

УДК 656.25:656.256

Чепцов М.Н., к.т.н., доцент (ДонИЖТ)
Бойник А.Б., д.т.н., профессор (УкрГАЗТ)

МУЛЬТИПЛИКАТИВНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ КОМАНД В МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ

Анализ исследований и публикаций, постановка задачи исследования. Анализ развития систем железнодорожной автоматики, выполненный в работах [1-5], показал актуальность применения аналитических подходов при реализации функций, непосредственно обеспечивающих безопасность движения поездов. В работе [6] рассмотрен пример функционирования модели системы микропроцессорной централизации на основе аддитивного метода формирования входного сигнала $\eta(t)$ (далее – аддитивная модель). При этом показано существенная зависимость спектров сигнала $\eta(t)$ от состояния первичных датчиков (рельсовых цепей, контрольных цепей стрелок). Это позволило сделать вывод о возможности формирования ответственной команды управления на основе спектральных признаков входного суммарного сигнала.

Дальнейшие исследования показали недостатки аддитивной модели, в первую очередь, заключающиеся в недостаточной шунтовой чувствительности. Так, коэффициент корреляции Пирсона [6] действительной части спектра суммарного сигнала $\eta(t)$ с эталонным значением, при занятии одного участка цепи, изменяется только на 0,9 %, что явно недостаточно для уверенного распознавания поездной ситуации и формирования сигнала управления. В реальных условиях это может привести к увеличению вероятности возникновения опасного отказа $Q_o(t)$, т.е. к нарушению основного условия (целевой функции) безопасного функционирования системы:

$$Q_o(t) \rightarrow \min . \quad (1)$$

В связи с этим, *целью данной работы* является дальнейшее развитие теории надежности и безопасности микропроцессорных систем централизаций за счет синтеза модели формирования ответственных команд управления, основанной на мультипликативном методе формирования сигнала $\eta(t)$.

Основной материал. Реализация модели предполагает структуру программно-аппаратных средств системы централизации, в которую входят аналогово-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые преобразователи сигналов (рисунк 1). Непрерывные сигналы $f_1(t), f_2(t), \dots, f_{n_{\bar{a}}}(t)$, снимаемые с $N_{\bar{a}}$ первичных датчиков (рельсовых цепей, контрольных цепей стрелок), после обработки в АЦП представляют собой множества значений этих функций (далее – отсчетов [8]) в дискретные моменты времени t_1, t_2, \dots, t_k .

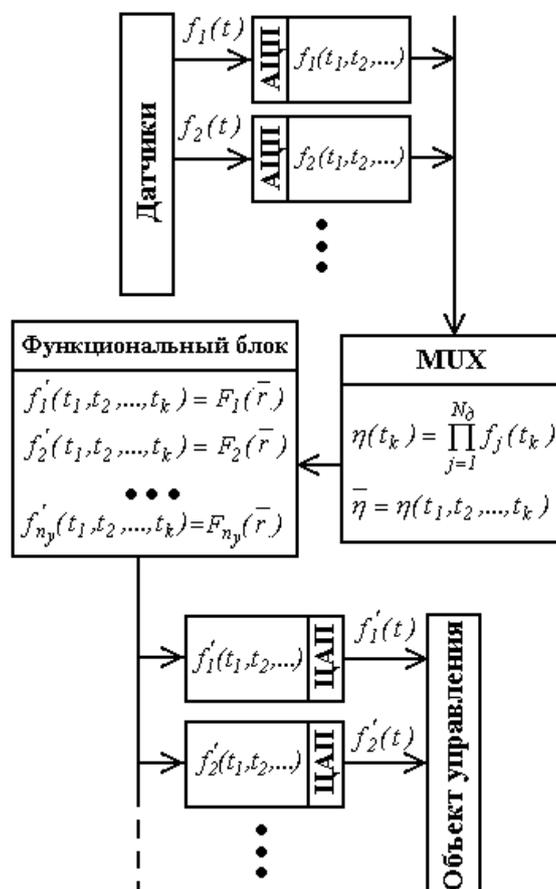


Рисунок 1 – Иллюстрация функциональной структуры программно-аппаратных средств системы централизации

