провести с помощью дерева отказов, анализа состояния и последствий отказа или другими доступными методами.

Определение последовательности ошибок начинается после построения модели в виде сети Петри системы с учетом возможных отказов. Если ошибки стохастические и взаимно независимы с постоянными ошибками и оценкой ремонта, то можно использовать стохас-

ческую сеть Петри. Ошибки необходимо интегрировать в сеть Петри следующим образом: ошибка должна быть обозначена как переход, причина ошибки должна быть обозначена как входное состояние перехода, последствия ошибки – выходные состояния.

На основе сети Петри можно построить дерево достижимости, путем прохода всеми доступными метками по всем доступным переходам начиная с начальной метки. Эта процедура выполняется до тех пор, пока не будут пройдены все состояния. В результате данное представление всей системы включает в себя процесс нормального ее функционирования и все возможные ошибки. С использованием меток можно определить последовательности ошибок путем прослеживания состояний от начальной метки до метки, которая находится в состоянии отказа системы. Таким образом, удастся определить маршруты сети, которые приводят к ее отказу.

После того, как определилась последовательность ошибок, можно рассчитать вероятность их возникновения. Так как последний переход в последовательности определяет ошибку системы, количество раз, которое этот переход отработал за определенное количество времени, дает нам определенную приблизительную оценку. Подробнее метод расчета описан ниже.

Принцип определения вероятности ошибки в работе системы основан на использовании счетчиков в сети Петри [1].

Допустим, необходимо вычислить вероятность того, что система выдаст ошибку через 4000 часов. Значения интенсивности отказов и среднего времени до возникновения ошибки на переходах приведены в таблице 1.

Таблица 1

Интенсивность отказов и среднее время ошибки переходов в сети Петри системы

Интен- сивность отказа	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	λ_8	λ_9	λ_{10}	λ_{11}	λ_{12}	λ_{15}
	1	0.5	0.5	0.1	0.5	0.03	0.5	0.5	1	0.02	1	0.03	1
Среднее время до ошибки	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7	ϕ_8	ϕ_9	ϕ_{10}	ϕ_{11}	ϕ_{12}	ϕ_{15}
	1	2	2	10	2	2000	2	1	10	3000	10	3333	1

В сети Петри, изображенной на рис. 1, у перехода t_{11} два входных состояния p_{11} и p_{13} . Состояние p_{13} не последовательное, поэтому, для вычисления ошибки на основе приведенного ранее метода, необходимо выполнить каноническое преобразование. Вводятся фиктивный переход t_u и фиктивное состояние p_u .

Вероятность того, что переход t_u отработает к моменту времени k , рассчитывается как $f_9(k) = \frac{X_9(k)}{k}$, где $X_9(k) = \left[\frac{k}{X_9(k - \phi_9 - \phi_6)} \right]$. Вероятность того, что переход t_u отработает через переход t_6 (недопустимое напряжение) к моменту времени k , вычисляется как $f_u^6(k) = \frac{X_6(k - \phi_6)}{X_6(k - \phi_6) + X_{10}(k - \phi_{10}) + X_{12}(k - \phi_{12})}$.

Аналогично рассчитываются вероятности того, что переход t_u отработает через переход t_{10} и t_{12} к моменту времени k .

Вероятность ошибки системы через 4000 часов получаем равную

$$F_6^{11}(4000) = f_9(4000)f_u^6(4000) = 0,003432.$$

Функция $F_6^{11}(k)$ имеет точку разрыва в момент времени 2010 часов, вероятность достигает своего максимального значения в точке $k = 2467$ часов. Остальные значения имеют порядок $10^{-1} - 10^{-2}$.

Рассмотрим более общий случай для различных значений среднего времени до возникновения ошибки. Функции $F_6^{11}(k, \phi_6)$, $F_{10}^{11}(k, \phi_{10})$ и $F_{12}^{11}(k, \phi_{12})$ теперь зависят от двух переменных, а значит их графики трёхмерные (рис. 2).

