

СТРУКТУРНАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БЛОКА ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

Аннотация. Проводится оценка структурной надежности электрического блока гибридного автомобиля в результате анализа возможных состояний системы, составляющих полную группу равновозможных, несовместных случайных событий.

Ключевые слова: надежность, структурная схема, матрица состояний, возможные состояния, безотказные состояния.

Введение. Гибридный автомобиль рассматривается как сложная техническая система [1, 8], состоящая из множества связанных и взаимодействующих элементов, включая водителя, которая функционирует в условиях влияния как внутренних, так и внешних случайных факторов [6]. Способ функционирования гибридного автомобиля может быть реализован различными структурами [4, 8]. Структура в основном определяет надежность проектируемого автомобиля [4, 9]. Оценить структурную надежность отдельных блоков и гибридного автомобиля в целом, а также оценить значимость отдельных блоков в обеспечении надежности гибридного автомобиля составляет актуальную задачу эскизного проектирования, решаемую математическими методами, включая теорию вероятностей, комбинаторику, булеву алгебру, матричное исчисление [2, 3, 7].

1. Постановка задачи. Электрический блок (ЭлБ) гибридного транспортного средства (ГТС) состоит из электродвигателя/генератора (ЭД/Г), источника – накопителя электрической энергии №1 (аккумуляторной батареи (АКБ)), накопителя электроэнергии №2 (суперконденсатора (СК)), трех полупроводниковых устройств – ключей, управляющих потоками электрической энергии (K_1, K_2, K_3). В соответствии с принципом функционирования ГТС по параллельной конфигурации ЭлБ может находиться в двух основных режимах: режим движения – при котором осуществляется расход электрической энергии АКБ и СК в электродвигателе и режим рекуперации электрической энергии, вырабатываемой генератором с последующим накоплением в СК и АКБ.

Структурные схемы ЭлБ в режимах движения (а) и рекуперации (б) асимметричны и представлены на Рис.1:

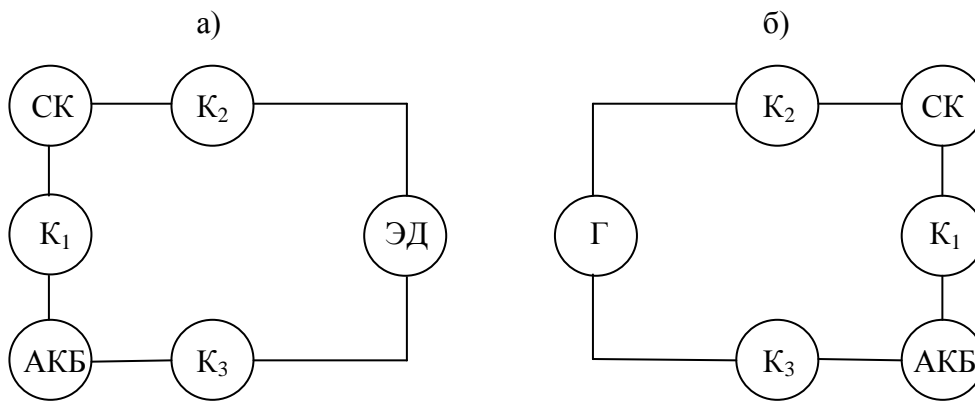


Рис. 1

ЭЛБ в режиме движения состоит из шести независимо работающих элементов: $K_1, K_2, K_3, СК, АКБ, ЭД$, каждый из которых может находиться в двух состояниях – безотказном (работоспособном):

$$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$$

или неработоспособном (отказном):

$$\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4, \bar{A}_5, \bar{A}_6.$$

ЭЛБ полагается работоспособным – событие A , если электрическая энергия АКБ и СК пройдя в соответствии со структурной схемой, преобразуется ЭД в кинетическую энергию вращательного движения мотор-колеса в условиях, когда отказавшие элементы блокируют (прерывают) поток энергии, т.е. безотказность ЭЛБ характеризует его способность обеспечивать подвижность ГТС. Требуется найти вероятность случайного события A – безотказная работа электрического блока, в зависимости от случайных состояний составляющих его элементы, т.е. надежность ЭЛБ определяется по классической формуле:

$$R = P A.$$

2. Матрица состояний. Безотказное состояние каждого элемента и ЭЛБ в целом обозначим «1», а отказное – «0». Тогда количество возможных состояний ЭЛБ – U_{i_1, i_2, \dots, i_N} , находятся по формуле:

$$N = 2^6, \text{ т.е. } N = 64,$$

а возможные состояния ЭЛБ находятся с помощью диаграммы состояний, представляющей прямоугольной – 6×64 -матрицей состояний [5]:

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}	u_{16}
A_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A_2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A_3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
A_4	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
A_5	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
A_6	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{27}	u_{28}	u_{29}	u_{30}	u_{31}	u_{32}
A_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
A_4	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
A_5	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
A_6	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

	u_{33}	u_{34}	u_{35}	u_{36}	u_{37}	u_{38}	u_{39}	u_{40}	u_{41}	u_{42}	u_{43}	u_{44}	u_{45}	u_{46}	u_{47}	u_{48}
A_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A_3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
A_4	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
A_5	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
A_6	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

	u_{49}	u_{50}	u_{51}	u_{52}	u_{53}	u_{54}	u_{55}	u_{56}	u_{57}	u_{58}	u_{59}	u_{60}	u_{61}	u_{62}	u_{63}	u_{64}
A_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
A_4	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
A_5	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
A_6	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