Мультипликативный блок обработки сигналов (MUX на рисунке 1) реализует функцию, представляющую собой произведение полученных с АЦП $N_{\bar{a}}$ отсчетов входных сигналов:

$$\bar{\eta} = \eta(t_1, t_2, \dots, t_k) = \prod_{j=1}^{N_{\bar{a}}} f_j(t_k), \quad (2)$$

где $\bar{\eta}$ - множество значений η в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_k , т.е. $\eta(t_1) = f_1(t_1) \times f_2(t_1) \times f_3(t_1) \dots$, $\eta(t_2) = f_1(t_2) \times f_2(t_2) \times f_3(t_2) \dots$, и т.д.

В функциональном блоке (рисунок 1) реализована модель обработки множества $\bar{\eta}$, представляющая собой функции: $F_1(\bar{r}), F_2(\bar{r}), \dots, F_{n_{\bar{o}}}(\bar{r})$, где $n_{\bar{o}} = N_{\bar{o}}$ - общее количество команд управления (выходных сигналов) системы централизации. В свою очередь ЦАП преобразует значения функций $f'_1(t_1, t_2, \dots, t_k), f'_2(t_1, t_2, \dots, t_k), \dots, f'_{n_{\bar{o}}}(t_1, t_2, \dots, t_k)$ в соответствующие непрерывные функции времени $f'_1(t), f'_2(t), \dots, f'_{n_{\bar{o}}}(t)$.

Каждая из функций F представляет собой комплексное дискретное преобразование Фурье над множеством значений $\bar{\eta}$ в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_k . Результат преобразования – сумма ряда:

$$\eta(t_1) = c_0(t_1) + c_1(t_1) + \dots + c_{n_k}(t_1), \quad (3)$$

где c_0, c_1, \dots, c_{n_k} - спектр сигнала, состоящий из множества комплексных значений c_{n_k} , соответствующих частотам: $0, \Omega, 2\Omega, 3\Omega \dots$ [8, 9]. В свою очередь дискретные значения частотной характеристики сигнала рассчитывается по известной формуле [10]:

$$MAG[c_{n_k}] = \sqrt{(Re c_{n_k})^2 + (Im c_{n_k})^2}, \quad (4)$$

где $Re c_{n_k}$ и $Im c_{n_k}$ – действительная и мнимая части спектра c_{n_k} . Следует отметить, что от максимального значения n_k зависит точность преобразования Фурье. Это значение ограничено временем выполнения операции и зависит от вычислительной мощности микропроцессорного устройства.

Расчет коэффициентов корреляции Пирсона в каждый момент времени t_1, t_2, \dots, t_k производится согласно выражению [10]:

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} (MAG[c_i] - \overline{MAG[c_{n_k}]}) (MAG[c_i^{\dot{y}\ddot{a}\ddot{e}}] - \overline{MAG[c_{n_k}^{\dot{y}\ddot{a}\ddot{e}}]})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} (MAG[c_i] - \overline{MAG[c_{n_k}]})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} (MAG[c_i^{\dot{y}\ddot{a}\ddot{e}}] - \overline{MAG[c_{n_k}^{\dot{y}\ddot{a}\ddot{e}}]})^2}}, \quad (5)$$

где $MAG[c_i]$ и $MAG[c_i^{\dot{y}\ddot{a}\ddot{e}}]$ i -е значения спектров входного и эталонного сигналов; $\overline{MAG[c_{n_k}]}$ и $\overline{MAG[c_{n_k}^{\dot{y}\ddot{a}\ddot{e}}]}$ статистические средние спектров;

$\bar{r} = r(t_1, t_2, \dots, t_k)$ - множество значений дискретной корреляционной функции.