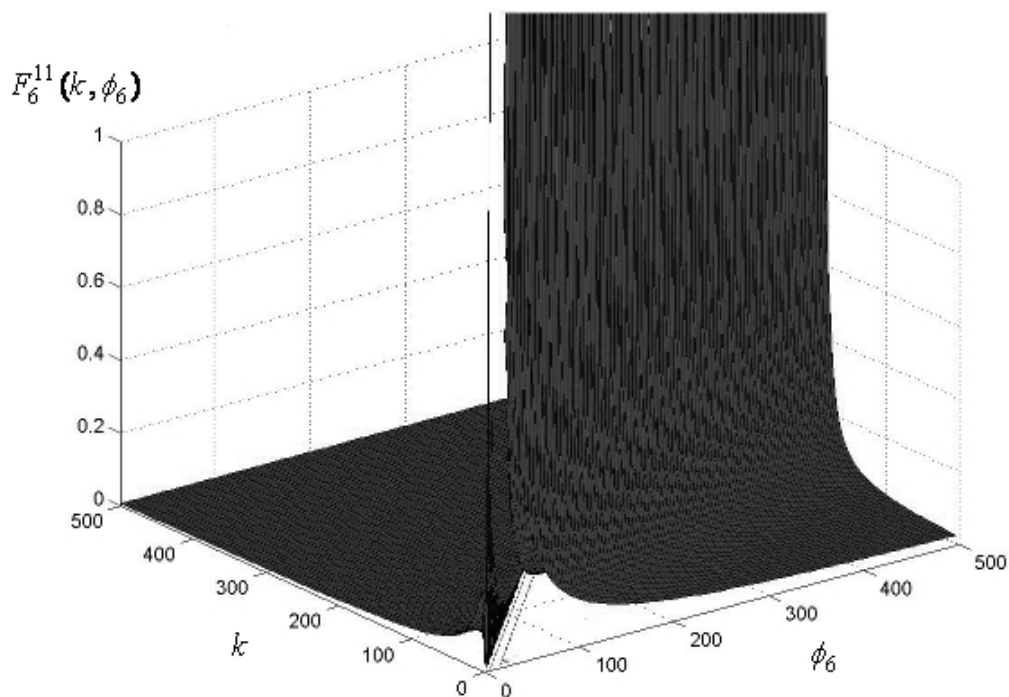


Рис. 2. График вероятности ошибки функции $F_6^{11}(k, \phi_6)$

Для большей наглядности рассмотрим проекции этих графиков на плоскость XU , что даст возможность увидеть, при каких значениях двух переменных функция имеет критическое значение, т. е. вероятность равна 1.

Таким образом, по графикам на рис. 3 можно оценить при каких парах значений времени работы и среднем времени до ошибки вероятность ее возникновения будет равна 1.

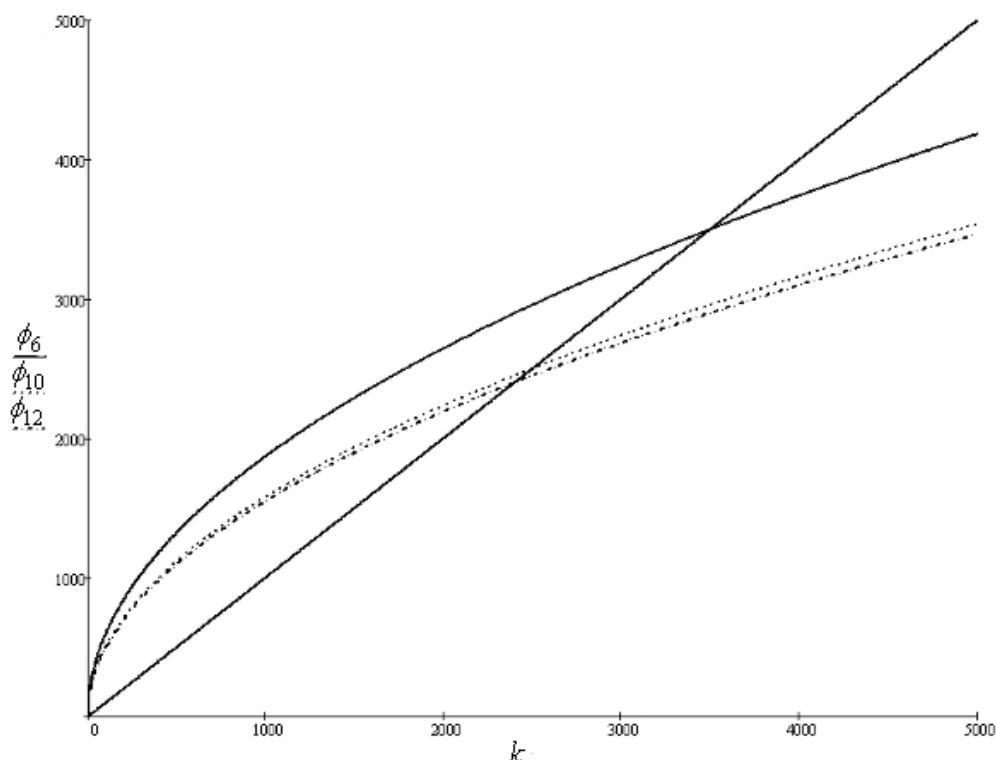


Рис. 3. Проекция графиков $F_6^{11}(k, \phi_6)$, $F_{10}^{11}(k, \phi_{10})$, $F_{12}^{11}(k, \phi_{12})$ на плоскость XY

К преимуществам рассмотренного метода вычисления вероятности ошибки можно отнести: использование меньшего числа переменных; менее сложные расчеты; возможность лучшего понимания динамики системы; возможность исследования больших систем с избеганием резкого увеличения пространства состояний; время ошибки не лимитированы экспоненциальным распределением. Построенная сеть Петри для рассматриваемой системы позволяет наглядно представить процессы системы и возможные нежелательные ситуации. А построенные в результате проведенного анализа сети графики позволяют наглядно увидеть, при каких значениях параметров системы в течение времени работы привода могут возникать ошибки. К возможностям дальнейшего развития данного метода можно отнести использование в моделировании цветных сетей Петри, а также создание аппарата автоматического построения данных сетей для различных мехатронных модулей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Adamyan, A., He, D.* Sequential failure analysis using counters of Petri net models. / A. Adamyan, D. He // Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans. – 2003 – №33 – С. 1–11
2. *Isermann, R.* Model-based fault-detection and diagnosis – status and applications. / R. Isermann // Annual Reviews in Control. – 2005 – №29 – С. 71–85
3. *Морозов, В.В., Костерин, А.Б., Новикова, Е.А.* Плавность динамических звеньев электромеханических приводов. / Морозов В.В. – Владимир: ВлГУ, 1999 – С. 25–36