3. Структурная надежность в режиме движения. С помощью структурной схемы (Рис. 1 а) и построенной матрицы состояний из полной группы случайных событий U u_1, u_2, \dots, u_{62} находятся работоспособные состояния ЭлБ A :

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}	u_{16}
A	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0

	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{27}	u_{28}	u_{29}	u_{30}	u_{31}	u_{32}
A	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	u_{33}	u_{34}	u_{35}	u_{36}	u_{37}	u_{38}	u_{39}	u_{40}	u_{41}	u_{42}	u_{43}	u_{44}	u_{45}	u_{46}	u_{47}	u_{48}
A	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0

	u_{49}	u_{50}	u_{51}	u_{52}	u_{53}	u_{54}	u_{55}	u_{56}	u_{57}	u_{58}	u_{59}	u_{60}	u_{61}	u_{62}	u_{63}	u_{64}
A	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Т.е., случайное событие A является суммой соответствующих несовместных случайных событий u_j $j = 1, 3, 5, 9, 11, 17, 21, 33, 35, 37, 41, 43, 49, 53$, т.е.

$$A = u_1 + u_3 + u_5 + u_9 + u_{11} + u_{17} + u_{21} + u_{33} + u_{35} + u_{37} + u_{41} + u_{43} + u_{49} + u_{53}.$$

Количество работоспособных (безотказных) состояний ЭлБ рассматриваемой структуры в режиме движения ГТС оказалось равным четырнадцати из шестидесяти четырех равновозможных, несовместных, составляющих полную группу случайных состояний. Соответствующая структурная надежность ЭлБ определяется по классической формуле расчета вероятности:

$$R_{str}^a = \frac{14}{64}, \text{ т.е. } R_{str}^a = 0,21875.$$

4. Структурная надежность в режиме рекуперации. Аналогичным методом находится структурная надежность ЭлБ в режиме рекуперации. В режиме рекуперации ЭлБ также состоит из шести независимо работающих элементов: $K_1, K_2, K_3, СК, АКБ, Г$, каждый из которых может находиться в двух состояниях:

1–безотказное (работоспособное) $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$

0–неработоспособное (отказное) $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4, \bar{A}_5, \bar{A}_6$.

ЭлБ полагается работоспособным в режиме рекуперации – событие A , если кинетическая энергия вращательного движения преобразуется генератором в электрическую энергию, накапливаемую в СК и АКБ согласно структурной схемы (Рис. 1 б) в условиях, когда отказавшие элементы блокируют (прерывают) поток энергии.

Возможные состояния ЭлБ в режиме рекуперации также представляет составленная ранее матрица состояний – 6×64 . С помощью структурной схемы (Рис. 1 б) и матрицы состояний находятся работоспособные состояния ЭлБ в режиме рекуперации:

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}	u_{16}
A	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0

	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{27}	u_{28}	u_{29}	u_{30}	u_{31}	u_{32}
A	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	u_{33}	u_{34}	u_{35}	u_{36}	u_{37}	u_{38}	u_{39}	u_{40}	u_{41}	u_{42}	u_{43}	u_{44}	u_{45}	u_{46}	u_{47}	u_{48}
A	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0

	u_{49}	u_{50}	u_{51}	u_{52}	u_{53}	u_{54}	u_{55}	u_{56}	u_{57}	u_{58}	u_{59}	u_{60}	u_{61}	u_{62}	u_{63}	u_{64}
A	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Сравнивая полученные результаты с предыдущими, устанавливаем, что матрицы работоспособных состояний ЭлБ в режимах рекуперации и движения ГТС полностью совпадают. Следовательно, структурная надежность ЭлБ в режимах рекуперации и движения количественно равны, т.е.

$$R_{str}^b = R_{str}^a = 0,21875.$$

Выводы. На основе составленной матрицы состояний проведена оценка структурной надежности ЭлБ гибридного автомобиля в режимах рекуперации и движения. Показано, что, в силу асимметричности структурных схем в режимах рекуперации движения соответствующая структурная надежность ЭлБ оказалась количественно равной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем.- М.: «Советское радио», 1973. - 440с.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. М.: Наука.- 1988. – 480с.
3. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука. – 1965. – 524с.
4. Канарчук В.Е., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. – К.: Либідь, 2003. – 424с.
5. Кравець В.В., Басс К.М., Кравець Вл.В. Надежность автомобиля как сложной технической системы (статика отказов): учебное пособие – Д.: ГВУЗ «НГУ», 2012.- 65с.
6. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водитель-автомобиль-дорога-среда. М.: Машиностроение. – 1986. – 214с.
7. Салуквадзе Г.П. Теоретические основы надежности. М.: - Высш. школа, 1986. – 208с.
8. Хубка В. Теория технических систем: пер. с нем. – М.: Мир, 1987.- 208с.
9. Шишмарев В.Ю. Надежность технических систем. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 304с.