В свою очередь формирование каждого выходного сигнала производится за счет функционального преобразования соответствующей корреляционной функции:

$$\begin{aligned} f'_1(t_1, t_2, \dots, t_k) &= F_1(\overline{r(t_1, t_2, \dots, t_k)}) \\ f'_2(t_1, t_2, \dots, t_k) &= F_2(\overline{r(t_1, t_2, \dots, t_k)}) \\ &\bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \dots \\ f'_{n_o}(t_1, t_2, \dots, t_k) &= F_{n_o}(\overline{r(t_1, t_2, \dots, t_k)}) \end{aligned} \quad (6)$$

Следует отметить, что реализация функций F в значительной мере зависит от технических средств, применяемых для построения микропроцессорной системы. В простейшем случае критерием формирования выходного сигнала является превышение некоторого порогового значения $W_{\ddot{u}\ddot{o}}$ средним уровнем корреляционной функции:

$$\sum_{i=1}^k \left| \frac{r_i}{k} \right| > W_{\ddot{u}\ddot{o}} \dots \quad (7)$$

Рассмотрим функционирование модели (2) – (7) на примере фрагмента станции, оборудованной фазочувствительными рельсовыми цепями 25 Гц (НАП, 1СП, 1П) и стрелкой 1 с вентильной контрольной цепью (рисунок 2).

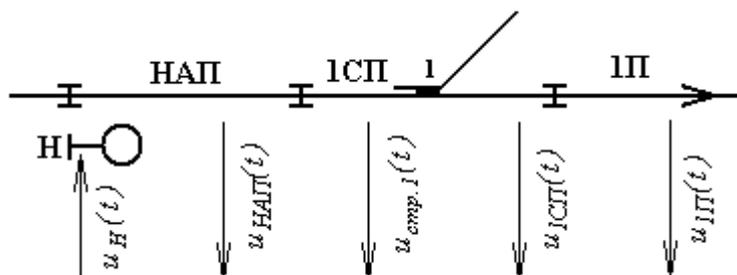


Рисунок 2 – Схематическое изображение фрагмента путевого развития станции

Как известно [11 - 12], соответствие критерию (1) будет обеспечено только в том случае, если при формировании сигнала управления (открытие светофора Н), будут проверяться условия безопасности: свободное состояние рельсовых линий и правильное положение острьяк стрелки.

Для маршрута приема на первый путь в качестве эталонного значения установим спектр $MAG[c_{1П}^{etal.}]$, полученный в результате преобразований (2) – (4) входных сигналов: $u_{НАП}(t)$, $u_{ІСП}(t)$, $u_{ІІ}(t)$, $u_{н\ddot{o}\delta.І}^+(t)$ с нормированными значениями амплитуд (рис. 3).

Корреляционная функция $\bar{r} = r(t_1, t_2, \dots, t_k)$ эталонного спектра со спектром входных сигналов, график которой приведен на рис. 4, принимает следующие предельные значения: $\bar{r}_{max} = 1$, $\bar{r}_{min} = 0,9055208418$, при среднем, рассчитанном по формуле (7), составляющем $0,9694271507$.

Примем округленное до второго знака последнее значение в качестве критерия открытия светофора Н, т.е. пусть $W_{н\ddot{o}\delta.І} = 0,97$. Тогда при свободном состоянии всех рельсовых цепей сигналы $u_{ІІІ}(t)$, $u_{ІСІ}(t)$, $u_{ІІ}(t)$ и наличии контроля плюсового положения стрелки $u_{н\ddot{o}\delta.І}^+(t)$ выполняется условие (7), следовательно, формируется сигнал открытия светофора $u_j(t)$.

Оценим соответствие модели критерию (1) при возможных изменениях входных сигналов. Так, шунтирование любой из рельсовых цепей приводит к пропаданию соответствующего сигнала, а т.к. применяется мультипликативный метод, то в соответствии с (2) значения вектора $\bar{\eta}$ также становятся равными нулю. Спектр такого сигнала

$MAG[c_i]$ также принимает нулевые значения, как и корреляционная функция \bar{r} (5), условие (7) не выполняется, следовательно, светофор перекрывается.

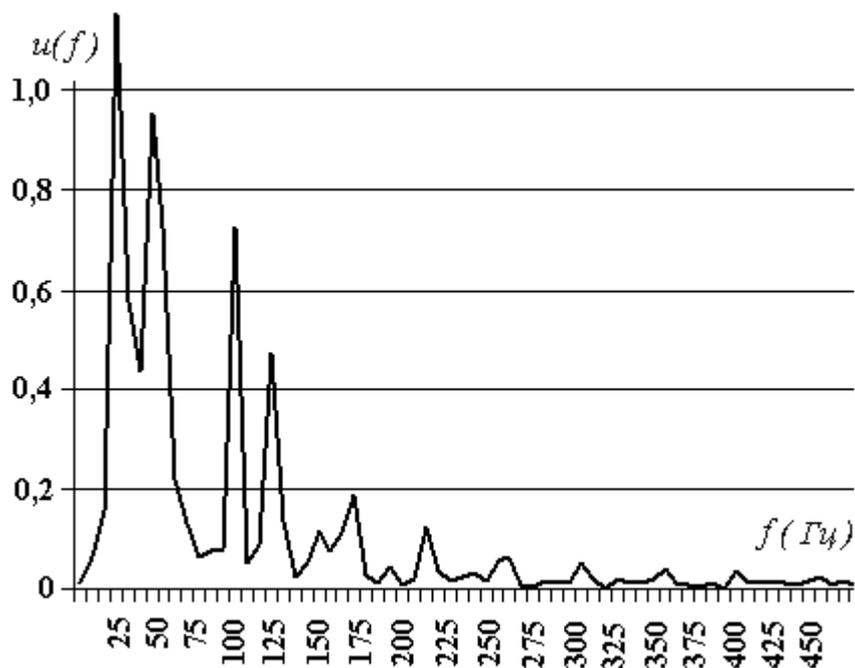


Рисунок 3 – Спектр $MAG[c_{II}^{o\ddot{a}\ddot{e}}]$ эталонного сигнала для маршрута приема на 1-й путь

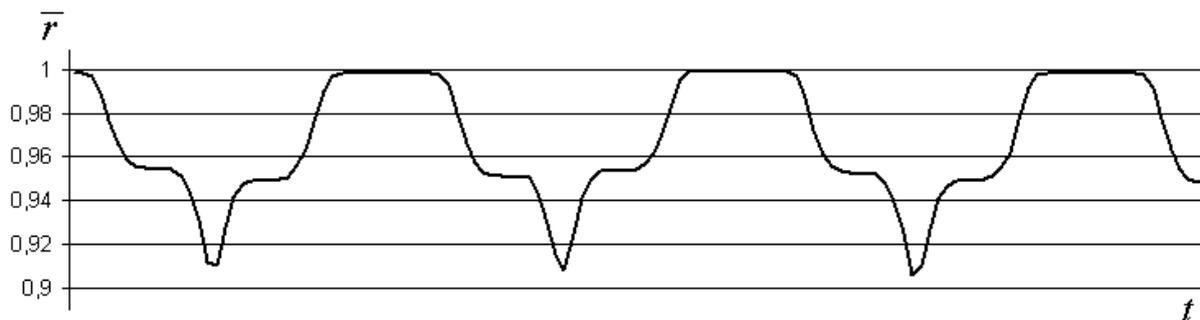


Рисунок 4 – График корреляционной функции

Отсутствие контроля положения стрелки, как и наличие контроля ложного положения, также должно приводить к перекрытию светофора. Отметим, что рассматриваемая модель адекватно реагирует на подобные

события. В данных случаях спектры мультипликативных сигналов существенно отличаются от эталонного (рисунок 5). Соответствующим образом изменяются и корреляционные функции (рисунок 6).

При отсутствии контроля стрелки: $\bar{r}_{max} = 0,774565043$, $\bar{r}_{min} = 0,7085635824$. Среднее значение, рассчитанное по формуле (7), составляет $0,7610890427$. При наличии контроля минусового положения: $\bar{r}_{max} = 0,8376730363$, $\bar{r}_{min} = 0,7478036239$, среднее – $0,8154716752$.

В обоих случаях условие (7) не выполняется, что приводит к перекрытию светофора.

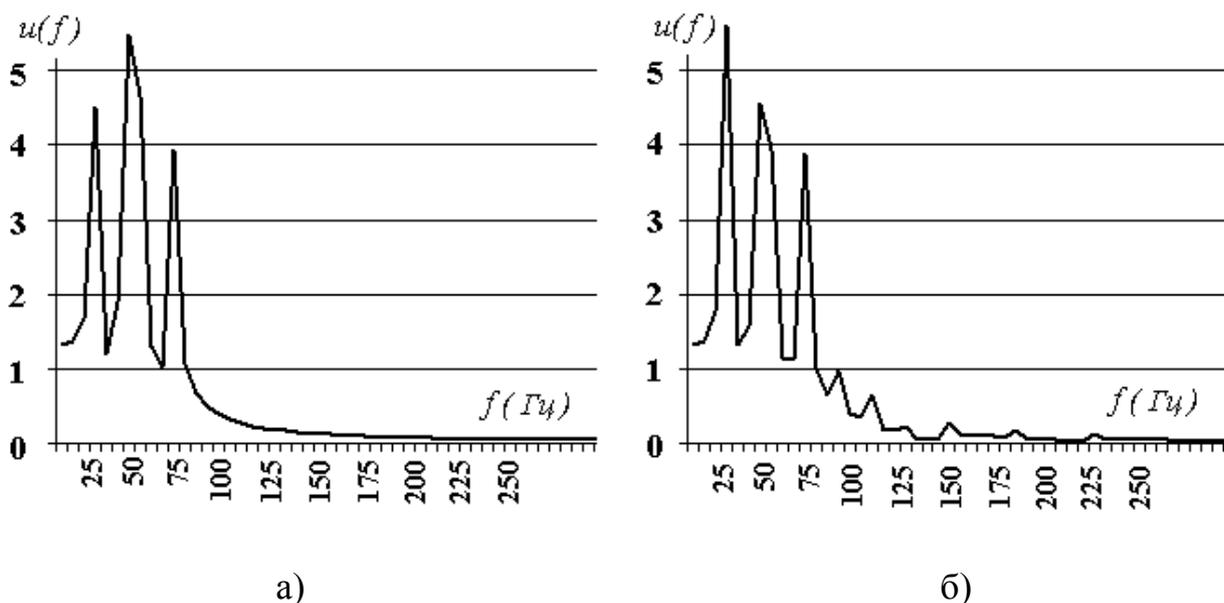


Рисунок 5 – Спектры а) при отсутствии контроля стрелки; б) при наличии минусового контроля

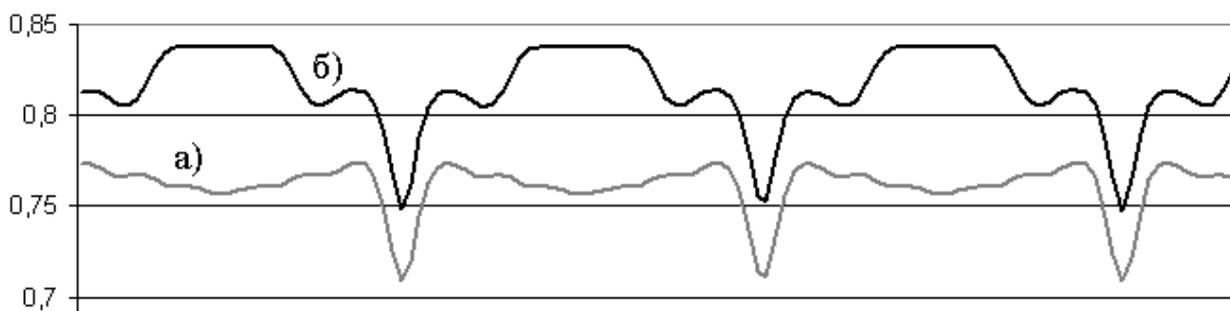


Рисунок 6 – Корреляционные функции а) при отсутствии контроля стрелки; б) при наличии минусового контроля

Выводы и практические рекомендации. Таким образом, в работе предложена модель формирования ответственных команд управления в системах микропроцессорной централизации, основанная на мультипликативном методе формирования сигналов, что является дальнейшим развитием теории надежности и безопасности систем управления на железнодорожном транспорте.

В отличие от аддитивного метода шунтирование какой-либо рельсовой цепи приводит к обнулению корреляционной функции, т.е. ее изменение составляет более 95%. Чувствительность модели к контролю положения стрелки, в процентном отношении к эталонному, составляет 10-21%, что позволяет производить формирование сигнала по критерию (7).

К недостаткам модели, в первую очередь, следует отнести высокую шунтовую чувствительность. В реальных условиях эксплуатации это может привести к возможности возникновения отказов вследствие наличия электромагнитных помех.

Список литературы

1. Чепцов М.Н., Динамический опасный отказ программного обеспечения. Збірник наукових праць ДонІЗТ, Випуск 8, 2006, с. 133-143.
2. Чепцов М.Н., Безопасность программного обеспечения приемника прямого преобразования тональных рельсовых цепей. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, №1, 2007, с. 19-22.
3. Чепцов М.Н., Вероятность опасного отказа микропроцессорного устройства управления движением поездов. Збірник наукових праць ДонІЗТ, Випуск 9, 2007, с. 68-73.
4. Чепцов М.Н., Функция распределения опасных отказов системы управления движением поездов. Збірник наукових праць ДонІЗТ, Випуск 10, 2007, с. 73-77.
5. Чепцов М.Н., Анализ нормативно-правовой базы функциональной безопасности программно-аппаратных средств систем управления движением поездов. Збірник наукових праць ДонІЗТ, Випуск 11, 2007, с. 53-60.
6. Чепцов М.Н., Применение аналитического метода для синтеза функциональных моделей обеспечения безопасности в системах микропроцессорной централизаций. Збірник наукових праць ДонІЗТ, Випуск 12, 2007, с. 81-90.
7. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. – М.: Наука, 1973. – 899 с.
8. Отнес Р., Эноксон Л., Прикладной анализ временных рядов. Пер с англ. – М.: «Мир», 1982. – 428 с.
9. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. М.: «Советское радио», 1971. – 672 с.
10. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник. – СПб: Питер, 2001. – 752 с.

11. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Шаманов В.И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для вузов ж.д. трансп./ Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.

12. Станционные системы автоматики и телемеханики: Учеб. для вузов ж.д. трансп. / Вл.В. Сапожников, Б.Н. Елкин, И.М. Кокурин и др.; Под. ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.

УДК 62-50

Панченко С.В., к.т.н., проректор (УкрДАЗТ)

К ПОСТРОЕНИЮ КВАЗИДВУНАПРАВЛЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Введение. При моделировании различных транспортных систем возникает задача перераспределения направления движения подвижных единиц. Эта задача может быть решена путем нового специального расширения сетей Петри.

Постановка задачи. Ставится задача синтеза сети Петри (СП) с определением последовательности функционирования (цвет дуги), минимально возможного числа ($\Psi(J)$) и направления (знак S_j) срабатываний переходов.

Решение задачи. На рисунке 1 приведена СП.

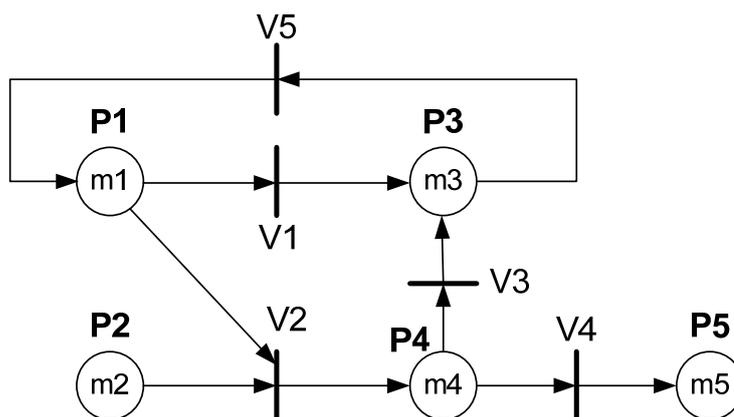


Рисунок 1 - Пример однонаправленной СП